

**T.C.
İSTANBUL GEDİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**



**TERMİK SANTRALLERİN PERFORMANSLARININ İLERİ EKSERJİ
YAKLAŞIMIYLA İNCELENMESİ; BİR UYGULAMA**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
OĞUZHAN YILDIZ**

Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Makine Mühendisliği

MART 2019

**T.C.
İSTANBUL GEDİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**



**TERMİK SANTRALLERİN PERFORMANSLARININ İLERİ EKSERJİ
YAKLAŞIMIYLA İNCELENMESİ; BİR UYGULAMA**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

OĞUZHAN YILDIZ

181222006

Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Makine Mühendisliği

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Zafer UTLU

MART 2019





T.C.
İSTANBUL GEDİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜ

Yüksek Lisans Tez Onay Belgesi

Enstitümüz Makine Mühendisliği Anabilim Dalı Makine Mühendisliği Tezli Yüksek Lisans Programı 181222006 numaralı öğrencisi **Oğuzhan YILDIZ**'ın “**TERMİK SANTRALLERİN PERFORMANSLARININ İLERİ EKSERJİ YAKLAŞIMIYLA İNCELENMESİ; BİR UYGULAMA**” adlı tez çalışması Enstitümüz Yönetim Kurulunun 19/02/2019 tarih ve 2019/03 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından **Oy birliği** ile Tezli Yüksek Lisans tezi olarak **Kabul** edilmiştir.

Öğretim Üyesi Adı Soyadı

İmzası

Tez Savunma Tarihi : **07...03.2019**

1) Tez Danışmanı: Prof. Dr. Zafer UTLU

2) Jüri Üyesi : Prof. Dr. Galip TEMİR

3) Jüri Üyesi : Dr. Öğr. Üyesi Bülent İMAMOĞLU

Not: Öğrencinin Tez savunmasında **Başarılı** olması halinde bu form **imzalanacaktır**. Aksi halde geçersizdir.

YEMİN METNİ

Yüksek Lisans olarak sunduğum “*Termik Santrallerin Performanslarının Ekserji ve İleri Ekserji Yaklaşımıyla İncelenmesi; Bir Uygulama*” adlı çalışmanın, tezin proje safhasından sonuçlanmasına kadarki bütün süreçlerde bilimsel ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yardıma başvurulmaksızın yazıldığını ve yararlandığım eserlerin Bibliyografya’da gösterilenlerden oluştuğunu, bunlara atıf yapılarak yararlanılmış olduğunu belirtir ve onurumla beyan ederim.

(07/03/2019)

Oğuzhan YILDIZ





ÖNSÖZ

Bu çalışmada, tez konumun seçiminden tezimin tamamlanmasına kadar geçen tüm süreçte bana değerli bilgilerini ve görüşlerini aktararak yönlendiren ve her türlü konuda yardımını ve hoşgörüsünü esirgemeyen danışman hocam Sayın Prof. Dr. Zafer UTLU' ya

Çalışmam sırasında karşılaştığım zorlukları aşmamda çok emeği geçen, üniversitedeki iş yüküne rağmen zaman ayırma inceliğini göstererek konu hakkında farklı bakış açıları kazanmamı sağlayan değerli hocam Sayın Dr. Öğretim Üyesi Fatih ÜNAL' a

Tez çalışmamın bilgi toplama, derleme ve değerlendirme kısımlarında desteklerini esirgemeyen, değerli meslektaşlarım Sayın Yusuf SAYICI ve Sayın Selim AKSAR' a termik santral çalışanlarına, benden hiçbir zaman sevgisini ve desteğini esirgemeyen tüm aileme teşekkürlerimi sunarım.

MART 2019

Oğuzhan YILDIZ
Makine Mühendisi



İÇİNDEKİLER

Sayfa

KISALTMALAR	xi
SEMBOL LİSTESİ	xiii
ÇİZELGE LİSTESİ	xv
ŞEKİL LİSTESİ	xvii
ÖZET	xix
ABSTRACT	xxi
1. GİRİŞ	1
2. ISIL SİSTEMLERDE ENERJİ VE EKSERJİ ANALİZLERİ	5
3. TERMİK SANTRALLER	9
3.1. Termik Santrallerin Türleri	10
3.1.1. Kömür ile çalışan termik santraller	10
3.1.2. Fuel - oil ile çalışan termik santraller	10
3.1.3. Doğalgaz ile çalışan termik santraller	11
3.2. Türkiye’de Termik Santraller	11
3.2.1. Türkiye’de kömürle çalışan termik santraller	11
3.2.2. Yerli kömür kullanan santraller	11
3.2.3. İthal kömür santralleri	14
3.3. Termik Santrallerin Çalışma Prensibi	15
3.3.1. Buhar türbini ile çalışan santrallerin görevleri ve bölümleri	17
3.4. Sistemin Tanıtılması (Bir Termik Santral)	24
3.4.1. Bir termik santral hakkında genel bilgiler	24
3.4.1.1. Termik santralin kömür ihtiyacının karşılanması	24
3.4.1.2. Termik santralin su temini	25
3.4.1.3. Termik santralin kül nakli ve stoklanması	25
3.4.2. Termik santralin çalışma prensibi	25
4. TERMODİNAMİK BAĞINTILAR VE TEMEL KAVRAMLAR	29
4.1. Termodinamiğin I. Kanunu	30
4.2. Sürekli Akışlı Açık Sistemler	31
4.2.1. Sürekli akışlı açık sistemde kütle korunumu	31
4.2.2. Enerji korunumunda sürekli akışlı açık sistemler	32
4.3. Termodinamiğin II. Kanunu (Ekserji Analizi)	33
4.3.1. Isıl enerji deposu	34
4.3.2. Isı makineleri	34
4.3.3. Tersinir ve tersinmez hal değişimleri	34
4.3.4. Tersinmezlik	34
4.3.5. Kullanılabilirlik	35
4.3.6. Clasius ve Kelvin-Planck ifadeleri	35
4.3.7. Entropi	36
4.3.7.1. Sürekli akışlı açık sistem için entropi dengesi	38
4.3.7.2. Saf maddeler için entropi dengesi	39
4.3.7.3. Sıvı ve katıların entropi dengesi	39
4.3.7.4. Mükemmel gazların entropi değişimleri	40

4.3.7.5. Entropi değişiminin nedenleri ve sonuçları.....	40
4.3.8. Sürekli akışlı açık sistemlerin ikinci yasa çözümlemesi	41
4.4. Yanma ve Yakıt ile ilgili Analizler	42
4.5. Geleneksel Ekserji Bileşenleri	46
4.5.1. Kinetik ekserji	47
4.5.2. Potansiyel ekserji.....	47
4.5.3. Fiziksel ekserji.....	47
4.5.4. Kimyasal ekserji	48
4.6. Ekserji Yıkımı ve Kaybı.....	48
5. ENERJİ VE EKSERJİ ANALİZİ	49
5.1. Termodinamik Analiz Uygulaması	49
5.1.1. Geleneksel enerji ve ekserji analizi	53
5.1.1.1. Santraldaki akımların enerji dengeleri	55
5.1.1.2. Santraldaki akımların ekserji dengeleri.....	64
5.1.1.3. Santraldaki akımların fiziksel ekserjileri.....	64
5.1.1.4. Santraldaki akımların kimyasal ekserjileri	71
5.1.1.5. Santral komponentlerinin ekserji kaybı analizleri.....	76
5.2. İyileştirme Potansiyeli.....	79
5.3. İleri Ekserji Analizine Giriş	80
5.3.1. Önlenebilir ve önlenemez ekserji yıkımı	81
5.3.2. Endoyıkım ve ekzoyıkım	81
6. ENERJİ, EKSERJİ KAYBI VE VERİMLERİNİN BELİRLENMESİ.....	83
7. SONUÇLAR ve ÖNERİLER	87
KAYNAKLAR.....	89
ÖZGEÇMİŞ.....	91

KISALTMALAR

ABT	: Alçak basınç türbini
OBT	: Orta basınç türbini
YBT	: Yüksek basınç türbini
ABSI	: Alçak basınç besleme suyu ısıtıcısı
YBSI	: Yüksek basınç besleme suyu ısıtıcısı
A	: Alternatör
EJ	: Ejektör
GL	: Glend
GHM	: Gerekli hava miktarı
KBP	: Kazan besleme suyu pompası
KTP	: Kondenser tahliye pompası
KH	: Kontrol hacmi
MHM	: Minimum hava miktarı
HFK	: Hava fazlalık katsayısı
BG	: Baca gazı
PH	: Fiziksel ekserji
CH	: Kimyasal ekserji
PT	: Potansiyel ekserji
KN	: Kinetik ekserji
TEP	: Ton eşdeğer petrol
TKİ	: Türkiye kömür işletmeleri
ELİ	: Ege linyitleri işletmesi



SEMBOL LİSTESİ

<i>E</i>	: Enerji, kW
<i>Ē</i>	: Ekserji, kW
<i>e</i>	: Spesifik ekserji, kJ/kg
<i>g</i>	: Yer çekim ivmesi, m/s ²
<i>h</i>	: Entalpi, kJ/kg
<i>I</i>	: Tersinmezlik, kJ
<i>i</i>	: Özgül tersinmezlik, kJ/kg
<i>m</i>	: Kütleli debi, kg/s
<i>Q</i>	: Isı enerjisi, kJ
<i>P</i>	: Basınç, Pa
<i>S</i>	: Entropi, kJ/K
<i>s</i>	: Entropi, kJ/kgK
<i>T</i>	: Sıcaklık, °C, K
<i>V</i>	: Hız, m/s
<i>v</i>	: Özgül hacim, m ³ /kg
<i>W</i>	: İş, J
<i>y</i>	: Yok edilen ekserji oranı, birimsiz
<i>Z</i>	: Toplam maliyet değeri, \$
<i>z</i>	: Yükseklik, m
<i>ρ</i>	: Yoğunluk, kg/ m ³



ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 1.1: Bölgelere göre öngörülen mevcut yakıt durumları	2
Çizelge 2.1: Enerji ve ekserji arasındaki başlıca farklar.....	7
Çizelge 3.1: Türkiye’de birincil enerji talepleri	10
Çizelge 3.2: Yerli kömür ile çalışan termik santraller.....	13
Çizelge 3.3: Yıllar itibariyle dışa bağımlı kömüre dayalı işletilen termik santraller.	15
Çizelge 3.4: Termik santral özellikleri	24
Çizelge 3.5: Santralde yakılacak linyit kömürü ortalama karakter değerleri	27
Çizelge 4.1: Bazı yakıtların bileşen analizi	42
Çizelge 4.2: Yakıtların giren ve çıkan bileşenlerine ait katsayılar	43
Çizelge 5.1: Santrale ait enerjisi belirlenen değerler	52
Çizelge 5.2: Ktp ve Kbs pompalarının özellikleri	53
Çizelge 5.3: Santrale ait enerji ve ekserji dengeleri	53
Çizelge 5.4: Baca gazı 298K ve 480K’deki entalpi değerleri	55
Çizelge 5.5: Baca gazını oluşturan bileşenlerin termodinamik karakteristikleri.....	64
Çizelge 5.6: Bazı gazların standart kimyasal ekserjileri.....	71
Çizelge 5.7: Termik santralin komponentlerine ait ekserji ve enerji değerleri.....	76
Çizelge 5.8: Ekserji tahribinin kısımları.....	81
Çizelge 6.1: Düğümlerdeki enerji, ekserji kayıpları ve verimleri	83
Çizelge 6.2: Ünite bileşenleri için giren ve çıkan enerjiler	84
Çizelge 6.3: Ünite bileşenleri için giren ve çıkan ekserjiler.....	84
Çizelge 6.4: Kayıp enerji ve kayıp enerji oranları.....	85
Çizelge 6.5: Ünite bileşenleri için kayıp enerji oranları.....	85
Çizelge 6.6: Kayıp ekserji ve kayıp ekserji oranları.....	86
Çizelge 6.7: Ünite bileşenleri için kayıp ekserji oranları	86



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 3.1 : Kömürle çalışan santrallerin elektrik üretimindeki payı ve kurulu güçleri.....	11
Şekil 3.2 : Bir termik santral akış şeması	16
Şekil 3.3 : Stok sahası.....	18
Şekil 3.4 : Kömür konveyörleri	18
Şekil 3.5 : Değirmen	19
Şekil 3.6 : Luvo	19
Şekil 3.7 : Kazan.....	20
Şekil 3.8 : Baca	20
Şekil 3.9 : Türbin grubu.....	21
Şekil 3.10: Kondenser	22
Şekil 3.11: Alçak ve yüksek basınç ısıtıcıları	22
Şekil 3.12: Soğutma kuleleri.....	23
Şekil 3.13: Alternatör	23
Şekil 4.1 : Sistem, sınır ve çevre	29
Şekil 4.2 : Kapalı sistem şematik görünümü	30
Şekil 4.3 : Açık Sistem Şematik Görünümü	30
Şekil 4.4 : Clasisus ifadesinin şematik görünümü	35
Şekil 4.5 : Kelvin-Planck ifadesini şematik görünümü	36
Şekil 4.6 : Ekserji bileşenleri	47
Şekil 5.1 : Termik santral akış diyagramı	51
Şekil 5.2 : Buhar kazanı şematik görünümü	55
Şekil 5.3 : Yüksek basınç türbini şeması	57
Şekil 5.4 : Orta basınç türbini şeması	57
Şekil 5.5 : Alçak basınç türbini şeması.....	58
Şekil 5.6 : Kondenser (yoğuşturucu) şeması	58
Şekil 5.7 : Ejektör şematik görünümü.	59
Şekil 5.8 : Glend kondenser şematik görünümü	59
Şekil 5.9 : I'Nolu Alçak basınç besleme suyu ısıtıcısı(ABSI) şematik görünümü	60
Şekil 5.10: II'Nolu Alçak basınç besleme suyu ısıtıcısı(ABSI) şematik görünümü	60
Şekil 5.11: III'Nolu Alçak basınç besleme suyu ısıtıcısı(ABSI) şematik görünümü.....	61
Şekil 5.12: IV'Nolu Alçak basınç besleme suyu ısıtıcısı(ABSI) şematik görünümü	61
Şekil 5.13: Degazör şematik görünümü.....	62
Şekil 5.14: I'Nolu Yüksek basınç besleme suyu ısıtıcısı (YBSI) şematik görünümü.	62
Şekil 5.15: II'Nolu Yüksek basınç besleme suyu ısıtıcısı (YBSI) şematik görünümü	63
Şekil 5.16: Kondenser tahliye pompası (KTP) şematik görünümü	63
Şekil 5.17: Kazan besleme suyu pompası (KBP) şematik görünümü	63
Şekil 5.18: Bir enerji dönüşüm sistemi.....	82



TERMİK SANTRALLERİN PERFORMANSLARININ İLERİ EKSERJİ YAKLAŞIMIYLA İNCELENMESİ; BİR UYGULAMA

ÖZET

Bu çalışmada Türkiye’de çalışmakta olan bir termik santralin bir ünitesine genel enerji ve ekserji denklemleri uygulanarak ünite ekipmanlarının her birinin enerji ve ekserji analizi değerlendirilmesi yapılmıştır.

Yapılacak olan analizin daha kolay anlaşılması için başlangıçta genel termodinamik kavramları ve bağıntıları özetlenmiştir. Daha sonra enerji ve ekserji komponentleri termodinamiksel hesaplama yöntemi bağıntıları ile verilerek özetlenmiştir. Uygulama bölümünde ise termik santralin bir ünitesinde belirlenen yirmi yedi düğüm noktasının termodinamik özellikleri belirlenmiş, bu belirlemelere göre her bir düğümün ayrı ayrı enerji, ekserji, verim, kayıp ve yıkım oran değerleri hesaplanmıştır. Bütün bu verilerin doğrultusunda sonuçlar grafiksel olarak değerlendirilmiş ve ekipmanlar birbirleri ile karşılaştırılmıştır.

Bu amaçla, özellikle enerjinin yoğun olarak kullanıldığı veya değişime uğratıldığı sistemlerde termodinamik analiz yöntemleri olan enerji ve ekserji analizleri ile sistemin verimlilik açısından değerlendirilmesi yapılarak verimlilik artırıcı iyileştirmelere gidilebilmiştir. Böylece enerji ve ekserji kayıplarının önüne geçilerek enerji tasarrufu sağlanabilir ve enerji maliyetleri düşürülebilir kanısına varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: *Enerji analizi, Ekserji analizi, Termik santral, Termodinamik analiz*



INVESTIGATION OF PERFORMANCE OF THERMAL POWER PLANTS WITH THE ADVANCED EXERGY APPROACH; AN APPLICATION

ABSTRACT

In this study, a thermal power plant in Turkey, which is a unit installed in the general equations of energy and exergy has been evaluated by applying each unit equipment of energy and exergy analysis.

General thermodynamic concepts and relations are summarized in order to make the analysis easier to understand. Then, the energy and exergy components are summarized by the thermodynamic calculation method. In the application section, the thermodynamic properties of the twenty-seven nodes determined in one unit of the thermal power plant were determined and according to these determinations, energy, exergy, yield, loss and destruction ratio values of each node are calculated. As a result of all this data, the results were evaluated graphically and the equipments were compared with each other.

For this purpose, efficiency improvements were made by evaluating the system in terms of efficiency with energy and exergy analyzes, which are the thermodynamic analysis methods, especially in systems where energy is heavily used or modified. Thus, energy can be saved by preventing energy and exergy losses and energy costs can be reduced.

Key Words: *Energy analysis, Exergy analysis, Thermal power plant, Thermodynamic analysis*



1. GİRİŞ

Dünyada yaşanan enerji talebindeki artışın önemli bir nedeni gelişmekte olan ülkelerdeki hızlı nüfus artışı ve sanayileşmedir [1]. Dünyadaki tüm ulusların sahip oldukları enerji kaynakları, tüm branşlarda ulusların gücü ve varlıklarının diğer uluslara bağımlılığının ölçütüdür. Bu sebeple uluslar iç ve dış siyasetini bu biçimde ileriye dönük şekillendirmeye çalışıp ellerinde bulunan enerji varlıklarını verimli ve etkin biçimde kullanmak için çalışmalar geliştirmektedir [2].

Tabii enerji kaynakları insanlığın ilerlemesi için gerekli fakat süreçler yeterli değildir. Dünya üzerinde var olan toplumlar sınai ve iktisadi olarak büyüyen uluslar ve bölgeler gibi enerji kaynaklarının girişine talep etmektedirler. Devamlılık isteyen gelecek bir nesil için gerekli olan enerjinin daha verimli kullanılmasıdır [3].

Dünyamız üzerindeki enerji kaynaklarının sınırlı olması ve gerekli enerji talebinin karşılanamaması gibi hususlar insanlığın enerji tasarrufu ve enerjinin daha verimli kullanılabilmesi gibi hususlara yönelmesine sebep olmuştur. Bu duruma çözüm olabilecek iki yol vardır; İlki elimizde bulunan enerji kaynaklarını daha randımanlı kullanmak diğeri de yeni enerji çeşitlerini üretmek ve bu yeni enerji çeşitlerini işleyerek kullanıma sunmaktır [4].

Dönüşülebilirliklerine göre enerjiler iki tiptir. Birincil enerji kaynakları enerjinin hiç bir şekilde değişime uğramamış şeklidir bunlar kömür, petrol, nükleer, dalga-gelgit, biyokütle, hidrolik, doğal gaz, rüzgar ve güneş enerjileridir. İkincil enerji kaynakları da birincil enerji kaynaklarının işlenmesi ile meydana gelmiş enerji kaynaklarıdır, bunlarda benzin, dizel, elektrik, petrol gazı vb. kaynaklardır [5].

Asli enerji kaynaklarının mevcut vaziyetlerini ve bitme zamanı ve her ne kadar değişik görünse de bu değerler sadece tahmini olarak bilinmektedir.

Örneğin; bilinen mevcut kömür 164 yıl, doğal gazın 67 yıl ve petrol miktarının da yaklaşık olarak 40 yıl sonra tükeneceği öngörülmektedir. Çizelge 1.1'de bölgelere göre öngörülen mevcut yakıt durumları görülmektedir [6].

Çizelge 1.1: Bölgelere Göre Öngörülen Mevcut Yakıt Durumları Çizelgesi (BP 2005)

BÖLGE LER	PETROL			DOĞALGAZ			KÖMÜR		
	Rezerv (Milyar Ton)	Pay (%)	Rezerv/ Üretim= Ömür (Yıl)	Rezerv (Trilyon m ³)	Pay (%)	Rezerv/ Üretim= Ömür (Yıl)	Rezerv (Milyon Ton)	Pay (%)	Rezerv/ Üretim= Ömür (Yıl)
Kuzey Amerika	8,0	5,1	11,8	7,32	4,1	9,6	254432	28,0	235
Güney & Orta Amerika	14,4	8,5	40,9	7,10	4,0	55,0	19893	2,2	290
Avrupa & Avrasya	19,9	11,7	21,6	64,20	35,7	60,9	287095	31,6	242
Ortadoğu	100,0	61,7	81,6	72,83	40,6	>100	419	<0,05	399
Afrika	14,9	9,4	33,1	14,06	7,8	96,9	50336	5,6	203
Asya - Pasifik	5,5	3,5	14,2	14,21	7,9	43,9	296889	32,7	101
TOPLAM DÜNYA	161,9	100	40,5	179,53	100	66,7	909064	100	164

Tabii olarak yukarıdaki sonuç insanların daha çok yeni enerji kaynaklarının verimlerinin artırılmasına yönelik çalışmaların artmasına yol açmıştır ve bu zorunluluk 20. Yüzyılın sonlarına doğru devamlılık kalkınma kavramını getirmiştir. Devamlılık kalkınma kavramı ekoloji ile düzen içinde yüksek kullanılabilirlik değerlendirmesini de gerektirmektedir [6].

Bu sebeple yenilenebilir enerji kaynakları veya ileride keşfedilecek yeni enerji kaynakları hak ettiği yere gelene kadar, gereksiz enerji kullanımını minimum düzeye çekebilmek için insan oğlunun bilgilendirilmesinden ziyade mevcut proses ve malzemelerde iyileştirme ve kullanılabilirliklerinin artırılması zorunluluğu da ortaya çıkmıştır [7].

Bu iyileştirme ve kullanılabilirlik artırma safhasına gelindiğinde son zamanlarda yeni yeni başlanılan ekserji hesaplamaları devreye girmektedir. Ekserji, termodinamiğin ikinci kanununu ele alarak enerji ve kütleyi koruma yasalarına dayanan ve enerji sistemlerinin tasarımında ve hesaplamalarında kullanılan verimli bir yol olarak adlandırılabilir. Hayata geçmiş olan tüm proseslerde iyileştirmenin hangi kısımlardan başanacağı konusunda ve en çok hangi noktada iyileştirme yapılacağı yapılan enerji analizlerinde yeterli olmamaktadır çünkü enerji analizleri enerjinin niteliğini değil niceliği hakkında bilgi edinilmesini sağlar [6].

Moran ve Tsatsaronis (1997) termal bir prosesin ekserji uygulamalarıyla parasal giderlerinin düşürülmesi hakkında çalışmalarda bulunmuşlardır. Çalışmalarda 3 farklı parametre göz önünde bulundurulmuştur. Bunlar, ekserji kayıpları, ekserji yıkım oranı ve ekserji kullanılabilirliği olarak adlandırılmıştır. Çalışmada bir kojenerasyon prosesi incelenmiştir ve Bu tür prosesleri optimize etmek, prosesin diğer bileşenleride farklılıklar yapılarak iyileştirilebileceği kojenerasyon yetkililerine bildirilmiştir. Yapılan çalışmada optimize edilenlerle ilgili bu tür sistemlerde arge mühendislerinin tecrübelerinin büyük yer aldığı ifade edilmiştir [9].

Tuma ark. (1999) birleşik gaz buhar çevriminin kullanılabilirliği hakkında araştırmalar yapmışlardır. Buhar ve gaz çevriminin kojenerasyonu, gaz türbininin egzoz sistemindeki, ekonomizer komponentlerindeki ve ısı eşanjöründeki verimlilikler ilk öncelik olarak göz önüne alınmıştır. Santrale ait ekserji ve enerji verimlilikleri bulunarak prosesin tipik özelliklerini meydana getirmiştir ve çalışmanın sonunda ısı üretiminin, prosesin genel enerji kullanılabilirliğinde büyük yeri olduğu ortaya çıkmıştır [10].

Habib ve arkadaşları yaptıkları araştırmada; enerji santraline enerji ve ekserji analizi hesaplamaları yaparak, santralin her bir biriminde meydana gelen ekserji kayıplarını bulmuşlar ve sistem veriminin artırılması için alternatif çözümler öngörmüşlerdir [26].

Coşkun ve diğerleri (2013), yılında yapılan araştırmalarında Çayırhan Termik Santrali'nde I. ve II. kanun hesapları yapmışlardır. Yapılan bu hesaplamalar sonucunda I. ve II. kanun verimleri sırasıyla %38 ve %53 olarak hesapladıktan sonra en fazla ekserji kaybının büyükten küçüğe sıralayarak kazan, türbin grupları, kondenser, yüksek ve alçak basınç ısıtıcıları ve pompalarda meydana geldiğini bulmuşlardır [15].

Z.Oktay tarafından yapılan çalışmada, Türkiye'de bulunan kömür yakan termik santraller hakkında araştırma yapılmış ve bir örnek uygulama sunulmuştur. Çan termik santrali için örnek bir ekserji analizi uygulaması yapılmıştır. Ayrıca Türkiye de mevcut bulunan termik santrallerin karşılaştırmalı bir kıyaslaması yapılmıştır. Ekserji analizi çalışması sonucunda çevrimin ve bileşenlerinin ayrı ayrı tersinmezlikleri ve ikinci kanun verimleri belirlenmiştir. Çalışmanın sonunda santralin performansının geliştirilebilmesi için önerilerde bulunulmuştur [8].

Yapılan bu çalışmada elektrik üretim prosesleri ve bu sistemlerin çalışma prensipleri incelenerek, ülkemizin önemli elektrik üretim santrallerinden olan linyit kömürü ile çalışan bir santrale enerji ve ekserji analiz incelemeleri yapılmıştır ve santrale ait I. kanun hesaplarının yanı sıra II. kanun analizi de yapılmış olup hem sistem bileşenlerinin ayrı ayrı hem de tüm prosesin enerji ve ekserji değerleri hesaplanıp verimlilikleri incelenmiştir. Yaşanılan iklim şartlarının yanı sıra farklı çevre şartlarında da sistem verimliliklerinin ve parametrelerinin gözlenebilmesi için 0°K, 298°K ve 313°K sıcaklıkları için farklı farklı hesaplamalar yapılmıştır.



2. ISIL SİSTEMLERDE ENERJİ ve EKSERJİ ANALİZLERİ

Endüstri devrimi enerjinin kullanılması ile daha da ilerlemiştir, 18. yy'da hayata geçen ve 19.yy'ın orta dönemlerine kadar devam eden endüstri devrimi insan gücüne dayalı sıkı bir çalışma süreci sona ermiş ve buna bedel olarak sermayenin sıkı (makinenin insan gücü yerine kullanılmaya başlanması) yatırımları artmıştır. Endüstrileşmenin ivedi biçimde yükselmesi ve ilerleyen bilimi kullanıp makinelerde ve kullanılan ekipmanların çeşitlendirilmesi sebepleri ile enerji ihtiyacını arttırmıştır. Endüstri devriminde enerji sistemlerini incelediğimizde ilk olarak kömür üretilip tüketilmiştir. Bu devirde dünya'da kömür kullanım miktarı 762 milyon ton kömüre eşdeğer iken bu miktarın % 52'sini kapsayan 396 milyon ton eşdeğer kömür Avrupa'da tüketilmiştir. Sanayi devriminin diğer ana karalara ulaşmasıyla insanların yaşamlarında çok önemli farklılıklar getirmiş olup enerji üretimini ve tüketimini hesaplanan öngörülerin üzerinde seyretmiştir. Bu devirde endüstri inkılabının gerçekleşmesiyle dünyada enerji ihtiyacı ve üretiminde artmalar olup kömür en çok kullanılan enerji kaynağı olarak kullanılmış ve sanayileşme sıklıkça kişi başına tüketilen enerji de bu oranla artmıştır [14].

Endüstri inkılabından sonra devam eden süreçte enerji alanında ciddi ilerlemeler kaydedilmiştir. İlk olarak 19. yy'ın sonlarına doğru elektrik bulunmuş ve öncelikli olarak aydınlatma problem ortadan kalkmıştır ve daha sonra da ilk elektrik üretim santrali kurulmuştur. 1878 yılında elektrik ilk defa günlük kullanımda kullanılmıştır ve ilk elektrik üretim santrali 1882 yılından İngiltere'nin Londra şehrinde kullanıma sunulmuştur [12].

Ülkemizde ilk elektrik üretimi Osmanlı devletinin son demlerinde 1902 yılında Tarsus'da kurulan 2 kW gücünde ufak bir su türbini ile hayata geçmiştir [13]. Elektrik üretiminde kömür haricinde ikincil enerji kaynakları hidroelektrik, güneş, ve jeotermal kaynaklar bulunmuştur. 1900'lü yıllarda taşıtların icad edilmesiyle hızlı taşıma sektöründe petrol kullanımı artmıştır. 1950'li yıllarda ise petrol bağımlılığının en yükseklere tırmandığı yıllar olarak tarihe geçmiştir. 1973'te yaşanan petrol krizi ile

birlikte ikincil enerji kaynakları yani çevre dostu enerji kaynakları ve enerjinin kullanılabilirliğide gündem olmuştur. 2000’li yılların başında ise gelişmiş olan dünya devletleri daha çok enerji talebinde bulunmuş ve kullanılabilirliği yüksek enerji kullanım stratejisine yönelmişlerdir. Ayrıca ikincil enerji kaynakları da bu devirde büyük bir hızla ilerleme kaydetmeye başlanmıştır [14].

Enerji kısaca iş yapabilme kapasitesidir. Enerjinin hiçbirşeyden meydana gelmediği gibi yok olmadığı ve sadece şekil değiştirdiği bilinir ve bu potansiyel enerji ve ekserji olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır. Enerji, kullanılmayan enerji olurken, Ekserji ise kullanılabilir enerji olarak tanımlanır [32]. Günümüzde hayatımızın olmazsa olmazlarından biri olan elektrik; Kullanımı ile de dünya ülkelerinin gelişmişliği ile orantılıdır [14].

Yunan dilinde ‘tersinir’ kelimesi ‘Ex’ anlamında ve ‘iş’ ise ‘ergon’ kelimelerinden türetilerek ‘Ekserji’ kelimesi türetilmiştir. İlk defa 1824 yılında S.Carnot tarafından kullanılmıştır [33].

Birçok kaynakta, ekserji kullanılabilir enerji olarak tanımlanırken literatürde farklı tanımlamalar da bulunmaktadır. Bu tanımlamaların bazıları ise şunlardır:

- Kotas (1985) ve Bejan vd. (1996) tarafından bir prosesin başlangıcı fazından son fazına kadar kullanılabilen maksimum yararlı iş olarak tanımlanlar [34].
- (Szargut,1980) tarafından çevre şartlarında kabul edilen ve tersinir olan prosesler ile bir madde termodinamik dengeye getirildiğinde elde edilen o maddenin ekserji ile aynı tanımlanabilir [35].
- (Riekart, 1974) tarafından sistem ile çevre arasında yalnızca ısı değişim şartı ile bir maddenin çevredeki diğer maddelerden tersinir süreçler yoluyla üretilmesi için gereken mekanik veya elektrik enerjisi o maddenin ekserjisi olarak tanımlanabilir [36].

Ekserji tanımı şöyle yapılabilir, çevresiyle denge hali olmayan sistem denge haline doğru geçiş sırasında maksimum tersinir iş olarak tanımlanabilir. Enerji kaynağından elde edilebilecek iş kaynağın bulunduğu çevreye bağlıdır. Çevre ile kaynak arasındaki fark büyüdükçe sistemden elde edilebilecek iş de o kadar büyük olacaktır [37].

Ekserji kısaca bir sistem ölü hale ulaştığında, kazanılan maksimum iştir [38]. Ekserji, enerjinin bazı termodinamik koşullar ile bir tür enerji haline dönüştürülebilen kısmıdır. En fazla iş, iş kaybı oluşması ile entropi artışına karşın tersinmez işlemlerde oluşur. Ekserji, enerji gibi korunan bir konuma sahip değildir ve bu sebepten enerjinin korunumu kanununa uymamaktadır ve çalışan sistemlerde tersinmezlikler sebebi ile ekserji tüketilir veya yok edilebilir. Ekserji tüketimi sistemde oluşan entropi ile orantılıdır. Ekserji ve Enerji kavramları Çizelge 2.1 de karşılaştırılmaktadır [39].

Çizelge 2.1: Enerji ve Ekserji Arasındaki Başlıca Farklar [39].

Sadece kütle veya enerji akışının özelliklerine bağlıdır. Ortam özelliklerinden bağımsızdır.	Kütle veya enerji akışının özellikleri ile birlikte, ortamın özelliklerine de bağlıdır.
Sıfırdan farklı değerlere sahiptir. Einstein yasasına göre mc^2 değerine eşittir.	Ortam ile denge durumunda sıfıra eşittir.
Bütün işlemler için Termodinamiğin Birinci Yasasını dikkate alır.	Sadece tersinir işlemler için Termodinamiğin Birinci Yasasını dikkate alır. Tersinmez işlemlerde tamamen veya kısmen ekserji tüketilir.
Tersinir işlemlerde dahil olmak üzere, bütün işlemler için Termodinamiğin İkinci Yasası ile sınırlıdır.	Termodinamiğin İkinci Yasası nedeni ile tersinir işlemler için sınırlı değildir.
Hareket veya hareket üretme yeteneğidir.	İş veya iş üretme yeteneğidir.
Bir işlemde sürekli olarak korunur. Diğer bir deyişle, ne yok olur, ne de üretilebilir.	Sadece tersinir bir işlemde sürekli olarak korunur. Tersinmez bir işlemde sürekli olarak tüketilir.
Miktarın bir ölçütüdür.	Entropi nedeniyle, hem kalite hem de miktarın bir ölçütüdür.



3. TERMİK SANTRALLER

Enerji santrallerinin kapasiteleri belirlenip üzerinde iyileştirmeler yapılması, üretilen enerjinin boşa harcanmaması için önemlidir. Yani verimliliği arttırıp enerji üretimini maksimuma taşımaktır. Santralde iyileştirmeler yapılabilmesi için mevcutta birçok teknoloji oluşturulmuş ve yeni teknolojiler de geliştirilmektedir. Termik santraller yakıtlarda bulunan kimyasal enerjiyi ısı enerjisine, bu enerjiyi mekanik enerjiye ve oluşan mekanik enerjiyi de elektrik enerjine dönüştüren sistemlerdir. Fosil yakıtlı enerji santralleri kullanılan yakıtı göre katı (kömür), sıvı (fueloil), gaz (doğalgaz) olmak üzere üçe ayrılır [15].

Dünyada ve ülkemizde elektrik enerjisinin büyük bir bölümü termik santrallerden karşılanmaktadır. Termik santraller, yoğuşturucudan pompa yardımıyla besleme suyu ısıtıcılarına gönderilen taşıyıcı akışkanın ısıtıldıktan sonra yüksek basınçla kazana gönderilip, kazanda yakıtın yakılması sonucu ortaya çıkan ısı enerjisiyle ısıtılıp kızgın buhar olarak türbin gurubuna gönderilerek elde edilen ısı enerjisi mekanik enerjiye ve daha sonra elektrik enerjisine dönüştürüldüğü sistemlerdir. Termik santraller temel olarak rankine çevrimine göre çalışan santrallerdir. Türbin grubundan çıkan çürük buhar yoğuşturucuya gider ve burada soğutulup sıvı hale geçtikten sonra tekrar pompaya gönderilir ve böylece çevrim gerçekleştirilmiş olur. Fosil yakıtlar olarak petrol, kömür, gaz ürünleri kullanılmaktadır.

Ham enerji kaynağından, yüksek basınç ve yüksek kızgınlık sayesinde buhar elde edilmesi ve bu buharla buhar türbinlerinin tahrik edilmesi suretiyle, alternatörü döndürerek elektrik enerjisinin üretildiği sistemlerdir. Termik santraller genel olarak, yakıtın yanması ile oluşan ısı enerjisini mekanik sonrasında bu mekanik enerjiyi elektrik enerjisine çeviren sistemlerdir. Bu santrallerde ham enerji kaynağı olarak katı yakıtlar (linyit, taşkömürü, çöp, talaş vb.) sıvı yakıtlar (fuel-oil), gaz yakıtlar (doğal gaz, baca gazı), sentetik yakıtlar, nükleer enerji gibi yakıtlar kullanılmaktadır [16].

Dünyada ve ülkemizde elektrik enerjisinin büyük bir kısmı birincil enerji kaynaklarından (kömür, petrol, doğal gaz, vb.) yani termik santrallerden üretilmektedir. Çizelge 3.1’de Türkiye’de elektrik üretiminde kullanılan kaynakların 2016 yılı dağılımını görebilirsiniz.

Çizelge 3.1: Türkiye’de Birincil Enerji Talepleri [17].

Enerji arzı	2013 (bin tep)	2013 (%)	2014 (bin tep)	2014 (%)	2015 (bin tep)	2015 (%)
Doğalgaz	37.628	32,4	40.201	33,3	39.651	30,7
Kömür*	33.433	28,7	36.682	30,4	37.514	29,0
Petrol ve Petrol Ürünleri	32.130	27,6	31.625	26,2	36.367	28,1
Hidrolik	5.110	4,4	3.495	2,9	5.775	4,5
Jeotermal – Diğer Isı	2.636	2,3	3.524	2,9	4.805	3,7
Biyoenerji ve Atıklar**	3.398	2,9	3.246	2,7	2.937	2,3
Rüzgar	650	0,6	733	0,6	1.002	0,8
Güneş	795	0,7	803	0,7	828	0,6
Elektrik	533	0,5	439	0,4	339	0,3
Toplam	116.314		120.747		129.217	

(*) Linyit kömürü, taş kömürü, asfaltit ve bunlardan türetilen gaz toplamını ifade eder.

(**) Bitkisel ve hayvansal atıklar, odun biyoyakıtlar toplamını ifade eder.

3.1 Termik Santrallerin Türleri

Fosil yakıtlardan yanma sonucunda açığa çıkan ısı enerjisiyle suyun sıcaklığı yükseltilerek basıncı yüksek buhara dönüştürülüp ve bu yüksek basıncılı buharı türbin kanatlarına çarptırılarak dönmesi sonucu elektrik enerjisi oluşturan proseslerdir.

3.1.1 Kömür ile çalışan termik santraller

Yakıt olarak kömür veya linyit kullanan, kazandaki suyu ısıtmasıyla basınçlı buhar fazına dönüştüren ve bu buharın türbin kanatlarını çevirmesi ile alternatörün elektrik enerji üreten sistemlerdir. Yani kömür veya linyitteki kimyasal enerjiyi elektrik enerjisine çeviren proses sistemlerdir.

3.1.2 Fuel-oil ile çalışan termik santraller

Küçük işletmelerin elektrik ihtiyacını karşılaması için dizel santraller kullanılır. Günümüzde fabrikalarda veya iş yerlerinde elektrik kesintisi sonucu tesiste çalışan cihazları korumak için kullanılır.

3.1.3 Doğalgaz ile çalışan termik santraller

Gazın yakılması ile türbinden üretilen elektriğin haricinde ortaya çıkan egzoz gazlarının kazanda tekrar yakılmasıyla, elde edilen buharın çevrime destek vererek daha verimli elektrik üretimi sağlanabilen sistemlerdir.

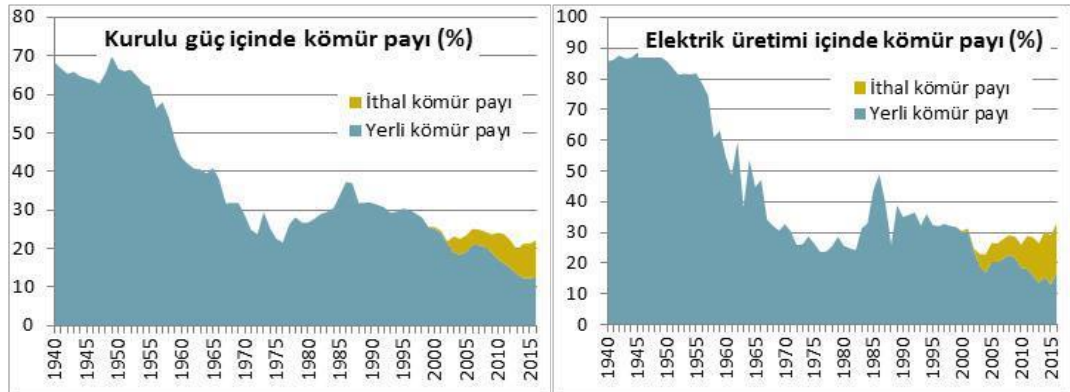
3.2 Türkiye’de Termik Santraller

3.2.1 Türkiye’de kömürle çalışan termik santraller

Ülkemizde ilk olarak 1900 ‘lü yılların başlarında Silahtarağa termik santralinde kömür kullanılmıştır. Zonguldak’tan getirilen kömür ile elektrik üretimi sağlanmıştır. Bu elektrik üretim santralini 1914 senesinde Osmanlı Elektrik A.ş tamamlayıp İstanbul’a elektrik verilmeye başlanmıştır ve bu tarihten sonra ülkemizde termik santraller yakıt olarak önceliğini kömürden yana kullanmıştır. 2000’li yıllardan sonra ithal kömür santralleri ’de kurulmaya başlamıştır [18].

3.2.2 Yerli kömür kullanan santraller

Ülkemizde 1960’lı yıllara kadar elektrik üretiminde kömür’ün payı oldukça yüksektir. Fakat 1950’li yılların sonlarına doğru hidro elektrik santral barajların kurulması ve 1967 yılından sonrada petrol ürünleri termik santrallerde yoğun olarak kullanılmaya başlanmıştır. Bu gelişmeler 1970’li yıllarda termik santrallerde kömür kullanılma payını bir hayli geriletmiştir. Daha sonra o dönemlerde yaşanan iki büyük petrol krizi nedeniyle termik santrallerde kömür kullanımı artmış olup 1986 yılında bu santrallere ait oran %50’leri yakalamıştır [18].



Şekil 3.1: Kömür ile Çalışan Santrallerin Elektrik Üretimindeki Payı ve Kurulu Güçleri

Büyük şehirlerde oluşan hava kirlilikleri ve ortaya çıkan petrol krizlerinden dolayı petrol aramalarında geniş çaplı doğalgaz rezervleri bulunmuştur. Bununla beraber gaz çevrim türbin teknolojileri geliştirilmiştir ve bu durum ülkemizde oldukça yoğun kullanılan kömürlü termik santrallerin karşısına yeni bir alternatif getirmiştir. 1986 yılından sonra doğalgazın elektrik üretiminde kullanılması artış gösterirken, yerli kömürün kullanılması azalmıştır. 2000'li yılından sonra ise ithal kömürün termik santrallerde kullanımı hızla artmış ve 2015 yılında yerli kömür kullanımını geçtiği görülmüştür [18].

Ülkemizde termik santrallerde kullanılan yerli kömürler genellikle kalitesi düşük linyit kömürlerinden oluşmaktadır, taşkömürü kullanımı daha az olduğu görülmektedir. Taş kömürü 1948 yılında çalışmaya başlayan Çatalağzı A Santralinde 1980'lerin sonlarına kadar kullanılmıştır. 1989 yılında Çatalağzı-B Santrali 300 mW gücünde olup taşkömürü kullanımında önemini vurgulamaktadır [18].

Linyit santralleri ise 1973 yıllarına dek küçük kapasiteli olarak kurulmuştur. Buna örnek olarak 1956 yılında çalışmaya başlayan 65 mW gücündeki Tunçbilek-A Santrali ve 1957 ve 1958 yıllarında sırası ile iki üniteden ve her biri 22 mW güce sahip Soma-A Santralleri olmuştur. (Çizelge 3.2) [18].

1973 yıllarından sonra ise linyit kömürü ile çalışan kurulu güçleri daha yüksek olan santraller yaygınlaşmıştır. Buna örnek olarak her biri 300 mW gücünde olan Seyitömer termik santralinin iki ünitesi çalıştırılmaya başlamıştır. 2000 yıllarına dek yerli kömür kullanan santrallerin sayısı artmıştır.

Soma-B, Yatağan, Çayırhan, Orhaneli, Kangal, Kemerköy, Yeniköy, Tunçbilek-B Afşin-A ve Elbistan-A santralleri buna örnek olarak gösterilebilir [18].

İthal kömüre dayalı elektrik üretim santralleri tarafından oluşturulan serbest piyasada yapılan yeni düzenlemelerden mütevellit yerli kömür ile elektrik üretimi yapan santral yatırımlarını büyük ölçüde zarara uğratmıştır. Bu uygulanan piyasa modelinde doğalgaz santralleri yerli kömür ile üretim yapan santrallere göre daha fazla talep görmüştür. Sebep olarak 2000-2005 yıllarında yerli kömür ile çalışan termik santraller üretime geçememiştir. 2005 yılından sonra şuanda 1440 mW kapasiteye sahip olan Afşin-B Santrali ile Çanakkale Çan ilçesinde bulunan 320 mW

gücünde akışkan yataklı termik santraline de kamu tarafından verilen teşvikler ile devreye alınmıştır [18].

Çizelge 3.2: Yerli Kömür ile Çalışan Termik Santraller

Yıl	Santral ünitesi	Güç (MW)
1956	Tunçbilek-A1	65
1957	Soma-A1	22
1958	Soma-A2	22
1973	Seyitömer-1 ve 2	300
1977	Seyitömer-3	150
	Tunçbilek-B1	150
1978	Tunçbilek-B2	150
1981	Soma-B1	165
1982	Soma-B2	165
1982	Yatağan-1	210
1983	Yatağan-2	210
1984	Afşin-Elbistan-A 1 ve 2	680
	Yatağan-3	210
1985	Soma-B3	165
1986	Soma-B4	165
	Afşin-Elbistan-A3	340
	Yeniköy-1	210
1987	Afşin-Elbistan-A4	335
	Çayırhan 1 ve 2	300
	Yeniköy-2	210
1989	Seyitömer-4	150
	Çatalağzı-1	150
	Kangal-1	150
1990	Kangal-2	150
1991	Çatalağzı-2	150
	Soma-B5	165
1992	Orhaneli-1	210
1993	Soma-B6	165
	Kemerköy-1	210
1994	Kemerköy-2	210
1995	Kemerköy-3	210
1997	Çayırhan-3	160
1998	Çayırhan-4	160
2000	Kangal-3	157
2005	Afşin-Elbistan-B1	360
	Çan 1 ve 2	320
2006	Afşin-Elbistan-B2, 3 ve 4	1.080
2009	Ciner Silopi Elektrik Asfaltit-1	135
2015	Ciner Silopi Elektrik Asfaltit 2 ve 3	270
	Aksa Enerji Göynük-1	135
2016	Enerjisa Tufanbeyli-1, 2 ve 3	450
	Aksa Enerji Göynük-2	135
	Naksan-Adularya Yunus Emre-1	145

Yerli kömüre ilişkin son yıllarda yapılan santrallere örnek verecek olursak, 3x135 mW kurulu güce sahip Silopi Asfaltit Santrali, 2x145 mW kurulu güce sahip Bolu Göynük Santrali, 3x150 mW kurulu güce sahip Tufanbeyli Santrali ve 2x145 mW güce sahip Yunus Emre Santrali oluşturmaktadır [18].

Ülkemizde yer alan ve yerli kömür kullanan 51 tane termik santral bulunmaktadır. Bunlar arasında 100 mW gücün üzerinde olan 16 santral vardır geriye kalan santraller küçük kapasiteli santrallerdir [15]. Yerli kömürle çalışan bu santrallerin yarısına yakını 2013 yılına kadar kamu mülkü olup, 2013 yılından sonra özelleştirme çalışmaları sonrasında özel sektöre satışı gerçekleştirilmiştir. Bu santrallere örnek verecek olursak Kemerköy, Yeniköy, Yatağan, Kangal, Seyitömer, Tunçbilek, Çatalağzı ve Soma santralleri olarak yer almaktadır [18].

2015 yılında kömür ile çalışan santrallerin üretimdeki oranı %29,1 olarak kayıtlara geçmiştir. Bu üretimin de %13 lük kısmı yerli kömürle sağlanmakta olup %16,1 olan kısmı ithal kömür kullanılmaktadır. Yerli kömür ülkemizde elektrik üretim içindeki kullanım oranı her geçen gün azalmaktadır. 2016 yılında kömür ile çalışan santrallerin oranı %22,2 olup bunun %12,6 lık kısmını yerli kömürlü kullanım ve %9,6 lık kısmını ithal kömürlü santraller oluşturmaktadır [18].

Mayıs 2016 dan sonra yerli kömür ile çalışan toplam 58 tane üretim lisansı görülmektedir. Lisans başvurusunda 9 tane 2641 mW ve 3 tane 2405 mW santral bulunmaktadır. İnşaatı devam eden yerli kömür yakıtlı 10 tane santral olup bunların toplam kurulu gücü 2835 mW olarak bilinmektedir [18].

3.2.3 İthal kömür santralleri

Son zamanlarda ülkemizde üretilen kömürler ile işletilen santral yatırımları hakkında beklenen iyileştirmeler yapılmamakla birlikte dışarıdan aldığımız kömürle işletilen üretim santrali sayısı da her geçen yıl yükselmektedir. 2000 yılların başına kadar işleyen süreçte elektrik sistemlerimizde dışa bağımlı olarak işletilen santral sayısı bulunmazken bu sayı 2016 yılı itibari ile dışa bağımlı kömüre bağlı olarak kurulan santral kurulu gücü 7,474 mW'lere ulaşmıştır. Mevcut ilerlemeler dışa bağımlı kömür ile işletilen enerji santral yatırımları da önümüzdeki zaman diliminde artacağı gözükmektedir.

Çizelge 3.3: Yıllar İtibariyle Dışa Bağımlı Kömüre Dayalı İşletilen Termik Santraller

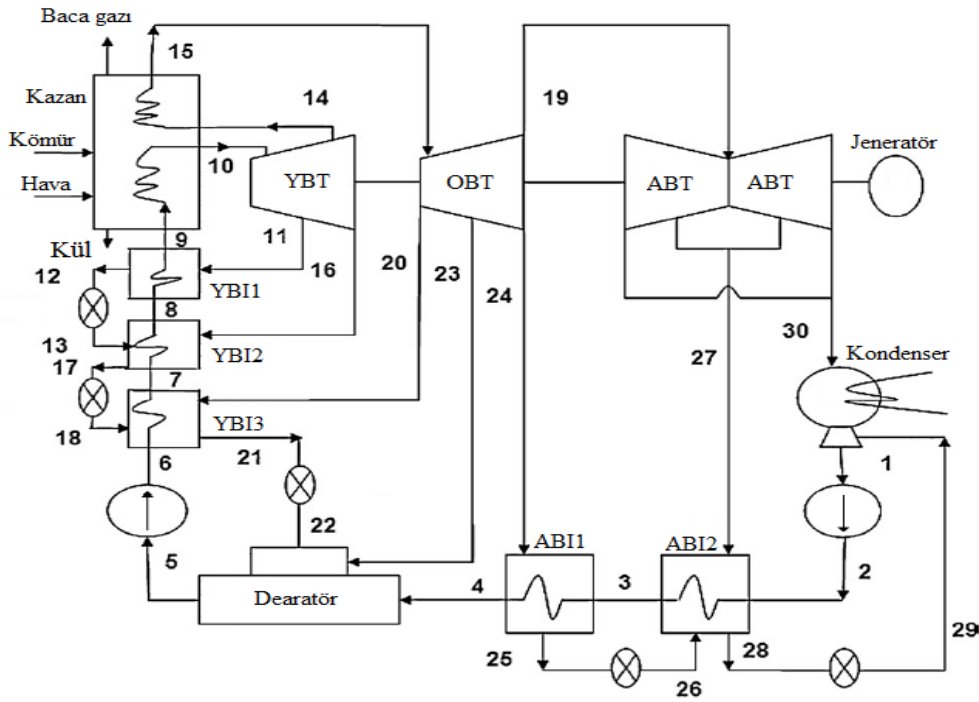
Yıl	Santral adı, ünitesi ve yeri	Güç (mW)
2000	Çolakoğlu Kocaeli-Gebze	145
2003	İsken Sugözü Adana Yumurtalık 1 ve 2	1.320
2004	Çolakoğlu Kocaeli	45
2005	İçdaş Çelik Biga-1	135
	İskenderun Demir Çelik	220,4
	Kahramanmaraş Kağıt Sanayi	6
2009	İçdaş Çelik Biga 2 ve 3	270
2010	Eren Enerji Zonguldak 1 ve 2 ve 3	1.360
2011	İçdaş Çanakkale Bekirli	600
2012	Eren Enerji Zonguldak	30
	Göknur Gıda Niğde	1,5
2014	İzdemir Enerji Aliağa	350
	İçdaş Çanakkale Bekirli	600
	Atlas Hatay 1 ve 2	1.200
2015	Kipaş Kağıt Kahramanmaraş	7,6
2016	Kahramanmaraş Kağıt Sanayi	9,7
	Eren Enerji Zonguldak 4 ve 5	1.400

Ülkemizde şuanda dışa bağımlı kömür ile işletilen 17 adet termik santral vardır. Bunlardan 3 tanesi düşük performanslı otoprodüktör santrallerdir. (Çizelge 3.3). Son yıllarda sayıları artan dışa bağımlı kömürle işletilen santraller, buhar kömürü alımında büyük ölçü de arttırmıştır. Resmi olmayan kaynaklara göre 2016 yılında dışa bağımlı kömür alımı 40 milyon ton kapasitelerinde olacağı öngörülmektedir bu öngörüler devam edeceği takdirde, dışa bağımlı kömürün alımının da bu oranda artarak katlanacağı ve kömür alımı faturasının doğal gaz'a yakın bir maliyet geleceği anlaşılmaktadır. Dışa bağımlı işletilen kömür yakıtlı elektrik santrallerine ilişkin olarak 2016 yılının ortasında 14,748 mW kapasitesinde 17 adet elektrik üretimi lisansı ile 4,860 mW kapasitesinde yürürlükte olan 5 adet 14,025 mW kapasitesinde değerlendirmede olan 14 adet önlisans başvurusu bulunmaktadır. Devam etmekte olan dışa bağımlı kömüre dayalı olarak inşa edilen santral toplam kapasiteside 8,685 mW düzeyindedir.

3.3 Termik Santrallerin Çalışma Prensibi

Termik santraller temel olarak buharlı güç çevrimine başka bir deyişle rankine çevrimine göre çalışan santrallerdir. Şekil 3.2'de örnek bir termik santral akış şeması verilmiştir ve çevrim kondenserden çıkan su ile başlar. Kondenserden çıkan doymuş

sıvı halindeki su düşük basınçta onu sıkıştırarak pompaya yönlendirilir. Pompada sıkıştırılan su basıncı artırılarak alçak basınç ısıtıcılarına (ABI) gönderilir. Alçak basınç ısıtıcıları türbinlerden ara buhar alma yöntemiyle alınan buharın ısısını kullanarak ana çevrimdeki suyu ısıtıp sıcaklığını arttırmakta kullanılan ısı değiştiricilerdir. Bu işlem alçak basınçta gerçekleştiği içinde alçak basınç ısıtıcıları olarak anılırlar. Alçak basınç ısıtıcılarından çıkan su deaeratore (hava ayırıcı) iletilir. Deaerator, su pompaya gitmeden önce suyun içindeki buharın arındırılmasını sağlar. Böylece su, besleme suyu pompasına doymuş sıvı olarak gönderilir. Besleme suyu pompası suyu yüksek basınca sıkıştırır ve yüksek basınç ısıtıcılarına (YBI) yönlendirir. Yüksek basınç ısıtıcıları, alçak basınç ısıtıcıları gibi türbinlerden alınan buhar yardımıyla ana çevrimdeki suyun ısıtılmasını sağlayan ısı değiştiricilerdir. Yüksek basınç ısıtıcılarından çıkan su yüksek basınçta kazana girer



Şekil 3.2: Bir Termik Santral Akış Şeması [1].

Kazan, içerisinde brülörlerin bulunduğu yanma kısmı ve onun üzerinde sıralanmış boru demetlerinden oluşur. Kömür kazan içine yukarıdan püskürtülür ve yakılır. Aşağı düşerken yanan kömür daha sonra kül olarak alt kısımdan alınır. Yanan kömür üst kısımda bulunan boru demetlerinden geçen yüksek basınçtaki suyu ısıtır ve su kazandan kızgın buhar olarak çıkar. Kazandan çıkan kızgın buhar yüksek basınç türbinine (YBT) yönlendirilir. Daha sonra yüksek basınç türbininden çıkan buhar tekrar kazana gönderilir ve tekrar ısıtıldıktan sonra orta basınç türbinine (OBT)

iletir. Orta basınç türbininden çıkıp alçak basınç türbininden (ABT) geçer. ABT türbininden çıkan basınç ve sıcaklığı düşmüş buhar kondensere tekrar gider ve soğutma suyu yardımıyla soğutulur ve tekrar doymuş sıvı haline getirilir ve pompaya yönlendirilir ve böylece buharlı güç çevrimi tamamlanmış olur. Türbinler aynı mil üzerinde olup aynı zamanda bu mile bağlı birde alternatör bulunmaktadır. Türbinden geçen buhar türbin kanatlarına çarparak mili döndürür. Böylece alternatör, elde edilen bu mil işini elektrik enerjisine çevirir ve dağıtım yapılmak üzere santral alanındaki şalt sahasına iletir. Santrallerde kullanılan kömür genel olarak yakında bulunan maden sahasından konveyör bant sistemiyle getirilir. Kazandan çıkan yanma sonu baca gazları ise filtrelerden geçirilerek doğal sirkülasyon veya soğutma suyu yardımıyla bacalarda arındırıldıktan ve soğutulduktan sonra doğaya bırakılırlar.

Termik santraller temel olarak bu prensibe göre çalışmaktadırlar. Yukarıda örnek olarak verilen santral iki adet alçak basınç, üç adet yüksek basınç ısıtıcıları, yüksek, orta ve alçak basınç türbinlerinden oluşan türbin grubu, deaerör (hava ayırıcı), düşük ve yüksek basınç pompaları ve kazandan oluşmaktadır. Bu sistemin tamamı santralin bir ünitesidir. Günümüzde var olan santraller bu ve buna benzer bir veya birden fazla ünitelerden oluşmaktadırlar. Temel olarak benzer sistem yapısına ve akış şeması sahip bu santrallerde sistem içindeki elemanların sayısında değişiklikler olmaktadır. Örneğin, bazı santrallerde üç adet alçak basınç ısıtıcısı, iki adet yüksek basınç ısıtıcısı vardır, yani eleman sayıları değişiklik göstermektedir [1].

3.3.1 Buhar türbini ile çalışan santrallerin görevleri ve bölümleri

Kömürün yakılması sonucunda elde edilen enerji ile çalışan santraller, üretilen buhar ile türbinler vasıtasıyla alternatöre aktararak elektrik enerjisi üretir ve bu santrallerde kullanılan kömürler düşük kalorili linyit kömürleridir.

Çevrimde üretilen elektrik enerjisi aynı zamanda düşük kalorili kömürlerin kullanılıp değerlendirilmesi anlamına da gelmektedir. Şekil 3.3'de termik santrallerinin ilk adımında kömür stok sahası ve sırası ile termik santrallerin görevleri ve bölümleri aşağıdaki gibidir.

1. Stok sahası: Santral binasında kömürün konveyörlere girmeden depolandığı alan.



Şekil 3.3: Stok Sahası (Bunker)

2. Kömür konveyörleri: Kazan'da yakılacak kömürün taşınmasını sağlayan hatlar.



Şekil 3.4: Kömür Konveyörleri

3. Değirmen: Bunker'den alınan kömürün ętlerek toz haline getirildięi yer.



Şekil 3.5: Değirmen

4. Süzgeç: Deęirmenden gelen kömürün süzüldüęü proses.

5. Yakıcı: Süzgeçten geçerek yanma odasına toz halinde ulaşan kömürün püskürtme yaparak yanmasını sağlayan bölümdür.

6. Luvo: Kazana taze hava temini yaparak yanma için gerekli olan havanın ön ısıtma yapıldığı yer.



Şekil 3.6: Luvo

7. Kazan: İçinde yakıtın yakıldığı bölüm



Şekil 3.7: Kazan

8. Elektro filtre: Baca içerisinde bulunan kül tanelerinin elektrostatik filtreler yardımı ile baca gazından ayrıştırıldığı birimdir.

9. Baca: Kazan içerisinde yanma sonucu oluşan gazların ve dumanın dışa aktarıldığı yerdir.



Şekil 3.8: Baca

10. Ekonomizer girişi: Baca gazı ile kazan besleme suyunun ısıtıldığı bölümdür.

11. Flaş buhar tankı: Ekonomizer ve kazan borularından gelen suyun depolandığı ve yarıya kadar su diğer yarısı buhar olan tanktır.

12. Kızdırıcı boruları (Sıcaklığı düşük): Kazan içerisindeki suyun eşanjörler ile ön ısıtma yapıldığı borulardır.

13. Kızdırıcı boruları (Sıcaklığı yüksek): Flaş buhar tankında var olan 355 °C buharın 535 °C ye kadar yükseltilebildiği bölümdür.

14. Buhar türbini (Yüksek basınç): Kazandan çıkan ve kızgın halde olan yüksek basınçlı buharın türbine ilk girdiği bölüm olup çevre sıcaklığında (ortam sıcaklığında) belirtilen türbin kanatlarına 535 °C’de bulunan kızgın buhar türbine ilk girdiğinde malzeme yapısında şoklama etkisi yapabileceğinden dolayı buhar belli aralıklar ile türbine verilir.

15. Buhar türbini (Orta basınç): Yüksek basıncın türbininden çıkıp sıcaklığı ve basıncı belirli oranda düşmüş buharın ikinci kısımda yani orta basınç türbinine verilen kısımdır.

16. Buhar türbini (Alçak basınç): Türbinin ikinci kısmından yani orta basınç türbin bölümünden sıcaklığı ve enerjisi biraz daha düşüp çıkan, buharın alçak basınç buhar türbinine verildiği yerdir.



Şekil 3.9: Türbin Grubu

17. Kondenser: Türbinden son buharın ayrıldığı yani çürük buharın toplandığı yerdir.



Şekil 3.10: Kondenser

18. Kazan besleme suyu hattı

19. Degazör: Kondenserden yoğunlaşmış olarak gelen sıcak suyun ve kazan besleme pompalarından gelen suyun depolandığı ve kazana göndermeden önce kazan besleme suyunun korozif maddelerden arındırıldığı prosestir.

20. Besleme suyu tankı: Degazör'den çıkan suyun korozif ve kimyasal maddelerden arınarak ısıtıcı ejanşörlerine verilen burdada ısıtılan suyun depolandığı su tankıdır.

21. Buhar ejektörü: Kondenserin içinde bulunan havayı alarak kondenserin içindeki basıncı atmosfer basıncının altında tutmaktadır. Akışkan olarak kazandan çıkan kızgın buhar kullanılır. Ejektörün çıkışında gaz+buhar vardır. Kondenserden emilen hava ile beraber kullanılan buharıda atmosfere atar. Atmosfer basıncının kondenser ile bağlantısını keser yani atmosfer basıncıyla kondenser arasında tıpa işlevini görür.

22. Su ısıtıcısı (Alçak basınç)

23. Su ısıtıcısı (Yüksek basınç)



Şekil 3.11: Alçak ve Yüksek Basınç Isıtıcıları

24. Elek (filtre): Su deposundan gelen suyun filtre edildiği yerdir.

25. Soğuk su tesisatı

26. Sıcak su tesisatı

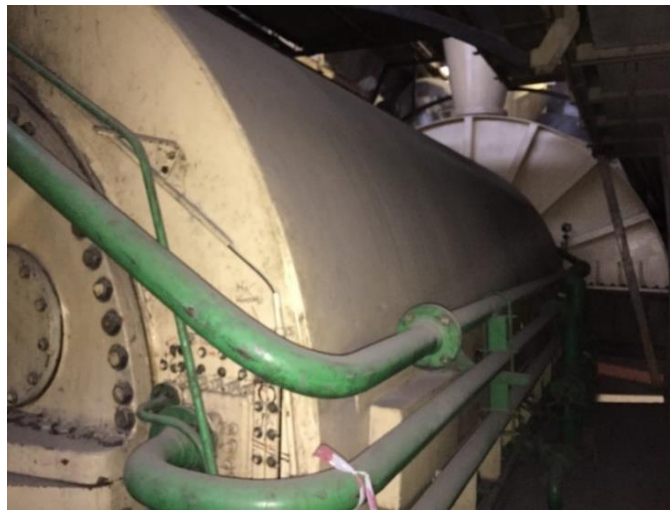
27. Soğutma kuleleri: Tesisten ısınarak gelen sıcak suyun bir kısmını buharlaştırıp atmosfere atarak soğutan, gerekli sıcaklığa ulaşmış kalan kısmını ise tesise kullanılmak üzere geri gönderen bir ısı uzaklaştırma ünitesidir.



Şekil 3.12: Soğutma Kuleleri

28. Su tasfiye sistemi: Barajdan çekilen suyun arıtılarak saf su şekline dönüştüren ünitelerdir.

29. Alternatör: Türbin mili ile birleşik olarak çalışan ve milden aldığı hareket ile mekanik enerjiyi elektrik enerjisine çeviren makinalardır.



Şekil 3.13: Alternatör

3.4 Sistemin Tanıtılması (Bir Termik Santral)

3.4.1 Bir termik santral hakkında genel bilgiler

Termik santral 9.310.000 ton/yıl linyit kömürü tüketerek 6.721.000.000 kw/h elektrik enerjisi üreten her biri 22x2=44 mW ve 165x6=990 mW Toplam kurulu gücü 1034 mW olan bir termik santraldir [19].

Projenin maden bölümü TKİ Genel müdürlüğüne bağlı ELİ Bölge müdürlüğü tarafından karşılanmaktadır [19].

Termik santrali kullanım sahası 1.752.000 m² tesisin işgal ettiği alan 1.077.000 m² sosyal ve idari tesislerin alanı 42.700 m² yeşil alan 32.000m² boş alan 600.300m² ve ayrıca ayıtlı kül barajı da 1.700.000 m² alanı kaplamaktadır [19].

Çizelge 3.4: Termik Santral Özellikleri

Kurulu Güç :	6x165= 990 mWe
Nominal Yıllık Üretim Kapasitesi :	6.435.000.000 kWh
Yapımcı Firma :	Sestlmace-Skoda Gama
İşletmeye Alınış Tarihi:	1. ünite : 29.09.1981
	2. ünite : 02.08.1982
	3. ünite : 26.05.1985
	4. ünite : 20.02.1986
	5. ünite : 02.08.1991
	6. ünite : 25.03.1992
Kullanılan Yakıtın Cinsi :	Linyit Kömürü
Kömürün Alt Isıl Değeri (Tasarım Değeri) :	2800 ±% 10 kcal/kg (1-4. ünite) 1550 ±% 10 kcal/kg (5-6. ünite)
Kömür Tüketimi (Tasarım Değeri):	1.467 g/kWh
Kömürün kül / nem oranı :	% 41- % 21 (1-4. ünite)
Kömürün kül / nem oranı :	% 51- % 21 (5-6. ünite)
Kazan Tipi :	Tabii sirkülasyonlu-radyasyonlu
Türbin Tipi :	Üç Kademeli Kondenserli
Nominal Yükte Buhar Tüketimi :	525 t/h
Buhar Giriş Sıcaklığı :	540 °C
Buhar Giriş Basıncı :	132 kg/cm ²
Jeneratör Tipi :	Hidrojen soğutmalı - Statik ikazlı

3.4.1.1 Termik santralin'in kömür ihtiyacının karşılanması

ELİ Bölge müdürlüğü termik santralde yakılacak kömürleri, merkez bölge Kısırakdere, Işıklar, Eynez, Elmalı, Darkale ocakları ve Deniz bölgesinden çıkartarak santrale 1600 t/saat kapasiteli bantlarla ve özel firmalara ait kamyonlarla kömür hazırlama tesislerine teslim şartıyla karşılamaktadır [19].

3.4.1.2 Termik santralin'in su temini

Santralin ihtiyacı olan suyu sağlıyan ve kullanma hakkı sadece santrale, ait olan ve 120.963.000 m³ hacimli sevişler barajından temin edilmektedir. Sevişler barajı santrale 13 km uzaklıkta olup , 80 cm çapında 3 adet çelik borularla su getirilmektedir. Santralin saatteki su ihtiyacı 3750 tondur [19].

3.4.1.3 Termik santralin'in kül nakli ve stoklanması

Santral da yılda ortalama 9.320.000 ton/yıl kullanılan kömürün yakılarak açığa çıkartılan 5.000.000 ton/yıl kül 7 litre su ile karıştırılarak hidrolik sistemde 4 km uzaklıktaki ayıtlı kül barajına sevk edilmektedir barajın toplam alanı 1.700.000'm² dir. Yanma sonucu açığa çıkan külün yaklaşık olarak 53.000 ton/yıl kadarı da özel firmalara satılıp, ekonomiye katkı sağlamaktadır [19].

3.4.2 Termik santralin çalışma prensibi

E.L.İ (Ege Linyitleri İşletme) bölge müdürlüğü tarafından santralin kömür hazırlama fabrikalarında 0-30 mm ebadında hazır hale getirilerek stok sahasına serilmektedir. Termik santralin stok sahası santralin 30 günlük kömür ihtiyacını karşılayacak büyüklüktedir.

Değirmen ve elek işleminden sonra stok sahasına alınan 2800kcal/kg kömürleri 1,2,3 ve 4.gruplara ait bunker'lere taşıma kapasitesi herbiri 800 ton/saat kapasiteye sahip yedekli iki konveyör bantla taşınması sağlanır. 5 ve 6. Grup'lar için ayrılan stok sahasından 1550 kcal/kg kömürleri bunker'lere taşıma kapasitesi herbiri 800 ton/saat kapasiteye sahip yedekli iki adet konveyör bant ile taşınması sağlanır. 7 ve 8. Grup'lar için ayrılan stok sahasından 3250 kcal/kg kömürleri kömür bunker'lerine 2 adet 100 ton saat kapasiteli bantlar ile taşınır biri yedektir. 1,2,3 ve 4. Gruplarda kazanların çalışma dengesi için 4 ayrı köşesine her biri 537 m³ olan kömür bunkerleri yerleştirilmiştir.

Kazanları besleyen 6 tane 37 ton/saat öğütme kapasitesine sahip değirmenler vardır. 5 ve 6. Grup'lar için kömür bunker'leri herbiri 450 m³ 6 tane kazanın sağında ve solunda yer almaktadır. Her kazanda 6 tane 65 ton/saat öğütme kapasitesine sahip değirmenler vardır. 7 ve 8. Grup'lar için kömür bunkerleri herbiri 65 ton olarak 2 kömür bunkerleri 42 ton olarak 2 kömür bunkerleri toplam 4 adet bulunmaktadır. Kazanların güney kısmına yerleştirilmişlerdir her kazanda 2

büyük değirmen 12.300 ton/saat kapasiteli 2 adet küçük değirmen 5.300 ton/saat kapasiteli 4 adet değirmen, bulunmaktadır. Öğütülen kömür değirmenin ventilasyon tesiri ile kazan içine toz halinde püskürtülerek yakılmaktadır.

Yanma sonucu ortaya çıkan küller ve egzoz gazları birlikte bacaya giderek elektrostatik kül tutucu filtreler ile %99 oranında tutulmaktadır.

Baca yükseltmeleri 1 ve 2. gruplar için 1 adet 152 m, 3 ve 4. gruplar için 1 adet 152 m, 5 ve 6. Gruplar için 1 adet 275 m 7.8. gruplarda ise 1 adet 60 m olup meteorolojik koşulları ve coğrafi koşulların etkisi ile de gazı ve kül çevreye zarar vermeyecek ölçüde düşürülür.

Elektrostatik tutucularda bulunan kül'ler ve curuf'lar suyla karıştırıldıktan sonra hidrolik kül nakli sistemiyle kül gölüne stoklanır ve dolacak baraj kademelerinin üzeri ileride toprakla kaplanarak düzgün tarım alanı haline getirilecektir. Santralde soğutma amacı ile kullanılan soğutma suyu 13 km uzakta olan sevişler barajından tedarik edilmektedir. Su tasfiye tesislerinde, yumuşak su ve saf su olarak arıtılarak su sisteme dahil edilir. Kömürün yanması sonucu kazandaki suyun sıcaklığı 540 °C ve 132 kg/cm² basınçlı kızgın buhar haline dönüşür, 1 kazan saatte 525 ton buhar üretir.

Üretilen bu buhar türbin'e verilerek türbin kanatlarını çevirir türbine eklenen alternatör'den elektrik üretilmiş olur. Alternatör çıkışı 15000 volt olarak Üretilen elektrik, ana transformatör de 380000 volta yükseltilerek şalt tesisleri vasıtası ile ulusal elektrik sistemine verilmektedir. Santrali ulusal elektrik (Enterkonvekte) sistemine bağlamak üzerine inşa edilen şalt sahası 380.000 voltluk kısmı Aliğa(İzmir) ve Balıkesire, 154.000 voltluk kısmından Bergama-Balıkesir (Seka1-2) ve soma 7-8 ünitelere gönderilir ve gelecekteki ihtiyaçlarını karşılamak üzere yedek çıkışları ihtiva etmektedir.

Gruplar ürettiği elektrik enerjisinin %10'luk kısmını santral içi ihtiyacında kullanır. Türbinde işini bitiren buharın sıcaklığı ve basıncı 33 kğ/cm² basınca 375 °C sıcaklığa düşer. Bu buhar tekrar kazana gönderilir ve kazanda istenilen 30 kğ/cm² basınca ve 530 °C sıcaklığa ulaşan buhar tekrar türbin gönderilir.

İş görmüş buhar tekrar kondenser tankına geri gönderilir. Kondenserde buhar yoğunlaştırma işlemi soğutma suyu vasıtası ile yapılır.

Buharın sıcaklığını üzerine alan soğutma suyu soğutma kulelerinde soğutulup tekrar kondenserden geçirilerek kapalı devre olarak su sirkülasyonu devam eder [19].

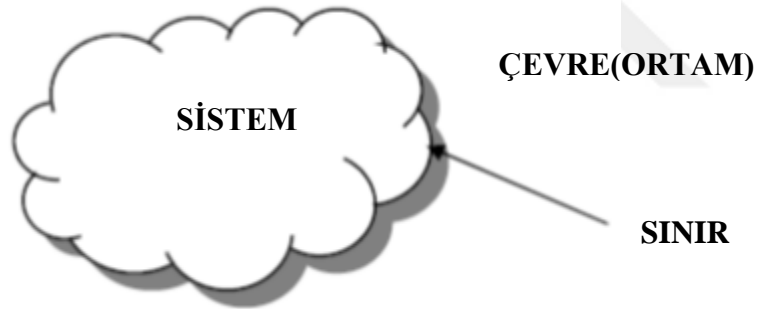
Çizelge 3.5: Santralde Yakılacak Linyit Kömürünün Ortalama Karakter Değerleri

Alt ısıl değer	2800 kcal/kg-1550 kcal/kg-3250 kcal/kg
Rutubet	%27
Kül	%40



4. TERMODİNAMİĞİN TEMEL KAVRAMLARI VE BAĞINTILAR

Günümüzde termodinamik, enerji sistemlerinin bilimi olarak tanımlanmaktadır. Latince de therme (ısı) olarak ve dynamics (güç) sözcüklerinden türeyerek günümüze ısı enerjisini işe dönüştürme çalışmalarının orantılı bir açıklaması olmaktadır. Bu tanımlama, enerjinin ve dönüşümlerinin her türlüünü kapsayan bir anlam ifade etmektedir ve termodinamiğin enerji çözümlemesi yapılması için bir sistem tanımlanması gerekmektedir. Termodinamik sistem terimi, seçilen kütle veya uzayın incelenmek için ayrılan bölgesini belirtir. Şekil 4.1’de termodinamik sistem sınırları dışındaki bölgeye veya kütleye çevre adı verilir. Yüzey sınırı sistemi çevresinden ayıran hayali veya gerçek sonu olarak adlandırılır ve hareketler sınırlı veya sabit gerçekleşebilir [20].

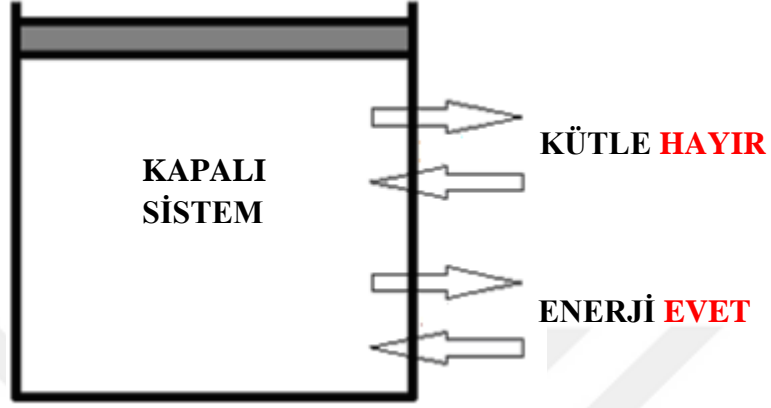


Şekil 4.1: Sistem, Sınır ve Çevre [25].

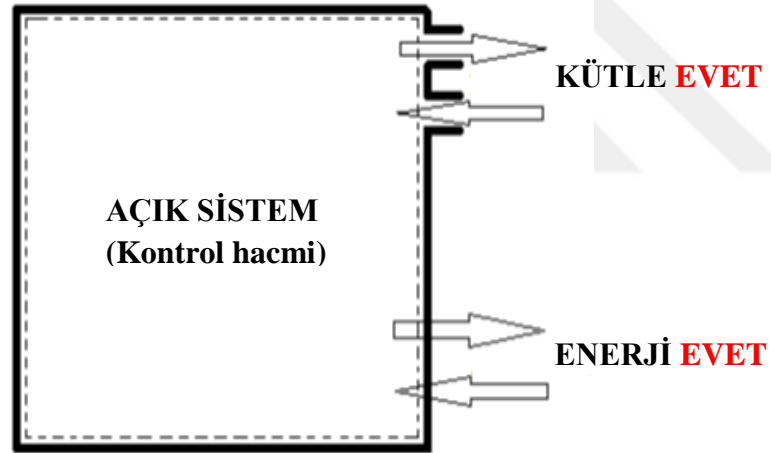
Termodinamik sistemler kapalı veya açık sistemler olarak nitelendirilmektedir ve bilinen bir bölgenin veya kütlelerin analizinin temel alınmasına göre seçim yapılmaktadır. Kapalı sistem, sınırlarından kütle geçişi gerçekleşmeyen sabit proseslerdir. Şekil 4.2’ de görülen sistem kapalı ise sisteme herhangi bir kütle çıkışı veya girişi olmaz ve enerji sistem sınırından, ısı veya iş şeklinde geçebilmektedir [20].

Kontrol hacmi diğer adıyla açık sistem, sınırlardan proses kütle girişi olan bir prosesdir ve açık sistem lüle, türbin, kompresör gibi içerisinde kütle akışı gerçekleşen

bir makineyi ele alarak inceler. Makinelerin içerisindeki akışın termodinamik açıdan analizinde ise makinenin fiziksel hudutları sistemin hudutları olarak kabul edilir. Enerji ve kütle, kontrol yüzeyi adı verilen açık sistem sınırlarını geçebilir. Şekil 4.3’ de açık bir prosede, kütle girişi ve çıkışı olmakla beraber proses ile çevre arasında enerji geçişide gerçekleşmektedir [20].



Şekil 4.2: Kapalı Sistem Şematik Görünümü



Şekil 4.3: Açık Sistem Şematik Görünümü

4.1 Termodinamiğin I. Kanunu

Enerjinin korunumu ilkesi enerjinin vardan yok, yoktan var edilemeyeceğini enerjinin ancak şekil değiştirebileceğini söylemektedir. Enerji, kapalı bir prosesin sınırlarından iş veya ısı olarak geçiş yapma özelliğini taşımaktadır. Termodinamiğin kapalı sisteminde enerji akışı, çevre ile sistem arasındaki sıcaklık farkından kaynaklı meydana geliyorsa bu enerji “ısı” olarak tanımlanır. Eğer sıcaklık farkı söz konusu değilse “iş” adı verilir.

Termodinamik bağıntılarda çevre ile sistem arasında gerçekleşen ısı transferinde yapılan iş pozitifdir. Sistem ile çevre arasındaki ısı transferi ve sisteme gerçekleşen iş negatif işaretli kabul edilir [20].

4.2 Sürekli Akışlı Açık Sistem

Santralin komponentleri sürekli akışlı açık proses olarak kabul edilerek ele alınacak olup sürekli akışlı açık proseslerde aşağıdaki kabuller yapılabilir.

Kontrol hacminde, yaygın ve kontrol hacmine has özellikler hiçbir süre zarfında farklılık göstermez ve kontrol hacmini (v), kütle (m), toplam enerji (E), sürekli akışlı açık prosesde sabit olup kontrol hacminden çıkan toplam kütle ve enerji giren toplam kütle ve enerjiye eşittir çünkü \dot{m}_{kh} ve E_{kh} sabittir.

Kontrol hacminin sınırlarındaki hiçbir özellik herhangi bir süre zarfında değişiklik göstermez. Bu sebeple çıkan ve giren akışkanın karakteristiğide zamanla değişmez. Çıkış ve girişteki kütleli debisi sabittir. Prosesin çevresiyle birim süre zarfında yaptığı iş ve ısı transferi yoluyla yaptığı etkileşim sabit olmaktadır [20].

4.2.1 Sürekli akışlı açık sistemde kütle korunumu

Sürekli akışlı açık proseslerde, kontrol hacminde toplam kütle herhangi bir süre zarfında değişiklik göstermez. ($\dot{m}_{kh} = \text{sabit}$). Bu durumda, kütle korunumu ilkesi uyarınca kontrol hacmine giren toplam kütle ile çıkan toplam kütleye denk olması gerekmektedir ve birden fazla girişi olan sürekli akışlı açık prosesler için, kütle korunumu aşağıda gösterilmektedir.

$$\left(\begin{array}{c} \text{Birim sürede KH'ne} \\ \text{giren toplam kütle} \end{array} \right) = \left(\begin{array}{c} \text{Birim sürede KH'den} \\ \text{çıkan toplam kütle} \end{array} \right)$$

veya,

$$\sum \dot{m}_g = \sum \dot{m}_\zeta \quad (\text{kg/s}) \quad (4.1)$$

Denklemden girişi g indisi, çıkışı ζ indisi ile ifade etmektedir. Pompa, kompresör, türbin, lüle mühendislik uygulamalarının genelinde, sadece bir akış, bu nedenle de bir giriş ve çıkış söz konusudur. Böyle durumlarda, çıkış 2 indisiyle giriş 1 indisiyle ifade edilmektedir.

Böylece yukarıdaki eşitlik;

$$\dot{m}_1 = \dot{m}_2 \quad (\text{kg/s}) \quad (4.2)$$

veya,

$$\rho_1 V_1 A_1 = \rho_2 V_2 A_2 \quad (4.3)$$

veya,

$$\frac{1}{V_1} V_1 A_1 = \frac{1}{V_2} V_2 A_2 \quad (4.4)$$

şeklinde ifade edilir. Denklemden;

V = ortalama akış hızı akış yönünde (m/s)

ρ = yoğunluk (kg/m³)

v = özgül hacim (m³/kg)

A = dik kesit alanı akış yönünde (m²) olmaktadır.

4.2.2 Enerji korunumunda sürekli akışlı açık sistemler

Kontrol hacmi toplam enerjisinde farklılık olmaz. ($\Delta E_{KH} = 0$). Bu durumda sürekli akışlı açık proseslerde, kontrol hacmine kütle, iş, veya ısı akışı olarak prosese etki eden giren enerji her zaman çıkan enerjiye denktir.

Sürekli akışlı açık sistemler için enerjinin korunumu ilkesi aşağıdaki şekilde ifade edilebilir:

$$\begin{bmatrix} \text{Birim zamanda} \\ \text{ısı veya iş olarak} \\ \text{sınırları geçen} \\ \text{toplam enerji} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \text{Birim zamanda} \\ \text{kütle ile birlikte} \\ \text{KH'den çıkan} \\ \text{toplam enerji} \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \text{Birim zamanda} \\ \text{kütle ile birlikte} \\ \text{KH'den giren} \\ \text{toplam enerji} \end{bmatrix}$$

veya,

$$\dot{Q} - \dot{W} = \sum \dot{m}_c \theta_c - \sum \dot{m}_g \theta_g \quad (\text{kW}) \quad (4.5)$$

Denklemden θ akış işinin içerisinde olmak üzere akışkanın birim kütesinin toplam enerjisidir. $\theta = h + ke + pe$ şekilde alınır,

$$\dot{Q} - \dot{W} = \sum \dot{m}_c \left(h_c + \frac{1}{2} V_c^2 + g z_c \right) - \sum \dot{m}_g \left(h_g + \frac{1}{2} V_g^2 + g z_g \right) \quad (\text{kW}) \quad (4.6)$$

Şeklinde ve bu durumda kütle debisinin farklılık göstermediği görüldüğünde ($\dot{m} = \dot{m}_1 = \dot{m}_2$), ayrıca kinetik ve potansiyel enerjilerinin farklılık göstermediği kabul edildiğinde bir çıkışlı ve bir geçişli sürekli akışlı açık bir proses için enerjinin korunumu denklemi;

$$\dot{Q} - \dot{W} = \dot{m}[h_2 - h_1] \quad (\text{kW}) \quad (4.7)$$

şeklinde yazılır. Bu denklem kütle debisi \dot{m} ile bölünürse ve iş ihmal edilirse, birinci yasa birim kütle için ifade edilmiş olur:

$$q = h_2 - h_1 = \Delta h \quad (\text{kJ/kg}) \quad (4.8)$$

Burada,

$$q = \frac{\dot{Q}}{\dot{m}} \quad (\text{birim kütle geçişi, kJ/kg}) \quad (4.9)$$

Olmaktadır. Burada:

\dot{Q} =kontrol hacmi ile çevre arasında birim zamandaki ısı transferi geçişini ve $\Delta h = h_c - h_g$ bir akışkanın entalpi farkını, giriş ve çıkış fazları için entalpi değerlerinin özellik çizelgelerinden bulunabilmektedir. Mükemmel gazlar entalpi değişimi yaklaşık olarak $\Delta h = c_{p,ort}(T_2 - T_1)$ bağıntısı ile analiz edilebilir.

4.3 Termodinamiğin II. Kanunu (Ekserji Analizi)

Termodinamiğin ikinci kanunu, enerji geçişlerinin ancak belli kurallar ve belli bir yönde olabileceğini ve bu bağlamda gerçekleşen olayların olduğu gibi geriye dönüştürülemeyecek şekilde meydana geldiğini ortaya koyar ve bu sebeple de her geçişte enerjinin verimli iş gücünün azalma sebebiyetini açıklayan, enerjinin kalitesini ilgilendiren datalar veren kanundur en ciddi öneme sahip olan ise enerjinin korunum hesabına göre uygun olarak yapılan işlemler ve hesaplamalar neticesinde prosesin sonuçlarının gerçekte çıkan değerler ile gerçekleşip gerçekleşmediğini söyleyecek büyüklükteki değerleri sağlar [21].

Kendiliğinden gelişen bir hal değişimi belirli bir yönde gerçekleşmesine rağmen termodinamiğin birinci yasası hal değişiminin yönü hakkında bilgi vermez. Termodinamiğin birinci yasası, sadece enerjinin dönüşümü sırasında hal değişiminin enerjisinin korunmasıyla ilgilendirir. Böylece bazı durumlarda hal değişimi termodinamiğin birinci yasasına aykırı değilken termodinamiğin ikinci yasasına aykırı olmaktadır. Termodinamiğin birinci yasası kullanılarak enerji dönüşümlerini ve geçişlerini açıklamanın yetersiz olduğu anlaşılmaktadır. Termodinamiğin ikinci yasası enerji formlarının kaliteleri arasındaki farklılıkları belirlememizi ve bazı hal

değişimleri kendiliğinden gerçekleşirken bazılarının neden gerçekleşmediğini açıklamamızı sağlar [24]. Termodinamiğin ikinci kanunuyla ısı makinesinin kullanılabilirliğini aşağıdaki şekilde formüle edilebilir [20].

$$\eta_{th} = \frac{W_{net,çıkan}}{\dot{Q}_h} = 1 - \frac{\dot{Q}_L}{\dot{Q}_H} \quad (4.10)$$

Burada $W_{net,çıkan}$ ısı makinesinden ortaya çıkan işi Q_H ısı makinesine gönderilen toplam ısıyı ve \dot{Q}_L ısı makinesinden ortama geçen ısıyı göstermektedir. Termodinamiğin ikinci kanunun iyi anlaşılabilmesi için öncelikle bazı tanımlamaların yapılması gerekmektedir bunlar ısı enerji deposu, tersinir ve tersinmez faz değişimleri, ısı makineleri, tersinmezlik, entropi, kullanılabilirlik, tanımlamalarının yapılması gerekmektedir.

4.3.1 Isıl enerji deposu

Yüksek ısı enerjisi kapasitesine sahip olan veya kütlesi ve özgül ısısının çarpımı büyük olan cisimleri tanımlamaktadır. Isıl enerji depolarına sıcaklığını sabit olarak tutarak ya da değiştirmeden sonsuz sayıda ısı enerji geçişi sağlanabilir. Isıl enerjinin alındığı kaynağa ısı enerji kaynağı ve ısı enerjinin verildiği sıcaklığı düşük depoya kuyu veya düşük sıcaklıktaki ısı enerji deposu denmektedir [20].

4.3.2 Isı makineleri

Yüksek sıcaklıktaki bir enerji deposundan aldığı ısı enerjiyi işe dönüştüren sistemlerin genel adıdır.

4.3.3 Tersinir ve tersinmez hal değişimleri

Herhangi bir fazda iken çevre ve sistem üzerinde bir iz bırakmadan ters yönde gerçekleşen faz değişimine verilen tanımlamadır. Her iki yönde gerçekleşen faz değişimlerinde ise gerçekleşen net ısı geçişi ve net iş ancak sıfır olursa mümkündür. Sıfır olmayan durumlara tersinmez hal değişimi adı verilir.

4.3.4 Tersinmezlik

Bir çevrimin işlediği sırada kaybedilen iş miktarı potansiyelidir. Örneğin; gazların homojen karıştırılması, sonlu sıcaklık farkındaki ısı geçişleri, elektrik direnci gibi sebepler tersinmezliğe olan sebepleri gösterir.

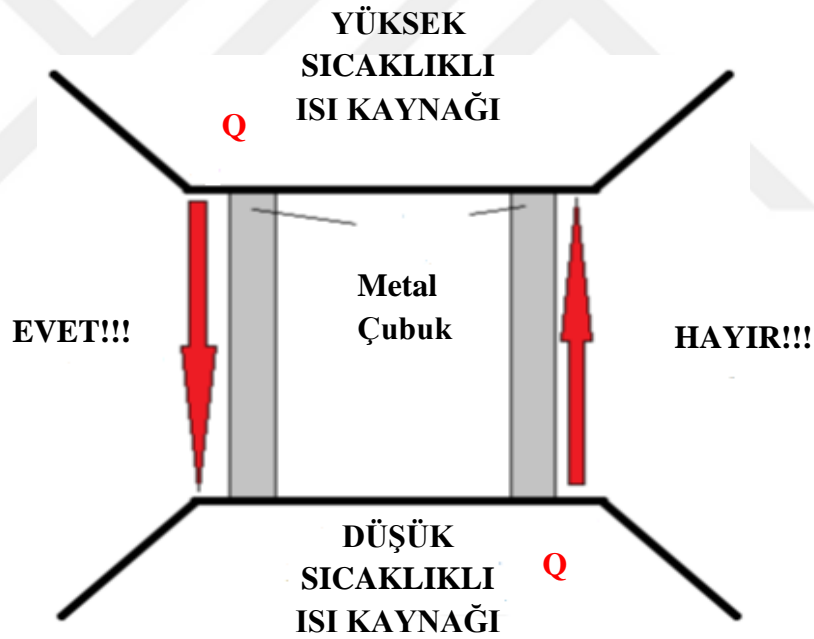
4.3.5 Kullanılabilirlik

Bir çevrimin başlangıcından çevrenin bulunduğu ölü hale geldiğinde elde edilebilecek en fazla çok iş olarak tanımlanır. Başka bir ifadeyle bir sistemin termodinamik yasalarına aykırı olmadan yapabileceği işin üst sınırını gösterir.

Termodinamiğin ikinci kanunu ile ilgili birçok ifade bulunmasına rağmen, en çok bilinen iki ifade Clausius ve Kelvin-Planck ifadeleridir.

4.3.6 Clausius ve Kelvin-Planck ifadeleri

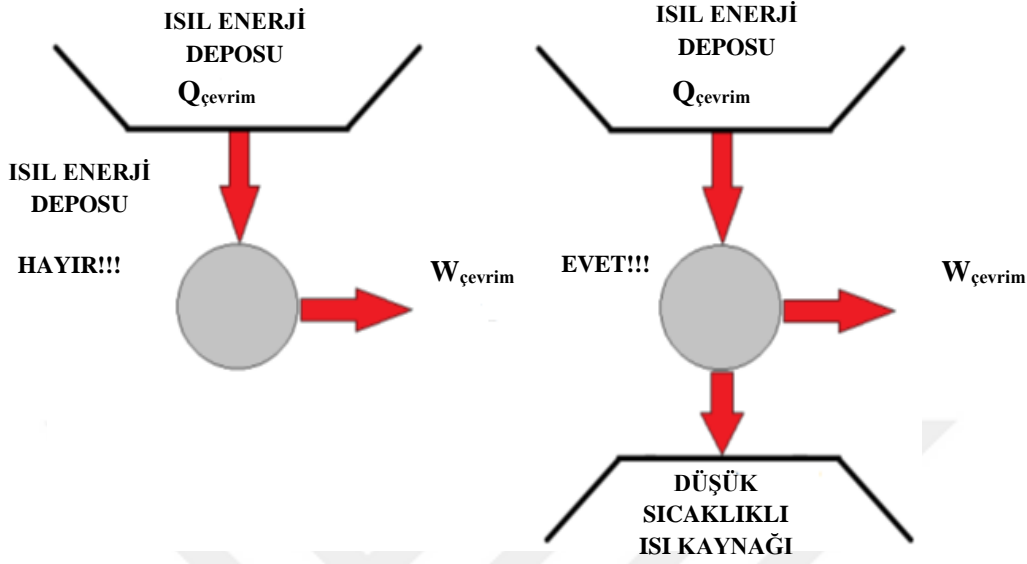
Clausius termodinamiğin II. Kanununu şu şekilde yorumlamaktadır: “Bir proses termodinamik çevrimini gerçekleştirip işlem gören bir ısı makinesinin başka bir etkileşime girmeden daha az sıcaklıktaki bir nesneden ısı enerjisi alıp daha fazla sıcaklıktaki bir nesneye vermesi mümkün değildir ve bu sebeple ısı enerjisi her zaman yüksek sıcaklıktan düşük sıcaklığa doğru gerçekleşmektedir. (Şekil 4.4) [20].



Şekil 4.4: Clausius İfadesinin Şematik Görünümü

Isı bir proses makinesinde çevrim tamamlandıktan sonra daha az sıcaklıkta bulunan ısı kuyusuna ısı ve enerji geçişi olmalıdır. Isı makinelerinin kullanılabilirliklerine sınır getiren yöntem termodinamiğin iki kanununun Kelvin-Planck'ın yaptığı açıklamada açıkça belirtilip şu şekilde ifade edilmiştir.”Termodinamik bir proses çevriminde çalışan ısı makinesinin yalnız bir kaynaktan ısı geçişi olup net iş elde etmesi imkansızdır. Hiçbir ısı makinesinin ısı

veriminin % 100 olmayacağı gibi kendisinden çevre ortamına ısı aktarımı olacağı anlaşılmaktadır (şekil 4.5) [20].



Şekil 4.5: Kelvin-Planck İfadesini Şematik Görünümü

4.3.7 Entropi

Termodinamiğin 2. yasasına göre incelenecek bir sistemin tersinir olması gerekmektedir o sistem prosesi oluşurken çevre ve sistemin ilk başlangıç koşullarının değişmemesi ve prosesin çevre ile etkileşimde olmaması demektir, normalde tersinir bir proses olması mümkün olmamakla birlikte bütün sistemlerin tersinmez olduğu olarak ifade edilmektedir. Tersinmez sistemlerin oluşmasına neden olan tüm tesirlere tersinmezlik denir ve bunlara örnek olarak (sonlu sıcaklık ve basınç farkı, yanma işlemleri ve reaksiyonlar vb.)

Carnot çevrimi 4 tersinir fazdan oluşan bir tersinir sistemdir bu sistemlerin ikisi sabit sıcaklıkta diğer ikisi de adyabatiktir. Carnot yasaları aynı ısı enerji kaynakları arasında işlem gören tersinir ısı makinalarının kullanılabilirliklerinin denk olduğu aynı enerji ve ısı kaynakları arasında işlem gören ısı makinelerinin en fazla verime tersinir makinenin olduğu görülmektedir.

Tersinir çalışan bir ısı makinesinin verdiği ve aldığı ısı enerji kaynaklarının sıcaklıkları arasında şu bağıntı vardır;

$$\left(\frac{\dot{Q}_H}{\dot{Q}_L}\right)_{tr} = \frac{T_H}{T_L} \quad (4.11)$$

Bu nedenle tersinir bir ısı makinesinde \dot{Q}_H/\dot{Q}_L oranı, T_H/T_L oranıyla yer değiştirebilir. Burada T_H ile T_L ısı enerjisi depolarının mutlak sıcaklıklarıdır.

Carnot ısı makinesinde verim aşağıdaki gibi tekrar değerlendirilirse;

$$\eta_{th} = 1 - \frac{T_L}{T_H} \quad (4.12)$$

Termodinamiğin II. Yasasında “Entropi” diye adlandırılan yeni bir tanım ortaya çıkmaktadır. Entropi herhangi prosesin mikroskobik düzeyde tertipsiz sayısal bir niteliğidir. Entropi tanımı Clausius’un eşitsizlik denklemine göre;

$$\oint \frac{\delta Q}{T} \leq 0 \quad (kJ/K) \quad (4.13)$$

Tersinir proseslerde Clausius eşitsizliği;

$$\int \left(\frac{1}{T}\right)_{tersinir} d\dot{Q} = 0 \quad (4.14)$$

haline dönüşür. Bunun ispatı için, tersinir bir ısı makinesi göz önüne alınır. Tersinir döngü, tersinir proseslere ayrılarak integre edilirse;

$$\int \left(\frac{1}{T}\right)_{tersinir} d\dot{Q} = \int \frac{1}{T_H} d\dot{Q}_H - \int \frac{1}{T_L} d\dot{Q}_L = \frac{\dot{Q}_H}{\dot{Q}_L} - \frac{\dot{Q}_L}{T_L} \quad (4.15)$$

Sonucu elde edilir. Çünkü $\left(\frac{\dot{Q}_H}{\dot{Q}_L}\right)_{tr} = \frac{T_H}{T_L}$ eşitliği tersinir proseslerde söz konusudur.

Entropi kavramını anlamak, tersinir bir ısı makinesi ile tersinmez bir ısı makinesini aynı çevre şartlarında çalıştığını farzederek bir örnekle incelersek; tersinir ve tersinmez makineler aynı \dot{Q}_H ısı verildiğinde, tersinmez bir makinenin tersinir bir makineye göre yaptığı iş dışarı verdiğinde daha az \dot{Q}_L ısı daha yüksek olduğu görülecektir. O halde $\dot{Q}_{L,tersinmez} > \dot{Q}_{L,tersinir}$ olacaktır.

Yukarıdaki durumda tersinir bir sistem prosesi ile tersinmez bir sistem prosesi arasındaki değişkenlik pozitif bir değer olacağı için tersinmez ısı proses makinesinin dönüştürülmüş integrali aşağıdaki gibi gösterilir;

$$\int \left(\frac{1}{T}\right)_{tersinmez} d\dot{Q} < 0 \quad (4.16)$$

Entropi kavramını daha iyi anlatabilmekiçin bu denklemlerden faydalanılır. Entropinin temelinde Clausius denkleminin Entropi üretimine eşitlenerek bulunan bu denklemi aşağıdaki şekilde yazabiliriz;

$$S_{\text{üretim,çevrim}} \geq -\oint \frac{\delta Q}{T} \quad (4.17)$$

Bu denklemde yer alan $S_{\text{üretim,çevrim}}$ çevrim tamamlanana kadar üretilen entropi olup entropi üretimi çevrim boyunca meydana gelen tüm mükemmellikten ve tersinmezliklerden uzaklaşmanın bir ölçütüdür çünkü entropi arttığında verim azalır. İfadede yer alan T prosesin sıcaklığını, Q ise faz değişimi sırasındaki ısı geçiştir. Faz değişirken entropi üretimi herhangi bir süre zarfında sıfırdan küçük olamaz çünkü enerji miktarı faz değiştirdiğinden dolayı sıfırdan büyüktür. Isı aktarımı olmadığı zaman, entropi değişimi sadece tersinmezliklerden meydana gelir bu etki eden tersinmezlikler her zaman entropiyi arttırmaktadır. Bir faz değişiminin entropi değişimi eksi yönde gerçekleşeceği görülürse bu faz değişimi gerçekleşmez diyebiliriz [20].

4.3.7.1 Sürekli akışlı açık sistem için entropi dengesi

Sürekli akışlı açık prosesler için entropi üretim denklemi şu şekildedir;

$$\dot{S}_{\text{üretim}} = \sum \dot{m}_ç S_ç - \sum \dot{m}_g S_g + \sum \frac{\dot{m}_R}{T_R} \geq 0 \quad (4.18)$$

Burada $\dot{S}_{\text{üretim}}$ birim sürede üretilen entropi üretimini, \dot{m}_g ve $\dot{m}_ç$ sırasıyla birim süre zarfında S_g prosese giren ve $S_ç$ prosesden çıkan kütle miktarını, kütle akışına bağlı olarak değişen birim sürede giren ve çıkan entropi değerlerini ifade etmektedir. Çevre ile ısı transferinde bulunan tek girişli ve tek çıkışlı sürekli akışlı açık sistemli bir proses için yukarıdaki denklem sadeleştirilirse;

$$\dot{S}_{\text{üretim}} = \dot{m}(S_ç - S_g) + \frac{\dot{Q}_{\text{çevre}}}{T_{\text{çevre}}} > 0 \quad (\text{kJ/kgK}) \quad (4.19)$$

Yukarıdaki denklem, sıcaklığı T_R ifadesiyle gösterilen ısı enerji kaynaklarını \dot{Q}_R miktarda ısı transferindeki bir kontrol hacmi içindir ve dikkat edilirse yukarıdaki verilen II.kanun denklemlerinin genel şeklinde iç enerjinin ve entalpinin yerini entropinin aldığı I.kanun denklemini hatırlatmaktadır [20].

4.3.7.2 Saf maddeler için entropi değişimi

Herhangi bir şekilde verilen bir fazın entropi değerleri, diğer özellikler için devam eden yolla belirtilir. Kızgın buhar ve sıkıştırılmış sıvı bölgelerinde verilen entropi hali direkt olarak çizelgeden bulunur ve doymuş sıvının ve doymuş buhar karışımı bölgesinde entropi,

$$S = S_f + XS_{fg} \quad (\text{kJ/kgK}) \quad (4.20)$$

denkleminde hesaplanır. Burada x kuruluk derecesini, S_f ve S_{fg} doyma çizelgelerinde yer alan doymuş sıvı değerlerini içerir. Sıkıştırılmış sıvı için özellik değerleri verilmemiş ise sıkıştırılmış sıvının entropi değeri aynı sıcaklıkta bulunan doymuş sıvının entropisine yaklaşık olarak kabul edilebilir.

$$S_{@P,T} \cong S_{f@T} \quad (4.21)$$

Bir faz değişimi esnasında saf maddenin entropi değişimi, son ve ilk hallerde bulunan entropilerinin farkıdır.

$$\Delta S = m(s_2 - s_1) \quad (\text{kJ/K}) \quad (4.22)$$

Veya

$$\Delta s = s_2 - s_1 \quad (\text{kJ/kg.K}) \quad (4.23)$$

4.23 nolu eşitsizlik kontrol hacminden geçen birim kütleyle ve kapalı bir sisteme de uygulanabilir [20].

4.3.7.3 Sıvı ve katıların entropi dengesi

Katıların ve sıvıların hacimlerinde bir faz değişimi esnasında nerdeyse sabit kalmaları sonucu ile katılar ve sıvılar sıkıştırılmayan maddeler olarak kabul edilir, bu sebeple sıkıştırılmayan maddeler için $C_p=C_v=C$ eşit değerde kabul edilebilir ve faz değişimi esnasında entropi değişimi özgül ısı C ' nin sıcaklık birlikte değişiminin ihmal edilebilecek kadar küçük olduğu kabul edilirse ile denklem şöyle yazılabilir;

$$s_2 - s_1 = C_{ort} \ln \frac{T_2}{T_1} \quad (\text{kJ/kgK}) \quad (4.24)$$

4.3.7.4 Mükemmel gazların entropi değişimleri

Mükemmel gazların faz değişimi esnasında entropi değişimlerini sabit özgül ısı varsayımıyla gösteren denklem şöyledir;

$$s_2 - s_1 = C_{v,ort} \ln \frac{T_2}{T_1} + R \ln \frac{V_2}{V_1} = C_{v,ort} \ln \frac{T_2}{T_1} + R \ln \frac{P_2}{P_1} \quad (\text{kJ/kg.K}) \quad (4.25)$$

4.3.7.5 Entropi değişiminin nedenleri ve sonuçları

Bir prosesin entropi değişiminde etkisi olan 3 sebep bulunmaktadır;

1. Prosele olan ısı alışverişi prosesin entropisini yükseltir, sistemden olan ısı transferi de prosesin entropisini düşürür.
2. Kütle enerjisinin yanında entropide mevcuttur. Kütle akışı bir kontrol haciminden başka bir kontrol hacimine entropi ve enerji aktarımında yardımcı olur.
3. Sonlu sıcaklık farkında ısı transferi, sürtünme, hızlı genişleme vs. her zaman entropinin yükselmesine sebep olmaktadır. Tersinmezliklerden meydana gelen entropi üretimi meydana gelir ve tersinir faz değişimi için $S_{üretim} = 0$ olur. Eğer bir faz değişimi esnasında ısı transferi yoksa, proses sınırları dahilinde tersinmezlik yoksa, kütle değişmediği sürece entropi sabittir.

Yukarıda belirtilen nedenlerin sonucunda entropi ile ilgili aşağıdaki sonuçlara varılabilir:

4. Faz değişimi sadece bir yönde gerçekleşebilir. Bu entropi yönü entropinin yükselme kuralına uygun olan yöndür, yani herhangi bir faz değişimi sırasında $\Delta S_{toplam} \geq 0$ olmak zorundadır. Bu kuralı sağlamayan bir faz değişimi gerçekleşemez.
5. Entropinin korunumu söz konusu değildir. Entropi sadece bir düşünce aracı olan tersinir faz değişimleri sırasında durağan kalır, tersinmez (gerçek) tüm faz değişimleri sırasında yükselir ve bu sebeple çevrenin entropisi devamlı artar.
6. Entropi üretimi bir proses de bulunan tersinmezliklerin niceliğidir. Tersinmezlikler yükseldikçe entropi üretimi de yükselir.

4.3.8 Sürekli akışlı açık sistemlerin ikinci yasa çözümlemesi

Aşağıda bulunan denklemde termodinamiğin II. kanununun çözümlemesiyle lüle türbin, kompresör, pompa ve ısı eşanjörü gibi sürekli akışın olduğu açık proseslerde kullanılabilir. Sürekli akışlı açık proses için termodinamiğin ikinci kanunu ile aşağıdaki gibi özetlenebilir;

$$\dot{S}_{\text{üretim}} = \sum \dot{m}_c s_c - \sum \dot{m}_g s_g + \frac{\dot{Q}_{\text{çevre}}}{T_0} \quad (\text{kJ/kgK}) \quad (4.26)$$

Burada $\dot{Q}_{\text{çevre}} = -\dot{Q}_{\text{çevre}}$ ve $\dot{S}_{\text{üretim}}$, açık sistemin toplam entropi üretimidir. Burada birinci kanun formülleri de kullanılarak ısı transferi terimleri sadeleşirse;

$$\dot{W} = \sum \dot{m}_g \left(h_g + \frac{v_g^2}{2} + gz_g - T_0 s_g \right) - \sum \dot{m}_c \left(h_c + \frac{v_c^2}{2} + gz_c - T_0 s_c \right) - T_0 \dot{S}_{\text{üretim}} \quad (\text{kW}) \quad (4.27)$$

denklemini elde edilir. Bu denklemde görülen \dot{W} , açık sistemlerde yapılan gerçek iş olup aynı bağlamda yararlı iştir, çünkü sürekli akışlı açık proseslerin sınırları sabit olduğundan çevre işi söz konusu değildir. Tersinir iş yukarıdaki eşitsizlikte toplam entropi üretimi $\dot{S}_{\text{üretim}}$ sıfır değerine denklemlenerek hesaplanabilir.

$$\dot{W}_{tr} = \sum \dot{m}_g \left(h_g + \frac{v_g^2}{2} + gz_g - T_0 s_g \right) - \sum \dot{m}_c \left(h_c + \frac{v_c^2}{2} + gz_c - T_0 s_c \right) \quad (\text{kW}) \quad (4.28)$$

Sürekli akışlı açık bir prosesin bir giriş ve çıkışı var olduğunu varsayarsak yukarıdaki eşitsizlik sadeleştiğinde;

$$\dot{W}_{tr} = \dot{m} \left[(h_g - h_c) - T_0 (s_g - s_c) + \frac{v_g^2 - v_c^2}{2} g (z_g - z_c) \right] \quad (\text{kW}) \quad (4.29)$$

Olarak bulunur. Buradaki potansiyel enerji ve kinetik enerji farkları ihmal edilirse, tersinir iş;

$$\dot{W}_{tr} = \dot{m} [(h_g - h_c) - T_0 (s_g - s_c)] \quad (\text{kW}) \quad (4.30)$$

veya sistemden geçen birim kütle için;

$$\dot{W}_{tr} = (h_g - h_c) - T_0 (s_g - s_c) = T_0 \Delta s \quad (\text{kJ/kg}) \quad (4.31)$$

Bir açık sistemde tersinmezlikler, \dot{I} ; birim kütle için tersinmezlik i ; tersinir işle yararlı iş arasındaki farktır [40].

$$\dot{I} = \dot{W}_{tr} - \dot{W}_y = T_0 \dot{S}_{\text{üretim}} \quad (\text{kJ/kg}) \quad (4.32)$$

Yazılır. Birim kütle için tersinmezlik ise;

$$i = \dot{w}_{tr} - \dot{w}_y = T_0 \dot{s}_{\text{üretim}} \quad (\text{kJ/kg}) \quad (4.33)$$

4.4 Yanma ve Yakıt ile İlgili Analizler

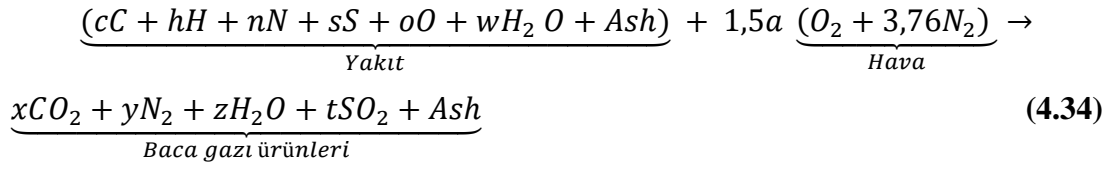
Buhar kazanı buhar elde edebilmek için yeterli sıcaklığa ulaştığında bir ısı deposuna ihtiyaç duyar ve bu amaçla genellikle buhar kazanlarının yanma odalarında fosil yakıtların yakılması ile oluşan kimyasal enerjiden yararlanır. Bu çalışmada santralin kazanın düşük kalorili soma linyit kömürünü kullanarak göz önüne alınmış olan santralde kömüre ait kimyasal bileşen özellikleri Çizelge 4.1 gösterilmiştir. Santralde kullanılan linyit kömürünün kalori değeri 2800 kcal/kg \pm 100 olarak incelenmiş olup, işleme şartlarına bağlı kalori değeri değişebilmektedir. Bu çalışmada santralde yapılan ölçümlerin nihayetinde yakıtın alt ısı miktarı olarak bulunan ortalama kalori değeri 2819,77 kcal/kg olarak alınmıştır.

Çizelge 4.1: Bazı Yakıtların Bileşen Analizi (MTA, 2002) [27].

LİNYİT	C [%]	H [%]	O [%]	S [%]	N [%]	W [%]	A [%]	Hu [kJ/kg]
Kangal	19,70	1,55	8,81	1,29	0,58	52,00	16,07	5876,3
Çayırhan	31,68	2,58	7,81	2,49	1,23	24,69	29,52	11156,42
Elbistan	21,19	1,83	9,4	0,81	0,52	49,33	16,92	6395,4
Orhaneli	47,46	3,29	11,97	1,56	2,00	26,25	7,47	16084,64
Seyitömer	20,81	1,78	9,35	0,31	1,15	38,12	28,48	6797
Tunçbilek	42,52	2,84	12,68	1,98	0,98	27,38	11,62	14734
Yatağan	29,16	2,55	12,68	1,85	0,27	31,17	22,32	10253,54
Soma	38,64	2,74	16,40	0,01	0,59	18,64	22,98	11720,80
Yeniköy	39,05	3,02	11,21	1,42	1,46	24,26	19,58	14625,82
Çan	30,18	2,45	10,06	5,28	0,31	20,36	31,36	10604,66

Yanma, maddenin içinde bulunan kimyasal enerjinin hava ile reaksiyona girmesi sonucu ortaya çıkması olayıdır. Yakıt içerisinde temel yanabilir elemanlar karbon, hidrojen ve bunların bileşikleridir. Yanma işlemi esnasında yananan bu atomlar ve bunların bileşikleri su buharına ve karbondioksit dönüşürler. Yakıtların çoğunda az oranda kükürt bulunur. Kükürt her ne kadar tutuşabilen bir materyal olarak yakıtın alt ısı değeri belirli ölçüde katkıda bulunsun da bileşiklerinin korozif karakteri nedeniyle dezavantaj oluşturmaktadır. Kazanlarda yanma için gerekli olan oksijenin kaynağı havadır. Hava; oksijen, azot ve az miktarda su buharı, argon, karbondioksit, ve diğer bileşenlerin karışımı olmakla birlikte yanma gerçekleşmesi için %21 oksijen ve %79 azot olarak kabul edilir.

Yapılan kabuller sonucunda elektrik üretim santralinde kullanılan soma linyiti ile ilgili yanma reaksiyonunu analizi sonucunda;

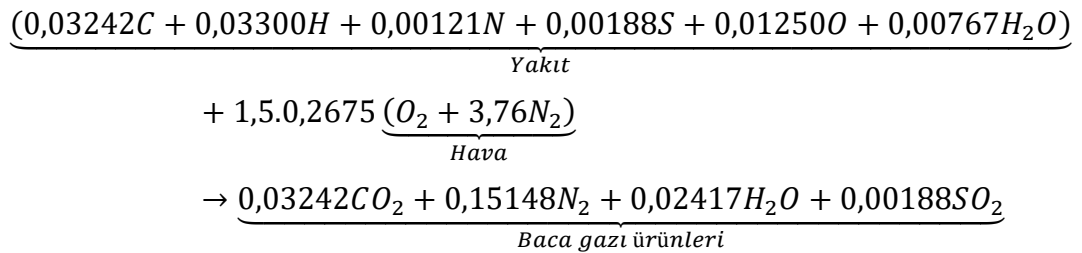


Bu yanma reaksiyonuna ait katsayılar 100 kg için yakıtı değerlendirecek olursak Çizelge 4.2’de her yakıtı ait katsayılar verilmiştir.

Çizelge 4.2: Yakıtların Giren ve Çıkan Bileşenlerine Ait Katsayılar [3].

Yakıt Tipi	Seyitömer Linyiti	Tunçbilek Linyiti	Soma Linyiti
c	3,750	4,283	3,242
h	3,600	3,900	3,300
n	0,093	0,136	0,121
s	0,050	0,072	0,188
o	1,231	0,756	1,250
w	0,772	1,117	0,767
a	2,980	3,674	2,675
x	3,750	4,283	3,242
y	16,855	20,787	15,148
z	2,572	3,067	2,417
t	0,050	0,072	0,188

Belirlenen katsayılar içinden kullanılan Soma Linyiti’ne ait katsayı değerleri kg bazında yakıt için kullanacak olursak yanma eşitliğimiz;



şeklinde olur.

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

Yakıtın mol ağırlığı;

$$\frac{cC + hH + nN + sS + oO + wH_2O + Ash}{c + n + s + o + w + Ash}$$

$$\frac{3,242.12,1+3,300.1,008+0,121.14,0065+0,0188.32,064+1,250.15,9995+0,767.18,015}{10,264}$$

$$=8,19 \text{ kg/kmol}$$

Yakma havası mol ağırlığı;

$$\frac{1,5a(O_2 + 3,76N_2)}{19,09}$$

$$\frac{1,5.2,675.[31,999+3,76.28,01]}{19,09} = 28,86 \text{ kg/kmol}$$

Hava-yakıt karışımının mol ağırlığı;

$$\frac{(Yakıt \text{ mol ağırlığı} * Yakıt \text{ bileşenleri}) + (N_2 * 19,09)}{Yakıt \text{ mol ağırlığı} + 19,09}$$

$$\frac{10,264.8,19+28,86.19,09}{29,35} = 21,63 \text{ kg/mol}$$

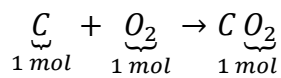
Baca gazı mol ağırlığı;

$$\frac{xCO_2 + yN_2 + zH_2O + tSO_2 + Ash}{Baca \text{ gazı ürünleri } (x + y + z + t)}$$

$$\frac{3,242.44,01+15,148.28,01+2,417.18,01+0,188.64,06}{20,995} = 29,65 \text{ kg/kmol}$$

Yanma işleminde gerekli hava miktarını analiz etmek için ilk olarak minimum oksijen miktarının bulunması gerekmektedir ve bunun için yanma ürünlerine bakılır;

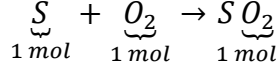
Karbon için gerekli oksijen miktarı için;



$$12,01+31,99 \rightarrow 44,01 \text{ kg } CO_2 \text{ açığa çıkar.}$$

$$\begin{array}{l} 12,01 \text{ kg C için } 31,999 \text{ kg } O_2 \text{ gerekli olduğuna göre} \\ 1 \text{ kg C için} \quad \quad \quad x \quad \text{kg } O_2 \text{ gerekir} \\ \hline x = 2,66 \text{ kg}/O_2 \end{array}$$

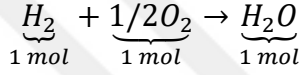
Kükürt için gerekli oksijen miktarı;



32,064+31,999 → 64,06 kg SO₂ açığa çıkar.

$$\begin{array}{l} 32,064 \text{ kg S için } 31,999 \text{ kg } O_2 \text{ gerekli olduğuna göre} \\ 1 \text{ kg S için} \quad \quad \quad x \quad \text{kg } O_2 \text{ gerekir} \\ \hline x = 0,998 \text{ kg}/O_2 \end{array}$$

Hidrojen için gerekli oksijen miktarı;



2,016 + 15,95 → 18,0155 kg H₂O açığa çıkar.

$$\begin{array}{l} 2,016 \text{ kg H için } 15,995 \text{ kg } O_2 \text{ gerekli olduğuna göre} \\ 1 \text{ kg H için} \quad \quad \quad x \quad \text{kg } O_2 \text{ gerekir} \\ \hline x = 7,936 \text{ kg}/O_2 \end{array}$$

Yukarıdaki sonuca göre hesaplanan minimum oksijen miktarı;

$$MOM = \%C \cdot 2,664 + \%H_2 \cdot 7,936 + \%S \cdot 0,998 - \%O_2$$

$$MOM = 0,514 \cdot 2,664 + 0,039 \cdot 7,936 + 0,023 \cdot 0,998 - 0,121$$

$$MOM = 1,08 \text{ kg } O_2 / \text{kg } Y$$

Yakıtın yanması için gerekli olan hava miktarı için minimum hava miktarının minimum oksijen miktarına bağlı olarak bulunması gerekir. Bunun için oksijenin mol ağırlığı havanın mol ağırlığına oranlanır ve havada bulunan oksijenin kütleli debisi ile çarpım işlemi yapılır ve havada oksijen kütleli debisini %21 olduğu kabul edersek;

$$0,21 \cdot \frac{31,999}{21,01} = 0,3199 \rightarrow MHM = \frac{MOM}{0,3199}$$

$$MOM = \frac{MOM}{0,3199} = \frac{1,08}{0,3199} = 3,0760 \text{ kg hava/kg yakıt bulunur.}$$

Yakıt için gerekli hava miktarını bulmak için minimum hava miktarı ile yakma işleminin gerçekleştirildiği hava fazlalık katsayısı çarpılır. Santralde hava fazlalık katsayısı $hfk=1,5$ kabul edilmiştir. O halde;

$$GHM = MHM \cdot hfk$$

$$GHM = MHM \cdot hfk = 3,0760 \cdot 1,5 = 4,61499 \text{ kgHava/kgYakıt bulunur.}$$

Yani santralde 1kg kömürün yanması için 4,61499 kg hava gerekmektedir. Bununla beraber 1 kg kömürün reaksiyona girerek yanması sonucunda $1+4,061499=5,61499$ kg baca gazı oluşur. Yukarıda yapılan analizlere göre santralde kullanılan kömür miktarı 47,22 kg/s olduğuna göre gerekli hava miktarı $47,22 \cdot 5,61499 = 265,1398$ kg/s ve oluşan baca gazı miktarı $47,22 \cdot 6,61499 = 312,398$ kg/s olarak kabul edilecektir.

4.5 Geleneksel Ekserji Bileşenleri

Elektriksel, manyetik, nükleer ve yüzey gerilme etkilerinin olmadığı bir sistemin toplam ekserjisi E ile ifade edilir. Ekserji'de keni içinde 4 ayrı gruba bölünmüştür ve bunlar; kinetik ekserji E^{KN} , potansiyel ekserji E^{PT} , kimyasal ekserji E^{CH} ve fiziksel ekserji E^{PH}

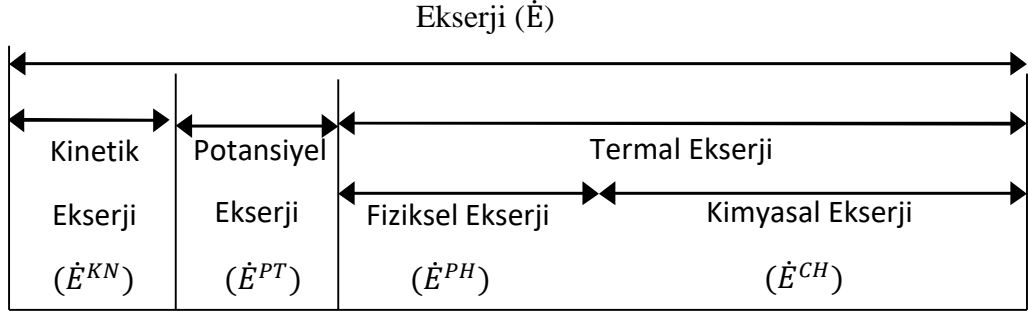
$$E = E^{KN} + E^{PT} + E^{PH} + E^{CH} \text{ (kW)} \quad (4.35)$$

Enerji yaygın bir özellik olmasına rağmen birim ekserji ile çalışmak daha faydalı olmaktadır. Dolayısıyla birim ekserji aşağıdaki şekilde tanımlanır [22].

$$ex = e^{KN} + e^{PT} + e^{PH} + e^{CH} \text{ (kW)} \quad (4.36)$$

Bir prosesin hızı, basıncı ve sıcaklığı çevreden farklı olduğu zamanda işin meydana gelmesi için iyi bir fırsat vardır. Sistemin çevre koşullarına doğru değişmesi bu fırsatı azaltır, ikisi dengeyi bulurken bu fırsat biter. Bu hal sistemin ölü hali olarak tanımlanmaktadır. Sistem ve çevre arasında farklı bir denge tanımlanabilir. Bu tanım ise sadece ısıl ve mekanik dengenin sağlandığı dengenin sınırlı olma şeklindedir. Bu hal sistemin sınırlı ölü hal durumu diye ifade edilir.

Çevreye göre göreceli ve durağan bir sisteme bakıldığında fiziksel ve kimyasal ekserjilerin $e^{KN} = 0$, $e^{PT} = 0$ olarak kabul alınabilir [22].



Şekil 4.6: Ekserji Bileşenleri

4.5.1 Kinetik ekserji

Kinetik enerji, mekanik enerjinin farklı bir şeklidir ve tamamıyla işe dönüşebilir. Bu sebeple bir sistemin kinetik enerjisinin ekserjisi veya is potansiyeli çevrenin sıcaklık ve basıncına bağımsız olarak kendi kinetik enerjisine eşittir [23].

$$\dot{E}^{KN} = \frac{1}{2} V^2 \quad (\text{kJ/kg}) \quad (4.37)$$

4.5.2 Potansiyel ekserji

Potansiyel enerjide mekanik enerjinin başka bir biçimidir ve dolayısıyla işe tamamıyla dönüşebilir. Böylece bir prosesin potansiyel enerjisinin ekserjisi, çevrenin sıcaklık ve basıncına bağlı olmaksızın kendi potansiyel enerjisine eşittir [23].

$$\dot{E}^{PT} = gz \quad (\text{kJ/kg}) \quad (4.38)$$

4.5.3 Fiziksel ekserji

Genel olarak saf maddelerde fiziksel ekserji,

$$e^{PH} = (u - u_0) - P_0(v - v_0) - T_0(s - s_0) \quad (\text{kJ/kg}) \quad (4.39)$$

Olarak ifade edilir. Denklemden u_0 ve s_0 sırayla, bir maddenin akımı ısı kaynağı olduğu kabul edilen T_0 sıcaklığı ve P_0 basıncı özgül iç enerji ve entropi olarak tanımlanmaktadır.

Kısaca Fiziksel ekserjisi;

$$e^{PH} = (h - h_0) - T_0(s - s_0) \quad (\text{kJ/kg}) \quad (4.40)$$

Olarak ifade edilir ve toplam fiziksel ekserji akısı;

$$\dot{E}^{PH} = \dot{m}e^{PH} \quad (\text{kJ/kg}) \quad (4.41)$$

4.5.4 Kimyasal ekserji

Kimyasal ekserji incelenirken, sistemdeki çıkan maddeler çevrede bulunan sabit durumdaki varolan eş maddeleriyle karıştırılmamalıdır. Çevre ortamının termodinamik düşünce yapısının değişmesi için ekserji referans alınan termodinamik çevre tanımlamaları yapılmaktadır. Bundan dolayı kolay olması bakımından standart kimyasal ekserji tanımlamaları standart bir çevre kabulünün üzerinde kurulmaktadır. Standart kimyasal ekserjilerde, sıcaklığı T_0 ve basıncı P_0 olan (bu çalışmada olduğu gibi $298\text{ K}=25^\circ\text{C}$, 1 bar) standart çevreye dayandırılır. Saf maddelerin standart kimyasal ekserji değerleri tablolardan bakılarak analizlerde kullanılabilir. Gaz karışımları için ise aşağıdaki eşitlikten yararlanılır [22].

$$\bar{e}^{\text{CH}} = \sum x_k \bar{e}_k^{\text{CH}} \bar{R} \cdot T_0 \sum x_k \ln x_k \quad (\text{kJ/kg}) \quad (4.42)$$

Denklemden \bar{e}^{CH} ifadesi için standart kimyasal ekserji tablolarından Model I veya Model II değerlerinden birisi seçilmelidir.

4.6 Ekserji Yıkımı ve Kaybı

Prosesin bir ekipmanına birim sürede kaybolan ekserji yıkım miktarını E_{ky} ;

$$E_{ky} = E_Q - E_{W,E} + \sum E_{mass,i} - \sum E_{mass,e} \quad (\text{kW}) \quad (4.43)$$

veya

$$E_{ky} = \sum \left(1 - \frac{T_0}{T}\right) \dot{Q} - W + \sum m_i e_i - \sum m_e e_e \quad (\text{kW}) \quad (4.44)$$

ile ifade edilir. Bu denklemlerde kaybolan ekserji akısı E_K incelenen ekipmandan farklı bir procesten dönüştürülen ekserjinin akısı ile tersinmezlikler sebebiyle tüketilen ve farklı bir yer için kullanılmayan ekserjinin akısı toplamı olarak gösterilmektedir. Prosesin tamamında yok olan ekserji ise, her bir ekipmanda yok olan ekserji tamamıdır.

$$\sum_{x=1}^n E_{ky_x} = E_{ky_1} + E_{ky_2} + E_{ky_3} + \dots + E_{ky_n} \quad (4.45)$$

Herhangi bir birimde veya ekipmanda ekserji yıkımı prosesin tümünde yıkıma uğrayan ekserjiye (y_k), incelenen birimin kayıp enerjisinde ne kadarının sebep olduğunu göstermektedir.

$$y_{ky} = \frac{E_{ky}}{\sum E_{ky}} \quad (4.46)$$

5. ENERJİ VE EKSERJİ ANALİZİ

5.1 Termodinamik Analiz Uygulanması

Analiz çalışması yapılacak termik santral Türkiye’de TKİ tesisleriyle birlikte çalışmakta olan termik santraldir. Santralde düşük nitelikteki linyit kömürü depolarının değerlendirilmesi amacıyla kurulmuş bir tesistir.

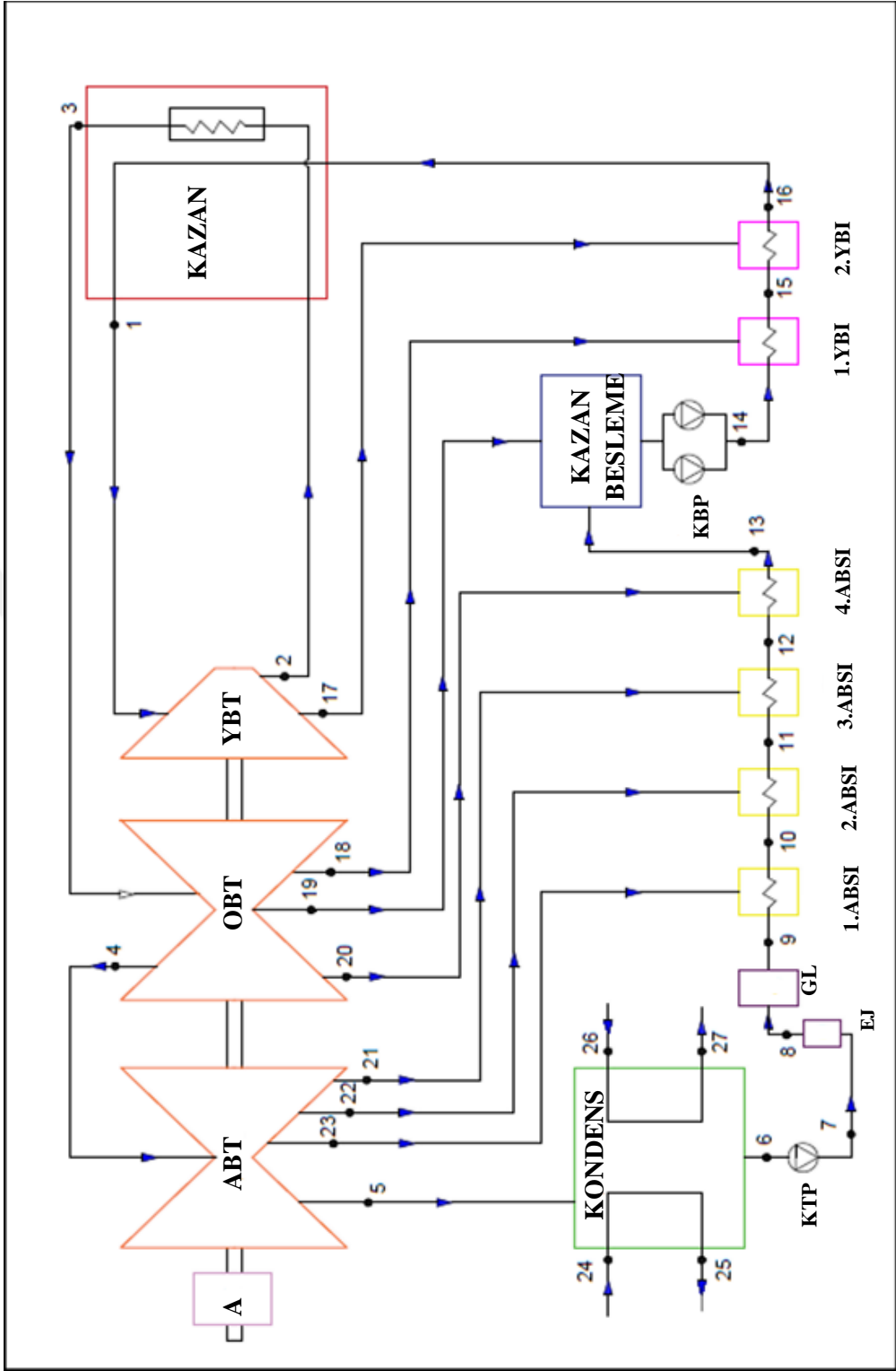
Bu çalışmada termik santralin bir ünitesi göz önüne alınıp değerlendirilmiştir. Analizde ünitenin 27 tane düğüm noktaları belirtilmiş ve belirtilen bu düğümler santralden alınan proses şeması göz önüne alınarak hesaplamalar gerçekleştirilmiştir. Hesaplamalar santralin düğüm noktalarından alınan sıcaklık, basınç ve debi değerlerine göre santral düğüm noktalarında oluşan değerlere ulaşılmıştır. Santralin bir ünitesinin akış şeması şekil 5.1’de gösterilmektedir.

Termik santralin birinci ünitesinde 165 mW kapasitede bir türbin grubu, bir adet kondenser, bir adet buhar kazanı ve ara ısıtıcı gruplarından ve yardımcı grup olarak adlandırılan ejektörden ve glend kondenserden oluşmaktadır. Türbin grubu 1.ünitede, alçak basınç, orta basınç ve yüksek basınç türbinleri bulunmaktadır. Isıtıcı grupları 2.ünitede, 2 adet yüksek basınç, 4 adet alçak basınç besleme suyu ısıtıcısı ve degazör ünitelerinde oluşmaktadır.

Bacadan dışarı atılan gazların üzerinde bulunan ısının geri dönüşümü için ve yanmanın kullanılabilirliğinin artırılması amacı ile yakma havasının bir eşanjör (LUVO) ile ön ısıtma yapıldığı ünite mevcuttur. İşletmenin termodinamik hesaplamalarında alçak ve yüksek basınç ısıtıcıları ve türbinler ayrı olarak tek bir grup gibi düşünülerek kabul edilip hesaplamaları yapılmıştır. Bu analizde kazanı besleyen pompalar aynı özellikte olduğundan dolayı tek bir pompa olarak düşünülüp boru demetlerinde oluşan kayıplar göz ardı edilip proses ara kızdırmalı ve ara buhar almalı rankine çevrimidir.

Yakmada yakıt olarak işlem gören pülvarize kömür kazanda ön ısıtma yapılmış taze hava ile birlikte karıştırılıp yakılmaktadır. Yakıtın reaksiyona girmesi ile ortaya çıkan kimyasal enerjiler ısıtıcı yüzeyleri ile prosesde kullanılan suya aktarılmakta ve buhar oluşturulmaktadır. Yanma sonucu oluşan buhar borular vasıtası ile türbin grubuna giderek üzerindeki mekanik enerjiyi türbin kanatlarına çarparak türbini çevirir ve türbin miline akuple olarak çalışan alternatöre ileterek elektrik üretilir. Prosesin kullanılabilirliğini arttırmak için yüksek basınç türbininde kullanılan buharın geri besleme boruları ile kazanda tekrar kızgın buhar fazında orta basınç türbinine gönderilmektedir.

Verim arttırıcı başka bir yöntemde türbin grubundan borular vasıtasıyla belirli ölçülerde buhar alarak besi suyu ısıtıcılarına buhar gönderilerek ve kazan işletme suyunu daha yüksek sıcaklıklarda kazana girmesi sağlanır ve bu da kazana girecek sıcak suyun daha hızlı şekilde gaz fazına dönüştürerek tekrar prosese girer ve kondenserden alçak ve yüksek basınç ısıtıcılarına gelen su, türbin gruplarından borular vasıtası ile alınarak ara buharla karıştırılıp kazana gönderilecek ve su sıcaklığı böylece artmış olacaktır.



Şekil 5.1: Termik Santral Akış Diyagramı

Çizelge 5.1: Santral'e Ait Enerjisi Belirlenen Değerler

Düğüm No	Faz Durumu	Sıcaklık (T) (°C)	Basınç (P) (kPa)	Debi (m)(kg/s)	Entalpi (h) (kJ/kg)	Entropi (s)(kJ/kg.K)
1	BUHAR	540	13200,00	116,6	3441,4	6,565
2	BUHAR	380	3300,00	106,5	3179,1	6,801
3	BUHAR	535	3000,00	106,5	3535,3	7,334
4	BUHAR	280	370,00	89,9	3026,1	7,530
5	BUHAR	57	10,00	77,2	2605,1	8,214
6	SIKIŞTIRILMIŞ SIVI	51	10,00	77,2	188,4	0,639
7	SIKIŞTIRILMIŞ SIVI	51	1425,00	77,2	214,7	0,716
8	SIKIŞTIRILMIŞ SIVI	49	1350,00	77,2	206,3	0,690
9	SIKIŞTIRILMIŞ SIVI	49	1350,00	77,2	206,3	0,690
10	SIKIŞTIRILMIŞ SIVI	68	1230,00	79,9	285,6	0,930
11	SIKIŞTIRILMIŞ SIVI	71	1200,00	83,0	298,2	0,960
12	SIKIŞTIRILMIŞ SIVI	115	1200,00	89,9	483,3	1,473
13	SIKIŞTIRILMIŞ SIVI	147	1180,00	95,2	619,3	1,811
14	SIKIŞTIRILMIŞ SIVI	170	13800,00	100,4	741,5	2,090
15	SIKIŞTIRILMIŞ SIVI	198	13800,00	106,5	848,7	2,293
16	SIKIŞTIRILMIŞ SIVI	240	13800,00	116,6	1038,7	2,679
17	BUHAR	365	3300,00	10,1	3143,8	6,746
18	BUHAR	300	1600,00	6,1	3034,8	6,884
19	BUHAR	300	600,00	5,2	3061,6	7,372
20	BUHAR	237	300,00	5,3	2940,6	7,465
21	BUHAR	210	50,00	6,9	2896,8	8,198
22	BUHAR	82	40,00	3,1	2648,2	7,703
23	BUHAR	90	20,00	2,7	2666,6	8,073
24	SIKIŞTIRILMIŞ SIVI	25	160,00	3300,0	104,9	0,367
25	SIKIŞTIRILMIŞ SIVI	30	120,00	3300,0	125,8	0,436
26	SIKIŞTIRILMIŞ SIVI	25	160,00	3300,0	104,9	0,367
27	SIKIŞTIRILMIŞ SIVI	30	120,00	3300,0	125,8	0,436
W _{Türbin}			165000 *0,70=115500 kW			

Çizelge 5.2: Ktp ve Kbs Pompalarının Özellikleri

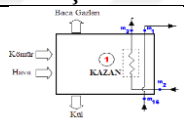
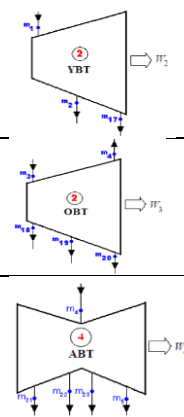
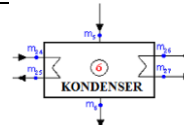


Pompa tipi	Güç (kW)	ṁ (kg/sn)		P (kPa)		T (°C)		h (kJ/kg)	
		Giriş	Çıkış	Giriş	Çıkış	Giriş	Çıkış	Giriş	Çıkış*
Kondenser tahliye	800	77,2	77,2	10	1425	51	51	2605,1	2593,7
Kazan besleme suyu	3514	100,4	100,4	700	13800	180	180	769,9	769,9

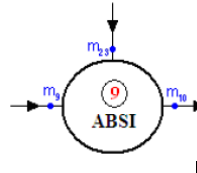
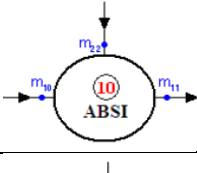
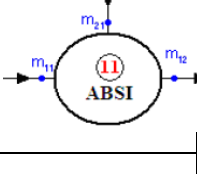
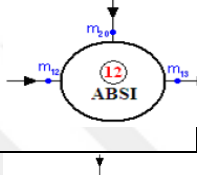
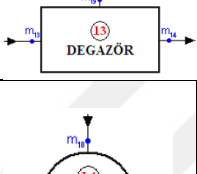
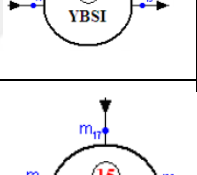
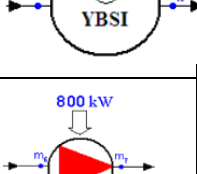
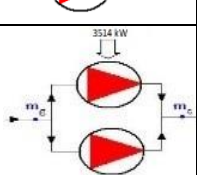
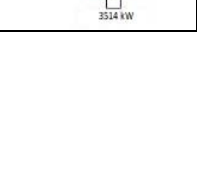
*Çevrimdeki su sıkıştırılmaz sıvı kabul edilmiştir.

5.1.1 Geleneksel enerji ve ekserji analizi

Termik santralde bulunan ekipmanların enerji ve ekserji denge denklemleri ve şekilleri çizelge 5.3'te görülmektedir yapılan tüm analizler bu denklem eşitliklerine göre yapılmıştır.

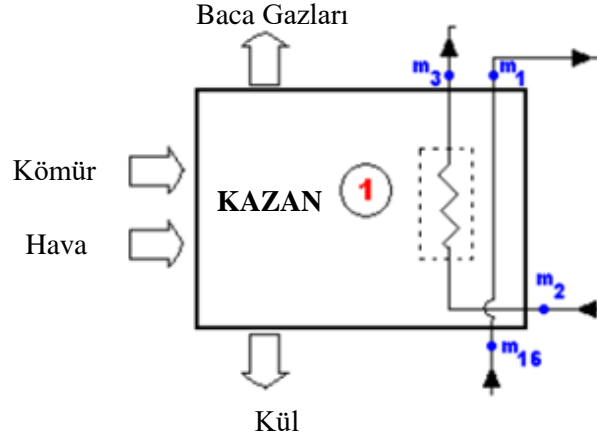
Çizelge 5.3: Santral'e ait Enerji ve Ekserji Dengeleri

Enerji ve Ekserji Dengeleri			
Komponent	Komponent şekli	Enerji Dengesi	Ekserji Dengesi
Kazan		$\dot{Q}_1 = \dot{m}_1 h_1 - \dot{m}_{16} h_{16} + \dot{m}_3 h_3 - \dot{m}_2 h_2 - E_{yakıt} + E_{bg} - E_{hava}$	$\dot{E}x_A + \dot{E}x_B + \dot{E}x_C + \dot{E}x_{16} = \dot{E}x_C + \dot{E}x_{16} + \dot{E}x_{17} + \dot{E}x_{18} + \dot{E}x_{19} + \dot{E}x_{20} + \dot{E}x_{21} + \dot{E}x_{22} + \dot{E}x_{23} + \dot{E}x_{24} + \dot{E}x_{25} + \dot{E}x_{26} + \dot{E}x_{27} + \dot{E}x_{ky}$
Türbin grubu		$\dot{Q}_{Türbin} - \dot{W}_T = \dot{Q}_2 + \dot{Q}_3 + \dot{Q}_4 - (\dot{W}_2 + \dot{W}_3 + \dot{W}_4) + \dot{W}_T$	$\dot{E}x_{17} + \dot{E}x_{18} + \dot{E}x_{19} + \dot{E}x_{20} + \dot{E}x_{21} + \dot{E}x_{22} + \dot{E}x_{23} + \dot{E}x_{24} + \dot{E}x_{25} + \dot{E}x_{26} + \dot{E}x_{27} + \dot{E}x_{ky}$
Kondenser		$\dot{Q}_6 = \dot{m}_6 h_6 + \dot{m}_2 h_{25} + \dot{m}_2 h_{27} - \dot{m}_5 h_5 - \dot{m}_2 h_{24} - \dot{m}_2 h_{26}$	$\dot{E}x_5 + \dot{E}x_{24} + \dot{E}x_{26} = \dot{E}x_6 + \dot{E}x_{25} + \dot{E}x_{27} + \dot{E}x_{ky}$
Enjektör		$\dot{Q}_7 = \dot{m}_8 h_8 - \dot{m}_7 h_7$	$\dot{E}x_7 = \dot{E}x_8 + \dot{E}x_{ky}$
Glend Kondenser		$\dot{Q}_8 = \dot{m}_9 h_9 - \dot{m}_8 h_8$	$\dot{E}x_8 = \dot{E}x_9 + \dot{E}x_{ky}$

Alçak basınç besleme suyu ısıtıcısı-I		$\dot{Q}_9 = \dot{m}_{10}h_{10} - \dot{m}_9h_9 - \dot{m}_{23}h_{23}$	$\dot{E}_{X9} + \dot{E}_{X23} = \dot{E}_{X10} + \dot{E}_{X_{ky}}$
Alçak basınç besleme suyu ısıtıcısı-II		$\dot{Q}_{10} = \dot{m}_{11}h_{11} - \dot{m}_{10}h_{10} - \dot{m}_{22}h_{22}$	$\dot{E}_{X10} + \dot{E}_{X22} = \dot{E}_{X11} + \dot{E}_{X_{ky}}$
Alçak basınç besleme suyu ısıtıcısı-III		$\dot{Q}_{11} = \dot{m}_{12}h_{12} - \dot{m}_{11}h_{11} - \dot{m}_{21}h_{21}$	$\dot{E}_{X11} + \dot{E}_{X21} = \dot{E}_{X12} + \dot{E}_{X_{ky}}$
Alçak basınç besleme suyu ısıtıcısı-IV		$\dot{Q}_{12} = \dot{m}_{13}h_{13} - \dot{m}_{12}h_{12} - \dot{m}_{20}h_{20}$	$\dot{E}_{X12} + \dot{E}_{X20} = \dot{E}_{X13} + \dot{E}_{X_{ky}}$
Degazör		$\dot{Q}_{13} = \dot{m}_{14}h_{14} - \dot{m}_{13}h_{13} - \dot{m}_{19}h_{19}$	$\dot{E}_{X13} + \dot{E}_{X19} = \dot{E}_{X14} + \dot{E}_{X_{ky}}$
Yüksek basınç besleme suyu ısıtıcısı-I		$\dot{Q}_{14} = \dot{m}_{15}h_{15} - \dot{m}_{14}h_{14} - \dot{m}_{18}h_{18}$	$\dot{E}_{X14} + \dot{E}_{X18} = \dot{E}_{X15} + \dot{E}_{X_{ky}}$
Yüksek basınç besleme suyu ısıtıcısı-II		$\dot{Q}_{15} = \dot{m}_{16}h_{16} - \dot{m}_{15}h_{15} - \dot{m}_{17}h_{17}$	$\dot{E}_{X15} + \dot{E}_{X17} = \dot{E}_{X16} + \dot{E}_{X_{ky}}$
Kondenser tahliye pompası		$\dot{Q}_{KTP} = \dot{m}_7h_7 - \dot{m}_6h_6$	$\dot{E}_{X6} = \dot{E}_{X7} - \dot{E}_{X_{ky}}$
Kazan besleme suyu pompası		$\dot{Q}_{KBP} = \dot{m}_{14}h_{14} - \dot{m}_{13}h_{13} - \dot{m}_{19}h_{19}$	$\dot{E}_{X13} + \dot{E}_{X19} = \dot{E}_{X14} - \dot{E}_{X_{ky}}$

5.1.1.1 Santraldaki akımların enerji dengeleri

Buna göre, kazan (şekil 5.2) için enerji dengesi denklemi için hesaplanırsa kayıpları;



Şekil 5.2: Buhar Kazanı Şematik Görünümü

$$\dot{Q}_1 = \dot{m}_1 h_1 - \dot{m}_{16} h_{16} + \dot{m}_3 h_3 - \dot{m}_2 h_2 - E_{yakut} + E_{bg} - E_{hava}$$

Bu denklemde;

Yakıtın enerjisi;

$$E_{yakut} = m_{yakut} \cdot AID_{yakut} = 47,22 \cdot 2800 \cdot 4,186 = 553456,17 \text{ kJ/kg olarak bulunur.}$$

Baca gazının enerjisi;

Baca gazı karışımlarının molar oranları

$$x_i = \frac{n_i}{n_{toplam}} \text{ bağıntısına göre hesaplanırsa,}$$

$$x_{CO_2} = \frac{0,03242}{0,20995} = 0,1544$$

$$x_{N_2} = \frac{0,15148}{0,20995} = 0,7215$$

$$x_{SO_2} = \frac{0,00188}{0,20955} = 0,0895$$

$$x_{HO_2} = \frac{0,02417}{0,20995} = 0,1151$$

Çizelge 5.4: Baca Gazı 298 K ve 480 K ‘deki Entalpi Değerleri

Madde	\bar{h}_{480K} (kJ/kmol)	\bar{h}_0 (kJ/kmol)	X_i
CO ₂	16.791	9364	0,1544
N ₂	13988	8669	0,7215
SO ₂	19004	11797	0,0895
H ₂ O	16126	9904	0,1151

Buradan bacadan atılan gazının enerji analizini yapmak için öncelikle baca gazının 298 K ve 480 K deki yanma entalpileri hesaplanır. Daha sonra aşağıdaki denklemlerde yerine koyularak baca gazı enerjisi bulunur.

Çevre sıcaklığındaki (298 K) için baca gazının entalpi değeri;

$$\bar{h}_0 = 0,1544.9364 + 0,7215.8669 + 0,0895.11797 + 0,1151.9904$$

$$\bar{h}_0 = 9896,267 \text{ kJ/kmol bulunur.}$$

480K için baca gazının entalpi değeri;

$$\bar{h}_{480K} = x_{CO_2} \cdot \bar{h}_{480K_{CO_2}} + x_{N_2} \cdot \bar{h}_{480K_{N_2}} + x_{SO_2} \cdot \bar{h}_{480K_{SO_2}} + x_{H_2O} \cdot \bar{h}_{480K_{H_2O}}$$

$$\bar{h}_{480K} = 0,1544.16791 + 0,7215.13988 + 0,0895.19004 + 0,1151.16126$$

$$\bar{h}_{480K} = 16241,833 \text{ kJ/kmol}$$

$$E_{BG} = \dot{m}_{BG} \cdot (h_{BG,480k} - h_{BG,298K}) = (16241,833 - 9896,267) \\ = 6345,566 \text{ kJ/kmolK}$$

$$E_{BG} = \frac{6345,566 \text{ kJ/kmol}}{29,44 \text{ kg/kmol}} = 214,0157 \text{ kJ/kg}$$

$$E_{BG} = \dot{m}_{BG} \cdot (h_{BG,480k} - h_{BG,298K}) = 265,1398 * 214,0157 = 56744,08 \text{ kJ/s}$$

bulunur.

Havanın enerjisi;

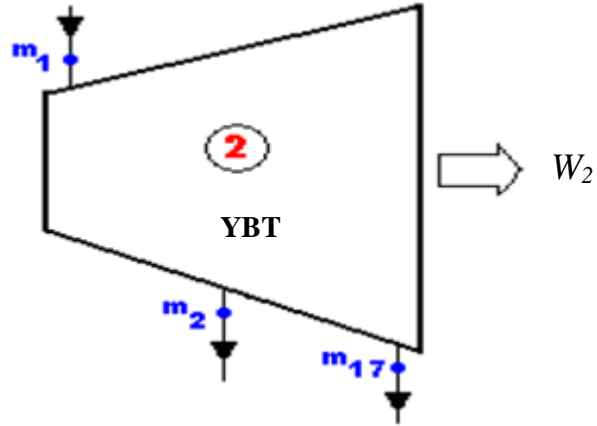
$$E_{hava} = \dot{m}_{hava} \cdot (h_{hava,480k} - h_{hava,298K}) = 239,8011 \cdot (482,49 - 298,18) = \\ 44197,74 \text{ kJ/s bulunur.}$$

Hesaplanan bu değerler denklem (4.1)'de yerine koyulursa kazanın enerji dengesi bulunur.

$$\dot{Q}_1 = \dot{m}_1 h_1 - \dot{m}_2 h_2 + \dot{m}_3 h_3 - \dot{m}_4 h_4 - E_{yakıt} + E_{bg} - E_{hava} \\ = 401267,24 - 121112,42 + 376509,45 - 338574,15 - 553456,17 + 56744,08 - \\ 44197,74 = 222819,74 \text{ kW şeklinde elde edilir.}$$

Bu çalışmada; her bir üniteye sahip olan türbinler tek bir proses olarak değerlendirilmiş, her bir türbin için denge denklemleri hesap edilip, çözüm için toplanarak türbin kayıpları bulunmuştur. Her bir türbine ait şematik görünüşler denklemler çizelge 5.1, 5.2, 5.3, ve 5.4'de verilmektedir.

Buna göre kayıplar;



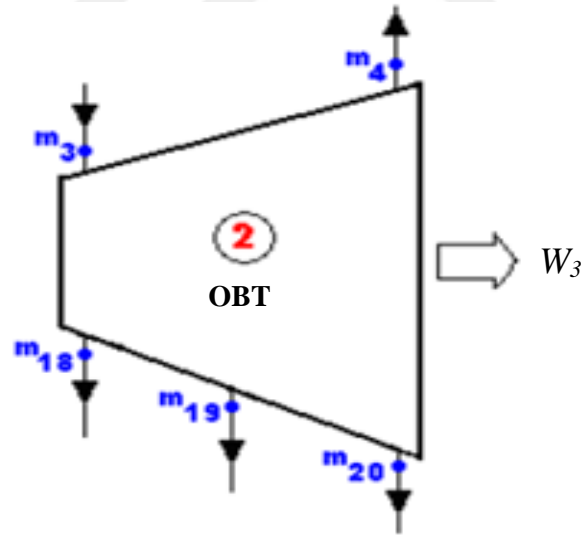
Şekil 5.3: Yüksek Basınç Türbini Şeması

Yüksek basınç türbini enerji dengesi denklemi için hesaplanırsa kayıp;

$$\dot{Q}_2 - W_2 = \dot{m}_2 h_2 + \dot{m}_{17} h_{17} - \dot{m}_1 h_1$$

$$\dot{Q}_2 - W_2 = 338574,15 + 31752,38 - 401267,24$$

$$\dot{Q}_2 - W_2 = -30940,71 \text{ kW olarak elde edilir.}$$



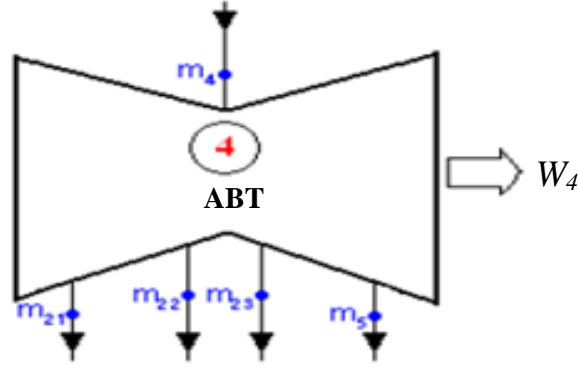
Şekil 5.4: Orta Basınç Türbini Şeması

Orta basınç türbini enerji dengesi denklemi için hesaplanırsa kayıp;

$$\dot{Q}_3 - W_3 = \dot{m}_4 h_4 + \dot{m}_{18} h_{18} + \dot{m}_{19} h_{19} + \dot{m}_{20} h_{20} - \dot{m}_3 h_3$$

$$\dot{Q}_3 - W_3 = 272046,39 + 18512,28 + 15920,32 + 15585,18 - 376509,45$$

$$\dot{Q}_3 - W_3 = -54445,28 \text{ kW olarak hesaplanır.}$$



Şekil 5.5 : Alçak Basınç Türbini Şeması

Alçak basınç türbini için;

$$\dot{Q}_4 - W_4 = \dot{m}_5 h_5 + \dot{m}_{21} h_{21} + \dot{m}_{22} h_{22} + \dot{m}_{23} h_{23} - \dot{m}_4 h_4$$

$$\dot{Q}_4 - W_4 = 201113,72 + 19987,92 + 8209,42 + 7199,82 - 272046,39$$

$\dot{Q}_4 - W_4 = -35535,51$ kW olarak hesaplanır.

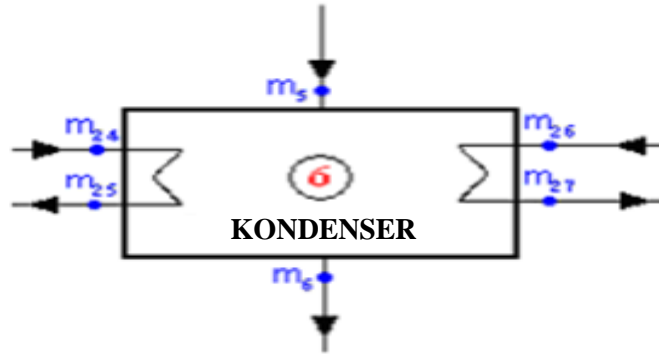
Bu durumda türbin grubu için toplam kayıp; \dot{Q}

$$\dot{Q}_{\text{Türbin}} - \dot{W}_T = \dot{Q}_2 + \dot{Q}_3 + \dot{Q}_4 - (W_2 + W_3 + W_4)$$

$$\dot{Q}_{\text{Türbin}} = \dot{Q}_2 + \dot{Q}_3 + \dot{Q}_4 - (W_2 + W_3 + W_4) + \dot{W}_T$$

$$\dot{Q}_{\text{Türbin}} = -30940,71 - 54445,28 - 35535,51 + 115500 = 5421,50 \text{ kW olarak hesaplanır.}$$

Şekil 5.6 'da gösterilen kondenser için enerji dengesi denklemi için hesaplanırsa kayıplar;



Şekil 5.6: Kondenser (Yoğuşturucu) Şeması

Kondenser (Yoğuşturucu) için;

$$\dot{Q}_6 = \dot{m}_6 h_6 + \dot{m}_{25} h_{25} + \dot{m}_{27} h_{27} - \dot{m}_5 h_5 - \dot{m}_{24} h_{24} - \dot{m}_{26} h_{26}$$

$$\dot{Q}_6 = 14544,48 + 415140 + 415140 - 201113,72 - 346170 - 346170$$

$\dot{Q}_6 = 48629,24$ kW olarak hesaplanır.

Şekil 5.7 'deki ejektör için enerji dengesi denklemi için hesaplanırsa ejektör kaybı;



Şekil 5.7: Ejektör Şematik Görünümü

$$\dot{Q}_7 = \dot{m}_8 h_8 - \dot{m}_7 h_7$$

$$\dot{Q}_7 = 15926,36 - 16574,84$$

$$\dot{Q}_7 = 648,48 \text{ kW olarak hesaplanır.}$$

Glend kondenser (şekil 5.8) için enerji dengesi denklemi için hesaplanırsa kayıplar;



Şekil 5.8: Glend Kondenser Şematik Görünümü

$$\dot{Q}_8 = \dot{m}_9 h_9 - \dot{m}_8 h_8$$

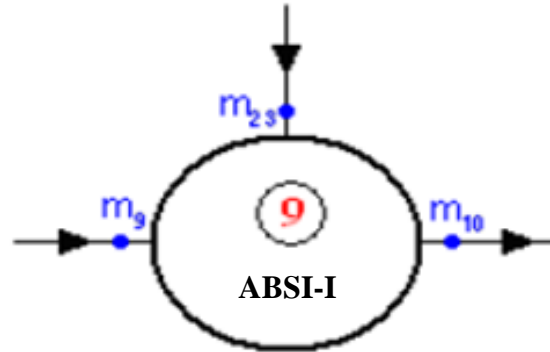
$$\dot{Q}_8 = 15926,36 - 15926,36$$

$$\dot{Q}_8 = 0 \text{ kW}$$

Şeklinde hesaplanır. Glend kondensere giren çıkan enerji aynı olduğu için sıfır kabul edilmiştir. Bu çalışmada, analiz süresince besleme suyu ısıtıcıları, akış diyagramı boyunca akış yönünde I, II, III, IV no'lu alçak basınç suyu ısıtıcıları, I ve II no'lu yüksek basınç suyu ısıtıcıları olarak numaralandırılmıştır.

Buna göre;

I no'lu alçak basınç besiy suyu ısıtıcısı (şekil 5.9) için enerji denge denklemi için hesaplanırsa kayıp;



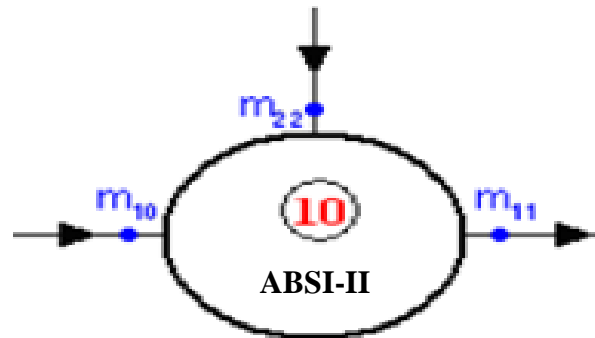
Şekil 5.9: I No'lu Alçak Basınç Besiy Suyu Isıtıcısı (ABSI) Şematik Görünümü

$$\dot{Q}_9 = \dot{m}_{10}h_{10} - \dot{m}_9h_9 - \dot{m}_{23}h_{23}$$

$$\dot{Q}_9 = 22819,44 - 15926,36 - 7199,82$$

$$\dot{Q}_9 = 306,82 \text{ kW olarak hesaplanır.}$$

II no'lu alçak basınç besiy suyu ısıtıcısı (şekil 5.10) için enerji dengesi denklemi için hesaplanırsa kayıp;



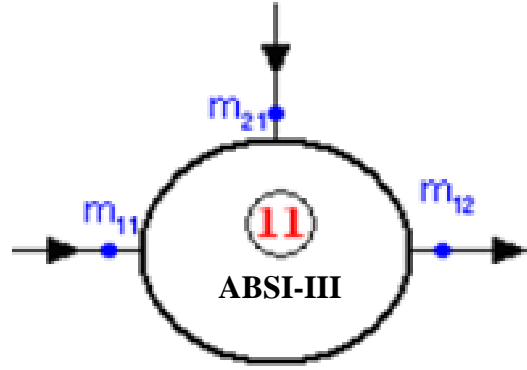
Şekil 5.10: II No'lu Alçak Basınç Besiy Suyu Isıtıcısı (ABSI) Şematik Görünümü

$$\dot{Q}_{10} = \dot{m}_{11}h_{11} - \dot{m}_{10}h_{10} + \dot{m}_{22}h_{22}$$

$$\dot{Q}_{10} = 24750,60 - 22189,44 + 8209,42$$

$$\dot{Q}_{10} = 6278,26 \text{ kW olarak hesaplanır.}$$

III no'lu alçak basınç besi suyu ısıtıcısı (şekil 5.11) için enerji dengesi denklemi için hesaplanırsa kayıp;



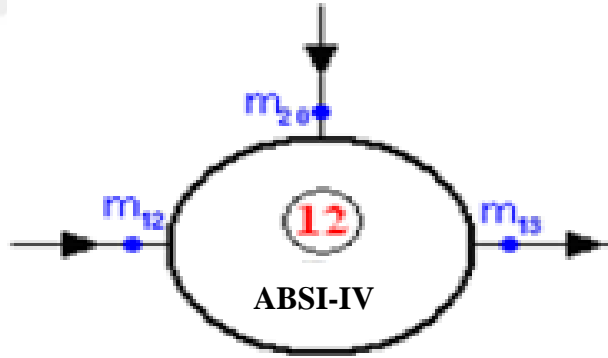
Şekil 5.11: III No'lu Alçak Basınç Besi Suyu Isıtıcısı (ABSI) Şematik Görünümü

$$\dot{Q}_{11} = \dot{m}_{12}h_{12} - \dot{m}_{11}h_{11} + \dot{m}_{21}h_{21}$$

$$\dot{Q}_{11} = 43448,67 - 24750,60 + 19987,92$$

$$\dot{Q}_{11} = 1289,85 \text{ kW olarak hesaplanır.}$$

IV no'lu alçak basınç besi suyu ısıtıcısı (şekil 5.12) için enerji dengesi denklemi için hesaplanırsa kayıp;



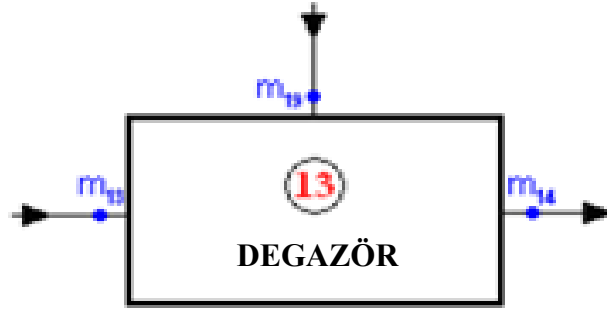
Şekil 5.12: IV No'lu Alçak Basınç Besi Suyu Isıtıcısı (ABSI) Şematik Görünümü

$$\dot{Q}_{12} = \dot{m}_{13}h_{13} - \dot{m}_{12}h_{12} + \dot{m}_{20}h_{20}$$

$$\dot{Q}_{12} = 58957,36 - 43448,67 + 15585,18$$

$$\dot{Q}_{12} = 76,49 \text{ kW olarak hesaplanır.}$$

Degazör (şekil 5.13) için enerji dengesi denklemi için hesaplanırsa kayıplar;



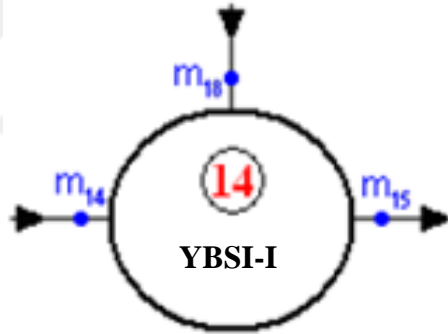
Şekil 5.13: Degazör Şematik Görünümü

$$\dot{Q}_{13} = \dot{m}_{14}h_{14} - \dot{m}_{13}h_{13} + \dot{m}_{19}h_{19}$$

$$\dot{Q}_{13} = 74446,60 - 58957,36 + 15920,32$$

$$\dot{Q}_{13} = 431,08 \text{ kW olarak hesaplanır.}$$

I no'lu yüksek basınç besleme suyu (şekil 5.14) için enerji dengesi denklemi için hesaplanırsa kayıp;



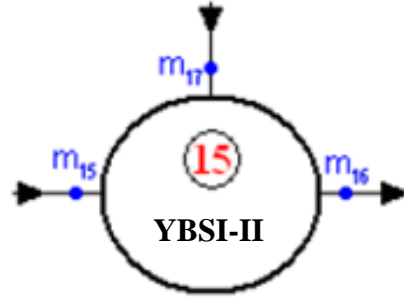
Şekil 5.14 : I No'lu Yüksek Basınç Besi Suyu Isıtıcısı (YBSI) Şematik Görünümü

$$\dot{Q}_{14} = \dot{m}_{15}h_{15} - \dot{m}_{14}h_{14} + \dot{m}_{18}h_{18}$$

$$\dot{Q}_{14} = 90386,55 - 74446,60 + 18512,28$$

$$\dot{Q}_{14} = 2572,12 \text{ kW olarak hesaplanır.}$$

II no'lu yüksek basınç besleme suyu ısıtıcısı (şekil 5.15) için enerji dengesi denklemi için hesaplanırsa kayıp;



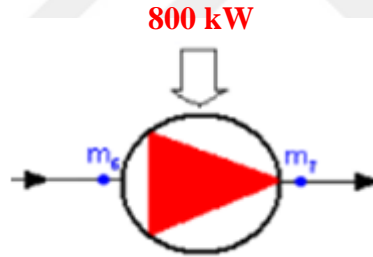
Şekil 5.15: II No'lu Yüksek Basınç Besi Suyu Isıtıcısı (YBSI) Şematik Görünümü

$$\dot{Q}_{15} = \dot{m}_{16}.h_{16} - \dot{m}_{15}.h_{15} + \dot{m}_{17}.h_{17}$$

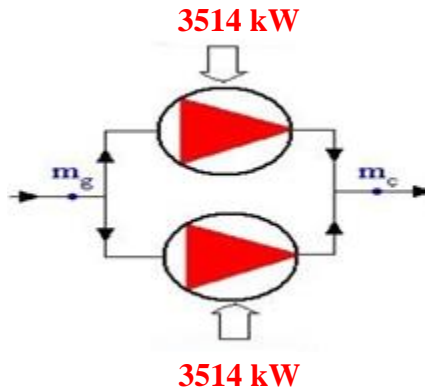
$$\dot{Q}_{15} = 121112,42 - 90386,55 + 31752,38$$

$$\dot{Q}_{15} = 1026,51 \text{ kW olarak hesaplanır.}$$

Kondenser tahliye pompası (şekil 5.16) ve kazan besleme suyu pompası (şekil 5.17) için ısı yoluyla kaybolan enerji kayıpları diğer ekipmanlara göre küçük olduğundan ihmal edilebilir;



Şekil 5.16: Kondenser Tahliye Pompası (KTP) Şematik Görünümü



Şekil 5.17: Kazan Besleme Suyu Pompası (KBP) Şematik Görünümü

$$\dot{Q}_{KTP} = 0 \text{ kW, } \dot{Q}_{KBP} = 0 \text{ kW olarak hesaplanır.}$$

5.1.1.2 Santraldeki akımların ekserji dengeleri

Santraldeki akımların ekserji analizi yapılırken, önce santraldeki akımların kimyasal ve fiziksel ekserji değerleri analiz edilecek ve daha sonra her bir komponente ait kayıp ekserji değerleri bulunacaktır.

5.1.1.3 Santraldeki akımların fiziksel ekserjileri

Santralde fiziksel ekserjisi hesaplanacak tüm nokta değerleri yapılırken kullanılacak her bir düğüm noktası için çizelge 5.1'de gösterilmiştir. Fiziksel ekserjiler hesaplanırken (4.40 ve 4.41) bağıntısından yararlanılacaktır.

Yakma havası fiziksel ekserjisi;

Yakma havası çevre şartlarında olduğu için fiziksel ekserjisi sıfırdır.

$$e_B^{ph} = 0, \dot{E}_B^{ph} = 0 \quad (5.1)$$

Yakıt fiziksel ekserjisi;

Yakma havası çevre şartlarında olduğu için fiziksel ekserjisi sıfırdır.

$$e_A^{ph} = 0, \dot{E}_A^{ph} = 0 \quad (5.2)$$

Kazan baca gazı çıkışı fiziksel ekserjisi;

Bacadan atılan gazın fiziksel ekserjisi hesaplanırken bacadan atılan gazın entalpi sırası ile entropi ve entalpi değerleri bulunduktan sonra komponentlerin kısmi basınçları ile çarpılarak bacadanatılan gaz karışımının entropisi ve entalpisi hesaplanır ve bu adımdan sonra (4.41) fiziksel ekserji denklemi baca gazı karışımına uygulanarak aşağıda bulunan çizelgede termik santrale ait baca gazını oluşturan gazların molar oranları, etropi, entalpi oranları görülmektedir.

Çizelge 5.5: Baca Gazını Oluşturan Bileşenlerin Termodinamik Karakteristikleri

Madde	\bar{h}_f (kJ/kmol)	\bar{h}_{480K} (kJ/kmol)	\bar{h}_0 (kJ/kmol)	\bar{s}_{480K} (kJ/kmolK)	\bar{s}_0 (kJ/kmolK)	X_i
CO ₂	-393,521	17,678	9,364	234,814	213,684	0,1544
N ₂	0	14,581	8,669	206,630	191,502	0,7215
SO ₂	-296,833	19,795	11,797	271,082	284,074	0,0895
H ₂ O	-241,856	16,825	9,904	206,413	188,824	0,1151

Ortam şartlarında 298 K'de baca gazının entropi ve entalpi değerleri;

$$\bar{h}_0 = x_{CO_2} \cdot \bar{h}_{0CO_2} + x_{N_2} \bar{h}_{0N_2} + x_{SO_2} \cdot \bar{h}_{0SO_2} + x_{H_2O} \cdot \bar{h}_{0H_2O}$$

$$\bar{h}_0 = 0,1544 \cdot 9364 + 0,7215 \cdot 8669 + 0,0895 \cdot 11797 + 0,1151 \cdot 9904$$

$$\bar{h}_0 = 8946,608 \text{ kJ/kmol bulunur.}$$

$$\bar{s}_{0i} = \bar{s}_i - R_u \ln \frac{x_i P}{P_0} \quad , \quad \left(\frac{P}{P_0} = 1 \text{ bar} \right)$$

$$\bar{s}_{CO_2} = \bar{s}_{298K,CO_2} - R_u \ln x_{CO_2} = 213,685 - 8,314 \cdot \ln 0,1544$$

$$\bar{s}_{CO_2} = 229,217 \text{ kJ/kmolK}$$

$$\bar{s}_{N_2} = \bar{s}_{298K,N_2} - R_u \ln x_{N_2} = 191,502 - 8,314 \cdot \ln 0,7215$$

$$\bar{s}_{N_2} = 194,215 \text{ kJ/kmolK}$$

$$\bar{s}_{SO_2} = \bar{s}_{298K,SO_2} - R_u \ln x_{SO_2} = 333,5609 - 8,314 \cdot \ln 0,0895$$

$$\bar{s}_{SO_2} = 372,724 \text{ kJ/kmolK}$$

$$\bar{s}_{H_2O} = \bar{s}_{298K,H_2O} - R_u \ln x_{H_2O} = 188,720 - 8,314 \cdot \ln 0,1151$$

$$\bar{s}_{H_2O} = 206,694 \text{ kJ/kmolK}$$

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

$$\bar{s}_0 = 0,1544 \cdot 229,217 + 0,7215 \cdot 194,0414 + 0,0895 \cdot 372,724 + 0,1151 \cdot 206,694$$

$$\bar{s}_0 = 202,662 \text{ kJ/kmolK}$$

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

$$\bar{h}_{500K} = x_{CO_2} \cdot \bar{h}_{480K,CO_2} + x_{N_2} \bar{h}_{480K,N_2} + x_{SO_2} \cdot \bar{h}_{480K,SO_2} + x_{H_2O} \cdot \bar{h}_{480K,H_2O}$$

$$\bar{h}_{480K} = 0,1544 \cdot 16791 + 0,7215 \cdot 13988 + 0,0895 \cdot 19004 + 0,1151 \cdot 16126$$

$$\bar{h}_{480K} = 14712,011 \text{ kJ/kmolK bulunur.}$$

$$\bar{s}_0 = \bar{s}_{480K,i} - R_u \ln \frac{x_i P}{P_0} \quad , \quad \left(\frac{P}{P_0} = 1 \text{ bar} \right)$$

$$\bar{s}_{CO_2} = \bar{s}_{480K,CO_2} - R_u \ln x_{CO_2} = 233,004 - 8,314 \cdot \ln 0,1544$$

$$\bar{s}_{CO_2} = 248,536 \text{ kJ/kmolK}$$

$$\bar{s}_{N_2} = \bar{s}_{480K,N_2} - R_u \ln x_{N_2} = 205,424 - 8,314 \cdot \ln 0,7215$$

$$\bar{s}_{N_2} = 208,137 \text{ kJ/kmolK}$$

$$\bar{s}_{SO_2} = \bar{s}_{480K,SO_2} - R_u \ln x_{SO_2} = 304,605 - 8,314 \cdot \ln 0,0895$$

$$\bar{s}_{SO_2} = 343,768 \text{ kJ/kmolK}$$

$$\bar{s}_{H_2O} = \bar{s}_{480K,H_2O} - R_u \ln x_{H_2O} = 204,982 - 8,314 \cdot \ln 0,1151$$

$$\bar{s}_{H_2O} = 222,9564 \text{ kJ/kmolK}$$

$$\bar{s}_{480K} = x_{CO_2} \cdot \bar{s}_{480K,CO_2} + x_{N_2} \bar{s}_{480K,N_2} + x_{SO_2} \cdot \bar{s}_{480K,SO_2} + x_{H_2O} \cdot \bar{s}_{480K,H_2O}$$

$$\bar{s}_{480K} = 0,1544 \cdot 248,536 + 0,7215 \cdot 208,137 + 0,0895 \cdot 343,76 + 0,1151 \cdot 222,9564$$

$$\bar{s}_{480K} = 217,300 \text{ kJ/kmol bulunur.}$$

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

$$E_{BG}^{PH} = E_C = (14712,011 - 8946,608) - 298 \cdot (217,300 - 202,662)$$

$$E_{BG}^{PH} = E_C = 1403,279 \text{ kJ/kmol}$$

$$E_{BG}^{PH} = E_C = \frac{1403,279 \text{ kJ/kmol}}{29,65 \text{ kg/kmol}} = 47,3281 \text{ kJ/kg}$$

$$E_{BG}^{PH} = E_C = \dot{m}_{BG} \cdot E_{BG} = 287,0233 \text{ kg/s} \cdot 47,3281 \text{ kJ/kg} = 13584,267 \text{ kJ/s bulunur.}$$

1-nolu düğüm kazandan yüksek basınç türbinine buhar çıkış fiziksel ekserjisi:

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

$$e_1^{PH} = (3441,4 - 104,8) - 298 \cdot (6,565 - 0,3674)$$

$$e_1^{PH} = 1489,72 \text{ kJ/kg}$$

$$E_1^{PH} = \dot{m}_1 \cdot e_1^{PH} = 116,6 \text{ kg/s} \cdot 1489,71 \text{ kJ/kg} = 173700,79 \text{ kJ/s bulunur.}$$

2-nolu düğüm türbinden kazana ara buhar çıkışı fiziksel ekserjisi:

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

$$e_2^{PH} = (3179,1 - 104,8) - 298 \cdot (6,801 - 0,3674)$$

$$e_2^{PH} = 1157,09 \text{ kJ/kg}$$

$$E_2^{PH} = \dot{m}_2 \cdot e_2^{PH} = 106,5 \text{ kg/s} \cdot 1157,09 \text{ kJ/kg} = 123229,79 \text{ kJ/s bulunur.}$$

3-nolu düğüm kazandan orta basınç türbinine buhar çıkışı fiziksel ekserjisi:

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

$$e_3^{PH} = (3535,3 - 104,8) - 298 \cdot (7,334 - 0,3674)$$

$$e_3^{PH} = 1354,45 \text{ kJ/kg}$$

$$E_3^{PH} = \dot{m}_3 \cdot e_3^{PH} = 106,5 \text{ kg/s} \cdot 1354,45 \text{ kJ/kg} = 144249,27 \text{ kJ/s bulunur.}$$

4-nolu düğüm orta basınç türbininden alçak basınç türbinine buhar çıkışı fiziksel ekserjisi:

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

$$e_4^{PH} = (3026,1 - 104,8) - 298 \cdot (7,530 - 0,3674)$$

$$e_4^{PH} = 786,85 \text{ kJ/kg}$$

$$E_4^{PH} = \dot{m}_4 \cdot e_4^{PH} = 89,9 \text{ kg/s} \cdot 786,85 \text{ kJ/kg} = 70737,38 \text{ kJ/s bulunur.}$$

5-nolu düğüm alçak basınç türbininden kondensere buhar çıkışı fiziksel

ekserjisi:

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

$$e_5^{PH} = (2605,1 - 104,8) - 298 \cdot (8,214 - 0,3674)$$

$$e_5^{PH} = 162,01 \text{ kJ/kg}$$

$$E_5^{PH} = \dot{m}_5 \cdot e_5^{PH} = 77,2 \text{ kg/s} \cdot 162,01 \text{ kJ/kg} = 12507,42 \text{ kJ/s bulunur.}$$

6-nolu düğüm kondenserden kondenser tahliye pompasına su çıkışı fiziksel

ekserjisi:

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

$$e_6^{PH} = (188,4 - 104,8) - 298 \cdot (0,6390 - 0,3674)$$

$$e_6^{PH} = 2,66 \text{ kJ/kg}$$

$$E_6^{PH} = \dot{m}_6 \cdot e_6^{PH} = 2,66 \text{ kg/s} \cdot 161,04 \text{ kJ/kg} = 205,60 \text{ kJ/s bulunur.}$$

7-nolu düğüm kondenser tahliye pompasından ejektöre su çıkışı fiziksel

ekserjisi:

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

$$e_7^{PH} = (214,7 - 104,8) - 298 \cdot (0,716 - 0,3674)$$

$$e_7^{PH} = 6,020 \text{ kJ/kg}$$

$$E_7^{PH} = \dot{m}_7 \cdot e_7^{PH} = 77,2 \text{ kg/s} \cdot 6,020 \text{ kJ/kg} = 464,53 \text{ kJ/s bulunur.}$$

8-nolu düğüm ejektörden glend kondensere çıkış fiziksel ekserjisi:

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

$$e_8^{PH} = (206,3 - 104,8) - 298 \cdot (0,690 - 0,3674)$$

$$e_8^{PH} = 5,370 \text{ kJ/kg}$$

$$E_8^{PH} = \dot{m}_8 \cdot e_8^{PH} = 77,2 \text{ kg/s} \cdot 5,370 \text{ kJ/kg} = 414,19 \text{ kJ/s bulunur.}$$

9-nolu düğüm glend kondenserden alçak basınç besleme suyu ısıtıcısı-I'e çıkış

fiziksel ekserjisi:

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

$$e_9^{PH} = (206,3 - 104,8) - 298 \cdot (0,690 - 0,3674)$$

$$e_9^{PH} = 5,370 \text{ kJ/kg}$$

$$E_9^{PH} = \dot{m}_9 \cdot e_9^{PH} = 77,2 \text{ kg/s} \cdot 5,370 \text{ kJ/kg} = 414,19 \text{ kJ/s bulunur.}$$

10-nolu düğüm alçak basınç besleme suyu ısıtıcısı-I'den alçak basınç besleme suyu ısıtıcısı-II'ye çıkış fiziksel ekserjisi;

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

$$e_{10}^{PH} = (285,60 - 104,8) - 298 \cdot (0,9300 - 0,3674)$$

$$e_{10}^{PH} = 13,15 \text{ kJ/kg}$$

$$E_{10}^{PH} = \dot{m}_{10} \cdot \dot{e}_{10}^{PH} = 79,9 \text{ kg/s} \cdot 13,15 \text{ kJ/kg} = 1050,30 \text{ kJ/s bulunur.}$$

11-nolu düğüm alçak basınç besleme suyu ısıtıcısı-II'den alçak basınç besleme suyu ısıtıcısı-III'e çıkış fiziksel ekserjisi;

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

$$e_{11}^{PH} = (298,2 - 104,8) - 298 \cdot (0,9660 - 0,3674)$$

$$e_{11}^{PH} = 15,02 \text{ kJ/kg}$$

$$E_{11}^{PH} = \dot{m}_{11} \cdot \dot{e}_{11}^{PH} = 83 \text{ kg/s} \cdot 15,02 \text{ kJ/kg} = 1246,43 \text{ kJ/s bulunur.}$$

12-nolu akım alçak basınç besleme suyu ısıtıcısı-III'den alçak basınç besleme suyu ısıtıcısı-IV'e çıkış fiziksel ekserjisi;

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

$$e_{12}^{PH} = (483,3 - 104,8) - 298 \cdot (1,473 - 0,3674)$$

$$e_{12}^{PH} = 49,30 \text{ kJ/kg}$$

$$E_{12}^{PH} = \dot{m}_{12} \cdot \dot{e}_{12}^{PH} = 89,9 \text{ kg/s} \cdot 49,30 \text{ kJ/kg} = 4407,90 \text{ kJ/s bulunur.}$$

13-nolu akım alçak basınç besleme suyu ısıtıcısı-IV'den degazöre çıkış fiziksel ekserjisi;

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

$$e_{13}^{PH} = (619,3 - 104,8) - 298 \cdot (1,8114 - 0,3674)$$

$$e_{13}^{PH} = 84,19 \text{ kJ/kg}$$

$$E_{13}^{PH} = \dot{m}_{13} \cdot \dot{e}_{13}^{PH} = 95,2 \text{ kg/s} \cdot 84,19 \text{ kJ/kg} = 8014,70 \text{ kJ/s bulunur.}$$

14-nolu düğüm degazörden yüksek basınç besleme suyu ısıtıcısı-I'e çıkışı fiziksel ekserjisi;

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

$$e_{14}^{PH} = (741,5 - 104,8) - 298 \cdot (2,09 - 0,3674)$$

$$e_{14}^{PH} = 123,37 \text{ kJ/kg}$$

$$E_{14}^{PH} = \dot{m}_{14} \cdot \dot{e}_{14}^{PH} = 100,4 \text{ kg/s} \cdot 123,37 \text{ kJ/kg} = 12385,87 \text{ kJ/s bulunur.}$$

15-nolu düğüm yüksek basınç besleme suyu ısıtıcısı-I'den yüksek basınç besleme suyu ısıtıcısı-II'ye çıkışı fiziksel ekserjisi;

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

$$e_{15}^{PH} = (848,7 - 104,8) - 298 \cdot (2,2930 - 0,3674)$$

$$e_{15}^{PH} = 170,07 \text{ kJ/kg}$$

$$E_{15}^{PH} = \dot{m}_{15} \cdot e_{15}^{PH} = 106,5 \text{ kg/s} \cdot 170,07 \text{ kJ/kg} = 18112,58 \text{ kJ/s bulunur.}$$

16-nolu düğüm yüksek basınç besleme suyu ısıtıcısı-II'den kazana çıkış fiziksel ekserjisi;

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

$$e_{16}^{PH} = (1038,7 - 104,8) - 298 \cdot (2,6790 - 0,3674)$$

$$e_{16}^{PH} = 245,04 \text{ kJ/kg}$$

$$E_{16}^{PH} = \dot{m}_{16} \cdot e_{16}^{PH} = 116,6 \text{ kg/s} \cdot 245,04 \text{ kJ/kg} = 28572,04 \text{ kJ/s bulunur.}$$

17-nolu düğüm yüksek basınç türbininden yüksek basınç besleme suyu ısıtıcısı-II'ye çıkış fiziksel ekserjisi;

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

$$e_{17}^{PH} = (3143,8 - 104,8) - 298 \cdot (6,746 - 0,3674)$$

$$e_{17}^{PH} = 1138,18 \text{ kJ/kg}$$

$$E_{17}^{PH} = \dot{m}_{17} \cdot e_{17}^{PH} = 10,1 \text{ kg/s} \cdot 1138,18 \text{ kJ/kg} = 11495,59 \text{ kJ/s bulunur.}$$

18-nolu düğüm orta basınç türbininden yüksek basınç besleme suyu ısıtıcısı-I'ye çıkış fiziksel ekserjisi;

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

$$e_{18}^{PH} = (3034,8 - 104,8) - 298 \cdot (6,8844 - 0,3674)$$

$$e_{18}^{PH} = 987,93 \text{ kJ/kg}$$

$$E_{18}^{PH} = \dot{m}_{18} \cdot e_{18}^{PH} = 6,1 \text{ kg/s} \cdot 987,93 \text{ kJ/kg} = 6026,40 \text{ kJ/s bulunur.}$$

19-nolu düğüm orta basınç türbininden degazöre çıkış fiziksel ekserjisi;

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

$$e_{19}^{PH} = (3061,6 - 104,8) - 298 \cdot (7,3724 - 0,3674)$$

$$e_{19}^{PH} = 869,31 \text{ kJ/kg}$$

$$E_{19}^{PH} = \dot{m}_{19} \cdot e_{19}^{PH} = 5,2 \text{ kg/s} \cdot 869,31 \text{ kJ/kg} = 4520,41 \text{ kJ/s bulunur.}$$

20- nolu düğüm orta basınç türbininden alçak basınç besleme suyu ısıtıcısı-IV'e

çıkış fiziksel ekserjisi:

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

$$e_{20}^{PH} = (2940,6 - 104,8) - 298 \cdot (7,465 - 0,3674)$$

$$e_{20}^{PH} = 720,72 \text{ kJ/kg}$$

$$E_{20}^{PH} = \dot{m}_{20} \cdot \dot{e}_{20}^{PH} = 5,3 \text{ kg/s} \cdot 720,72 \text{ kJ/kg} = 3819,79 \text{ kJ/s bulunur.}$$

21-nolu düğüm alçak basınç türbininden alçak basınç besleme suyu ısıtıcısı-III'e

çıkış fiziksel ekserjisi:

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

$$e_{21}^{PH} = (2896,8 - 104,8) - 298 \cdot (8,198 - 0,3674)$$

$$e_{21}^{PH} = 458,48 \text{ kJ/kg}$$

$$E_{21}^{PH} = \dot{m}_{21} \cdot \dot{e}_{21}^{PH} = 6,9 \text{ kg/s} \cdot 458,48 \text{ kJ/kg} = 3163,52 \text{ kJ/s bulunur.}$$

22-nolu düğüm alçak basınç türbininden alçak basınç besleme suyu ısıtıcısı-

II'ye çıkış fiziksel ekserjisi:

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

$$e_{22}^{PH} = (2648,2 - 104,8) - 298 \cdot (7,7030 - 0,3674)$$

$$e_{22}^{PH} = 357,39 \text{ kJ/kg}$$

$$E_{22}^{PH} = \dot{m}_{22} \cdot \dot{e}_{22}^{PH} = 3,1 \text{ kg/s} \cdot 357,39 \text{ kJ/kg} = 1107,91 \text{ kJ/s bulunur.}$$

23-nolu düğüm alçak basınç türbininden alçak basınç besleme suyu ısıtıcısı-I'e

çıkış fiziksel ekserjisi:

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

$$e_{23}^{PH} = (2666,6 - 104,8) - 298 \cdot (8,0730 - 0,3674)$$

$$e_{23}^{PH} = 265,53 \text{ kJ/kg}$$

$$E_{23}^{PH} = \dot{m}_{23} \cdot \dot{e}_{23}^{PH} = 2,7 \text{ kg/s} \cdot 265,53 \text{ kJ/kg} = 716,93 \text{ kJ/s bulunur.}$$

24-nolu düğüm kondensere soğuk su girişi fiziksel ekserjisi:

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

$$e_{24}^{PH} = (104,9 - 104,8) - 298 \cdot (0,3670 - 0,3674)$$

$$e_{24}^{PH} = 0,2200 \text{ kJ/kg}$$

$$E_{24}^{PH} = \dot{m}_{24} \cdot \dot{e}_{24}^{PH} = 3300 \text{ kg/s} \cdot 0,2200 \text{ kJ/kg} = 723,36 \text{ kJ/s bulunur.}$$

25-nolu düğüm kondenserden soğuk su çıkışı fiziksel ekserjisi;

$$e_{25}^{PH} = (h_{25} - h_0) - T_0 \cdot (s_{25} - s_0)$$

$$e_{25}^{PH} = (125,8 - 104,8) - 298 \cdot (0,4360 - 0,3674)$$

$$e_{25}^{PH} = 0,56 \text{ kJ/kg}$$

$$E_{25}^{PH} = \dot{m}_{25} \cdot \dot{e}_{25}^{PH} = 3300 \text{ kg/s} \cdot 0,56 \text{ kJ/kg} = 1838,76 \text{ kJ/s bulunur.}$$

26-nolu düğüm kondensere soğuk su girişi fiziksel ekserjisi;

$$e_{26}^{PH} = (h_{26} - h_0) - T_0 \cdot (s_{26} - s_0)$$

$$e_{26}^{PH} = (104,9 - 104,8) - 298 \cdot (0,3670 - 0,3674) = e_{26}^{PH} = 0,2200 \text{ kJ/kg}$$

$$E_{26}^{PH} = \dot{m}_{26} \cdot \dot{e}_{26}^{PH} = 3300 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \cdot 0,2200 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} = 723,36 \text{ kJ/s bulunur.}$$

27-nolu düğüm alçak basınç türbininden alçak basınç besleme suyu ısıtıcısı-

II'ye çıkış fiziksel ekserjisi;

$$e_{27}^{PH} = (h_{27} - h_0) - T_0 \cdot (s_{27} - s_0)$$

$$e_{27}^{PH} = (125,8 - 104,89) - 298 \cdot (0,4360 - 0,3674)$$

$$e_{27}^{PH} = 0,56 \text{ kJ/kg}$$

$$E_{27}^{PH} = \dot{m}_{27} \cdot \dot{e}_{27}^{PH} = 3300 \text{ kg/s} \cdot 0,56 \text{ kJ/kg} = 1838,76 \text{ kJ/s bulunur.}$$

5.1.1.4 Santraldeki akımların kimyasal ekserjileri

Sistemdeki gazların kimyasal ekserjileri (4.42) bağıntılarıyla hesaplanacaktır. Santralde bulunan bir düğümün kimyasal ekserji analizi yapılırken suyun ekserji değeri standart olarak 2,5 kJ/kg alınıp debi ile çarpılacaktır [3]. Kimyasal ekserji analizinde ise kullanılacak gazların standart kimyasal ekserji değerleri çizelge 5.6'da gösterilmiştir.

Çizelge 5.6: Bazı Gazların Standart Kimyasal Ekserjileri

Madde	Simge	\bar{e}^{ch} (kJ/kmol)
Oksijen	(O ₂)	2.970
Azot	(N ₂)	720
Su	(H ₂ O)	9.500
Kükürt Dioksit	(SO ₂)	313.400
Karbon Dioksit	(CO ₂)	19.870

Yakma havası kimyasal ekserjisi:

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

$$e_B^{CH} = 0,21 \cdot 2970 + 0,79 \cdot 720 + 8,314 \cdot 298 (0,21 \ln 0,21 + 0,79 \ln 0,79)$$

$$e_B^{CH} = 129,1353 \text{ kJ/kmol}$$

$$e_B^{CH} = \frac{129,1353 \text{ kJ/kmol}}{28,85 \text{ kg/kmol}} = 4,476 \text{ kJ/kg}$$

$$E_B^{CH} = \dot{m}_B \cdot e_B^{CH} = 239,8011 \cdot 4,476 = 1073,34 \text{ kJ/s bulunur.}$$

Kazan baca gazı çıkışı kimyasal ekserjisi:

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

$$E_{BG}^{PH} = E_c = 0,1519 \cdot 19870 + 0,7368 \cdot 720 + 0,0026 \cdot 313400 + 0,1087 \cdot 9500 + 8,314 \cdot 298 (0,1519 \ln 0,1519 + 0,7368 \ln 0,7368 + 0,0026 \ln 0,0026 + 0,1087 \ln 0,1087)$$

$$E_{BG}^{PH} = E_c = 3493,45 \text{ kJ/kmol}$$

$$E_{BG}^{PH} = E_c = \frac{393,45}{29,44} = 118,66 \text{ kJ/kg}$$

$$E_{BG}^{PH} = E_c = \dot{m}_c \cdot E_c = 387,82 \cdot 118,66 = 46020,03 \text{ kJ/s bulunur.}$$

1-nolu düğüm kazandan yüksek basınç türbinine buhar çıkış kimyasal ekserjisi:

$$\dot{E}_1^{CH} = \dot{m}_1 \cdot \dot{e}_1^{CH} = 116,6 \text{ kg/s} \cdot 2,5 \text{ kJ/kg} = 291,5 \text{ kJ/s bulunur.}$$

2-nolu düğüm türbinden kazana ara buhar çıkışı kimyasal ekserjisi:

$$\dot{E}_2^{CH} = \dot{m}_2 \cdot \dot{e}_2^{CH} = 106,6 \text{ kg/s} \cdot 2,5 \text{ kJ/kg} = 266,25 \text{ kJ/s bulunur.}$$

3-nolu düğüm kazandan orta basınç türbinine buhar çıkışı kimyasal ekserjisi:

$$\dot{E}_3^{CH} = \dot{m}_3 \cdot \dot{e}_3^{CH} = 106,6 \text{ kg/s} \cdot 2,5 \text{ kJ/kg} = 266,25 \text{ kJ/s bulunur.}$$

4-nolu düğüm orta basınç türbininden alçak basınç türbinine buhar çıkışı kimyasal ekserjisi:

$$\dot{E}_4^{CH} = \dot{m}_4 \cdot \dot{e}_4^{CH} = 89,9 \text{ kg/s} \cdot 2,5 \text{ kJ/kg} = 224,75 \text{ kJ/s bulunur.}$$

5-nolu düğüm alçak basınç türbininden kondensere buhar çıkışı kimyasal ekserjisi;

$$\dot{E}_5^{CH} = \dot{m}_5 \cdot \dot{e}_5^{CH} = 77,2 \text{ kg/s} \cdot 2,5 \text{ kJ/kg} = 193 \text{ kJ/s} \text{ bulunur.}$$

6-nolu düğüm kondenserden kondenser tahliye pompasına su çıkışı kimyasal ekserjisi;

$$\dot{E}_6^{CH} = \dot{m}_6 \cdot \dot{e}_6^{CH} = 77,2 \text{ kg/s} \cdot 2,5 \text{ kJ/kg} = 193 \text{ kJ/s} \text{ bulunur.}$$

7-nolu düğüm kondenser tahliye pompasından ejektöre su çıkışı kimyasal ekserjisi;

$$\dot{E}_7^{CH} = \dot{m}_7 \cdot \dot{e}_7^{CH} = 77,2 \text{ kg/s} \cdot 2,5 \text{ kJ/kg} = 193 \text{ kJ/s} \text{ bulunur.}$$

8-nolu düğüm ejektörden glend kondensere çıkış kimyasal ekserjisi;

$$\dot{E}_8^{CH} = \dot{m}_8 \cdot \dot{e}_8^{CH} = 77,2 \text{ kg/s} \cdot 2,5 \text{ kJ/kg} = 193 \text{ kJ/s} \text{ bulunur.}$$

9-nolu düğüm glend kondenserden alçak basınç besleme suyu ısıtıcısı-I'e çıkış kimyasal ekserjisi;

$$\dot{E}_9^{CH} = \dot{m}_9 \cdot \dot{e}_9^{CH} = 77,2 \text{ kg/s} \cdot 2,5 \text{ kJ/kg} = 193 \text{ kJ/s} \text{ bulunur.}$$

10-nolu düğüm alçak basınç besleme suyu ısıtıcısı-I'den alçak basınç besleme suyu ısıtıcısı-II'ye çıkış kimyasal ekserjisi;

$$\dot{E}_{10}^{CH} = \dot{m}_{10} \cdot \dot{e}_{10}^{CH} = 79,9 \text{ kg/s} \cdot 2,5 \text{ kJ/kg} = 199,75 \text{ kJ/s} \text{ bulunur.}$$

11-nolu düğüm alçak basınç besleme suyu ısıtıcısı-II'den alçak basınç besleme suyu ısıtıcısı-III'e çıkış kimyasal ekserjisi;

$$\dot{E}_{11}^{CH} = \dot{m}_{11} \cdot \dot{e}_{11}^{CH} = 83 \text{ kg/s} \cdot 2,5 \text{ kJ/kg} = 207,5 \text{ kJ/s} \text{ bulunur.}$$

12-nolu düğüm alçak basınç besleme suyu ısıtıcısı-III'den alçak basınç besleme suyu ısıtıcısı-IV'e çıkış kimyasal ekserjisi;

$$\dot{E}_{12}^{CH} = \dot{m}_{12} \cdot \dot{e}_{12}^{CH} = 89,9 \text{ kg/s} \cdot 2,5 \text{ kJ/kg} = 224,75 \text{ kJ/s} \text{ bulunur.}$$

13-nolu düğüm alçak basınç besleme suyu ısıtıcısı-IV'den degazöre çıkış kimyasal ekserjisi;

$$\dot{E}_{13}^{CH} = \dot{m}_{13} \cdot \dot{e}_{13}^{CH} = 95,2 \text{ kg/s} \cdot 2,5 \text{ kJ/kg} = 238 \text{ kJ/s} \text{ bulunur.}$$

14-nolu düğüm degazörden yüksek basınç besleme suyu ısıtıcısı-I'e çıkışı kimyasal ekserjisi;

$$\dot{E}_{14}^{CH} = \dot{m}_{14} \cdot \dot{e}_{14}^{CH} = 100,4 \text{ kg/s} \cdot 2,5 \text{ kJ/kg} = 251 \text{ kJ/s} \text{ bulunur.}$$

15-nolu düğüm yüksek basınç besleme suyu ısıtıcısı-I'den yüksek basınç besleme suyu ısıtıcısı-II'ye çıkışı kimyasal ekserjisi;

$$\dot{E}_{15}^{CH} = \dot{m}_{15} \cdot \dot{e}_{15}^{CH} = 106,5 \text{ kg/s} \cdot 2,5 \text{ kJ/kg} = 266,25 \text{ kJ/s} \text{ bulunur.}$$

16-nolu düğüm yüksek basınç besleme suyu ısıtıcısı-II'den kazana çıkışı kimyasal ekserjisi;

$$\dot{E}_{16}^{CH} = \dot{m}_{16} \cdot \dot{e}_{16}^{CH} = 116,5 \text{ kg/s} \cdot 2,5 \text{ kJ/kg} = 291,5 \text{ kJ/s} \text{ bulunur.}$$

17-nolu düğüm yüksek basınç türbininden yüksek basınç besleme suyu ısıtıcısı-II'ye çıkış kimyasal ekserjisi;

$$\dot{E}_{17}^{CH} = \dot{m}_{17} \cdot \dot{e}_{17}^{CH} = 10,1 \text{ kg/s} \cdot 2,5 \text{ kJ/kg} = 25,25 \text{ kJ/s} \text{ bulunur.}$$

18-nolu düğüm orta basınç türbininden yüksek basınç besleme suyu ısıtıcısı-I'e çıkış kimyasal ekserjisi;

$$\dot{E}_{18}^{CH} = \dot{m}_{18} \cdot \dot{e}_{18}^{CH} = 6,1 \text{ kg/s} \cdot 2,5 \text{ kJ/kg} = 15,25 \text{ kJ/s} \text{ bulunur.}$$

19-nolu düğüm orta basınç türbininden degazöre çıkış kimyasal ekserjisi;

$$\dot{E}_{19}^{CH} = \dot{m}_{19} \cdot \dot{e}_{19}^{CH} = 5,2 \text{ kg/s} \cdot 2,5 \text{ kJ/kg} = 13 \text{ kJ/s} \text{ bulunur.}$$

20-nolu düğüm orta basınç türbininden alçak basınç besleme suyu ısıtıcısı-IV'e çıkış kimyasal ekserjisi;

$$\dot{E}_{20}^{CH} = \dot{m}_{20} \cdot \dot{e}_{20}^{CH} = 5,3 \text{ kg/s} \cdot 2,5 \text{ kJ/kg} = 13,25 \text{ kJ/s} \text{ bulunur.}$$

21-nolu düğüm alçak basınç türbininden alçak basınç besleme suyu ısıtıcısı-III'e çıkış kimyasal ekserjisi;

$$\dot{E}_{21}^{CH} = \dot{m}_{21} \cdot \dot{e}_{21}^{CH} = 6,9 \text{ kg/s} \cdot 2,5 \text{ kJ/kg} = 17,25 \text{ kJ/s} \text{ bulunur.}$$

22-nolu düğüm alçak basınç türbininden alçak basınç besleme suyu ısıtıcısı-II'ye çıkış kimyasal ekserjisi;

$$\dot{E}_{22}^{CH} = \dot{m}_{22} \cdot \dot{e}_{22}^{CH} = 3,1 \text{ kg/s} \cdot 2,5 \text{ kJ/kg} = 7,75 \text{ kJ/s} \text{ bulunur.}$$

23-nolu düğüm alçak basınç türbininden alçak basınç besleme suyu ısıtıcısı-I'e çıkış kimyasal ekserjisi;

$$\dot{E}_{23}^{CH} = \dot{m}_{23} \cdot \dot{e}_{23}^{CH} = 3,1 \text{ kg/s} \cdot 2,5 \text{ kJ/kg} = 7,75 \text{ kJ/s} \text{ bulunur.}$$

24-nolu düğüm kondensere soğuk su girişi kimyasal ekserjisi;

$$\dot{E}_{24}^{CH} = \dot{m}_{24} \cdot \dot{e}_{24}^{CH} = 3150 \text{ kg/s} \cdot 2,5 \text{ kJ/kg} = 7875 \text{ kJ/s} \text{ bulunur.}$$

25-nolu düğüm (kondenserden soğuk su çıkışı) kimyasal ekserjisi;

$$\dot{E}_{25}^{CH} = \dot{m}_{25} \cdot \dot{e}_{25}^{CH} = 3150 \text{ kg/s} \cdot 2,5 \text{ kJ/kg} = 7875 \text{ kJ/s} \text{ bulunur.}$$

26-nolu düğüm kondensere soğuk su girişi kimyasal ekserjisi;

$$\dot{E}_{26}^{CH} = \dot{m}_{26} \cdot \dot{e}_{26}^{CH} = 3150 \text{ kg/s} \cdot 2,5 \text{ kJ/kg} = 7875 \text{ kJ/s} \text{ bulunur.}$$

27-nolu düğüm alçak basınç türbininden alçak basınç besleme suyu ısıtıcısı-II'ye çıkış kimyasal ekserjisi;

$$\dot{E}_{27}^{CH} = \dot{m}_{27} \cdot \dot{e}_{27}^{CH} = 3150 \text{ kg/s} \cdot 2,5 \text{ kJ/kg} = 7875 \text{ kJ/s} \text{ bulunur.}$$

Termik santrale ait analizi yapılan tüm ekserji ve enerji değerleri çizelge 5.7’da verilmiştir.

Çizelge 5.7: Termik Santralin Komponentlerine Ait Ekserji ve Enerji Değerleri

Düğüm No	Enerji E (kW)	Fiziksel ekserji \dot{E}^{PH} (kW)	Kimyasal Ekserji \dot{E}^{CH} (kW)	Toplam Ekserji \dot{E} (kW)
1	401267,24	173700,79	291,5	173992,29
2	338574,15	123229,79	266,25	123496,03
3	376509,45	144249,27	266,25	144515,51
4	272046,39	70737,38	224,75	70962,13
5	201113,72	12507,42	193	12700,41
6	14544,48	205,60	193	398,59
7	16574,84	464,53	193	657,52
8	15926,36	414,19	193	607,19
9	15926,36	414,19	193	607,19
10	22819,44	1050,30	199,75	1250,05
11	24750,60	1246,43	207,5	1453,92
12	43448,67	4407,90	224,75	4632,65
13	58957,36	8014,70	238	8252,69
14	74446,60	12385,85	251	12636,86
15	90386,55	18112,58	266,25	18378,83
16	121112,42	28572,04	291,5	28863,53
17	31752,38	11495,59	25,25	11520,84
18	18512,28	6026,40	15,25	6041,64
19	15920,32	4520,41	13	4533,41
20	15585,18	3819,79	13,25	3833,04
21	19987,92	3163,52	17,25	3180,77
22	8209,42	1107,91	7,75	1115,66
23	7199,82	716,93	7,75	723,68
24	346170,0	723,36	8250	8973,36
25	415140,0	1838,76	8250	10088,76
26	346170,0	723,36	8250	8973,36
27	415140,0	1838,76	8250	10088,76

5.1.1.5 Santral komponentlerinin ekserji kaybı analizleri

Santraldeki komponentlerdeki ekserji kayıpları hesaplanırken çizelge 5.3’ten yararlanılacaktır. Yapılacak analizlerde komponentlerin yüzey sıcaklıkları ihmal edilmiştir.

Buhar kazanında kayıp ekserji:

$$\dot{E}_g = \dot{E}_c + \dot{E}_{ky}$$

$$\dot{E}_A + \dot{E}_B + \dot{E}_2 + \dot{E}_{16} = \dot{E}_C + \dot{E}_1 + \dot{E}_3 + \dot{E}_{ky}$$

$$553456,17+1474,17+123496,03+228572,04=66649,41+173992,29+144515,51+$$

$$\dot{E}_{ky} = 322132,70 \text{ kJ/s bulunur.}$$

Türbin grubunda ekserji kaybı:

$$\dot{E}_g = \dot{E}_c + \dot{E}_{ky}$$

$$\dot{E}_1 + \dot{E}_3 + \dot{E}_4 = \dot{E}_2 + \dot{E}_{17} + \dot{E}_{18} + \dot{E}_{19} + \dot{E}_{20} + \dot{E}_{21} + \dot{E}_{22} + \dot{E}_{23} + \dot{E}_4 + \dot{E}_5 +$$

$$\dot{E}_{w,türbin} + \dot{E}_{ky}$$

$$173700,79+144249,27+70737,38=123229,79+11495,59+6026,40+4520,41+3819,7$$

$$9+3163,52+1107,91+716,93+70737,38+12507,42+115500+\dot{E}_{ky}$$

$$\dot{E}_{ky} = 47383,14 \text{ kJ/s bulunur.}$$

Kondenserde ekserji kaybı:

$$\dot{E}_g = \dot{E}_c + \dot{E}_{ky}$$

$$\dot{E}_5 + \dot{E}_{24} + \dot{E}_{26} = \dot{E}_6 + \dot{E}_{25} + \dot{E}_{27} + \dot{E}_{ky}$$

$$12700,41+8973,36+8973,36=398,59+8828,16+8828,16+\dot{E}_{ky}$$

$$\dot{E}_{ky} = 10071,02 \text{ kJ/s bulunur.}$$

Kondenser tahliye pompasında ekserji kaybı:

Kondenser tahliye pompası verimi %80 alınacaktır. Bu durumda işin tamamı ekserji olacağı için,

$$\dot{E}_g = \dot{E}_c + \dot{E}_{ky}$$

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

Kazan besleme suyu pompa grubunda kayıp ekserji:

Kazan besleme suyu pompası iki tane 3514 kW kapasitede pompa grubu bulunmaktadır. Yapılan çalışmanın pompa grubunda hesap yaparken bir adet pompa varmış gibi hesap yapılacaktır. Pompalardaki verim %85 olduğu varsayılarak pompa grubunun

verimi %85 alınacaktır. Böylece işin tamamı ekserji olacağından, $\dot{E}_g=3514 \text{ kW}$,
 $\dot{E}_\zeta=2986,9 \text{ kW}$ bulunur.

$$\dot{E}_g = \dot{E}_\zeta + \dot{E}_{ky}$$

$$3514=2986,9+\dot{E}_{ky}$$

$$\dot{E}_{ky}=527,1 \text{ kJ/s} \rightarrow 2. \dot{E}_{ky}=2986,9=1054,20 \text{ kJ/s} \text{ bulunur.}$$

Ejektörde kayıp ekserji;

$$\dot{E}_g = \dot{E}_\zeta + \dot{E}_{ky}$$

$$\dot{E}_7 = \dot{E}_8 + \dot{E}_{ky}$$

$$657,52=607,19+\dot{E}_{ky}$$

$$\dot{E}_{ky} = 50,33 \text{ kJ/s} \text{ bulunur.}$$

I-Nolu Alçak basınç besi suyu ısıtıcısı kayıp ekserjisi;

$$\dot{E}_g = \dot{E}_\zeta + \dot{E}_{ky}$$

$$\dot{E}_9 + \dot{E}_{23} = \dot{E}_{10} + \dot{E}_{ky}$$

$$607,19+723,68=1250,05+\dot{E}_{ky}$$

$$\dot{E}_{ky} = 80,83 \text{ kJ/s} \text{ bulunur.}$$

II-Nolu Alçak basınç besi suyu ısıtıcısı kayıp ekserjisi;

$$\dot{E}_g = \dot{E}_\zeta + \dot{E}_{ky}$$

$$\dot{E}_{10} + \dot{E}_{22} = \dot{E}_{11} + \dot{E}_{ky}$$

$$1250,05+1115,66=1453,92+\dot{E}_{ky}$$

$$\dot{E}_{ky}=911,79 \text{ kJ/s} \text{ bulunur.}$$

III-Nolu Alçak basınç besi suyu ısıtıcısı kayıp ekserjisi;

$$\dot{E}_g = \dot{E}_\zeta + \dot{E}_{ky}$$

$$\dot{E}_{11} + \dot{E}_{21} = \dot{E}_{12} + \dot{E}_{ky}$$

$$1453,92+3180,77=4632,65+\dot{E}_{ky}$$

$$\dot{E}_{ky} = 2,043 \text{ kJ/s} \text{ bulunur.}$$

IV-Nolu Alçak basınç besi suyu ısıtıcısı kayıp ekserjisi;

$$\dot{E}_g = \dot{E}_\zeta + \dot{E}_{ky}$$

$$\dot{E}_{12} + \dot{E}_{20} = \dot{E}_{13} + \dot{E}_{ky}$$

$$4632,65 + 3833,04 = 82522,69 + \dot{E}_{ky}$$

$$\dot{E}_{ky} = 213,00 \text{ kJ/s bulunur.}$$

Degazörde kayıp ekserjisi;

$$\dot{E}_g = \dot{E}_\zeta + \dot{E}_{ky}$$

$$\dot{E}_{13} + \dot{E}_{19} = \dot{E}_{14} + \dot{E}_{ky}$$

$$8252,69 + 4533,41 = 12636,87 + \dot{E}_{ky}$$

$$\dot{E}_{ky} = 149,24 \text{ kJ/s bulunur.}$$

I-Nolu Yüksek basınç besi suyu ısıtıcısı kayıp ekserjisi;

$$\dot{E}_g = \dot{E}_\zeta + \dot{E}_{ky}$$

$$\dot{E}_{14} + \dot{E}_{18} = \dot{E}_{15} + \dot{E}_{ky}$$

$$12636,86 + 6041,64 = 18378,83 + \dot{E}_{ky}$$

$$\dot{E}_{ky} = 299,68 \text{ kJ/s bulunur.}$$

II-Nolu Yüksek basınç besi suyu ısıtıcısı kayıp ekserjisi;

$$\dot{E}_g = \dot{E}_\zeta + \dot{E}_{ky}$$

$$\dot{E}_{15} + \dot{E}_{17} = \dot{E}_{16} + \dot{E}_{ky}$$

$$18378,83 + 11520,84 = 28863,53 + \dot{E}_{ky}$$

$$\dot{E}_{ky} = 1036,14 \text{ kJ/s bulunur.}$$

5.2 İyileştirme Potansiyeli

İlerleyen teknolojinin mühendislik hesaplamalarında geliştirmeler sonucunda ulaşılmak istenen amaç potansiyel, geliştirme potansiyeli diye adlandırılır. İyileştirme potansiyeli, bir prosesin iyileştirilmesinin ne nicelikte ve ne nitelikte basit yapılabileceğinin bir ölçütüdür ve üç bölümden meydana gelmektedir; prosesin iyileştirmesini basit olarak belirleyen bağıl potansiyel ($1 - Ex_D$), prosesi iyileştirme derecesinin bir ölçüsü olan mutlak potansiyel (Ex_D), çevreye aktarılan ekserjik akımların düşürülmesi ile prosesin iyileştirme derecesini gösteren çevresel potansiyel

($\sum E_{XL}$) [28]. Bu çalışmada, ısı transferinde kaynaklı tüm kayıplar ekserji yıkım terimi içerisinde bulunmaktadır ve termodinamik tersinmezlikler ile birlikte değerlendirildiği için, çevreye aktarılan ekserjik akımların düşürülmesi ile prosesin iyileştirme derecesini gösteren çevresel potansiyele ($\sum E_{XL}$) iyileştirme potansiyeli teriminde yer verilmemiştir. Bu durumda, incelenen bir prosesin birimi için iyileştirme potansiyeli pot \dot{G}_{pot} aşağıdaki gibi ifade ile gösterilmiştir.

$$\dot{G}_{pot} = Ex_D(1 - \varepsilon) \quad (5.3)$$

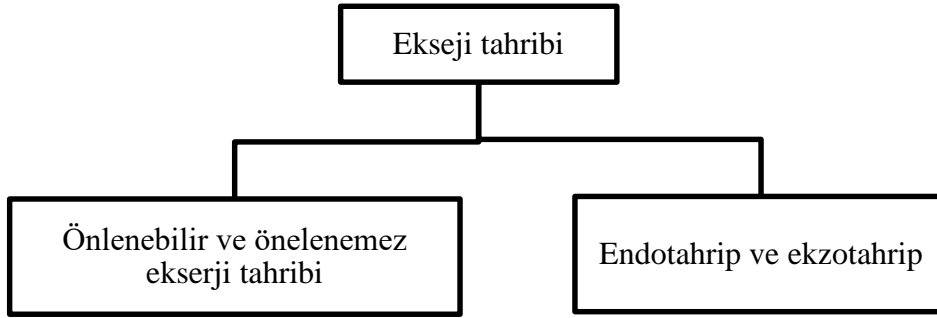
5.3 İleri Ekserji Analizine Giriş

Bir enerji prosesinin gerçek kullanılabilirliği, procesten elde edilen maksimum kullanılabilir iş olarak hesaplanarak, yani ekserji analizi yapılarak bulunabilir. Bu nedenle özellikle enerji sistemlerinin ekserji analizi yapılarak tasarlanması gerekmektedir. Kurulu bir fabrikada da sürdürülen prosesin ekserji analizinin yapılması büyük önem taşımaktadır. Ekserji analizinin önemini artıran diğer bir noktası, optimizasyonda da kullanılan faydalı bir araç olmasıdır. Optimizasyon çalışmalarında, incelenen sistemde veya proses biriminde meydana gelen tersinmezliklerin en aza indirilmesiyle, meydana gelen ekserji tahriplerinin azaltılması hedeflenir. Geleneksel ekserji analizi yapılarak tersinmezliklerin yerleri ve büyüklükleri saptanabilirken, bu tersinmezliklerin neden meydana geldiği tam olarak anlaşılammamaktadır.

Bu nedenle karşılaşılan sınırlamalar ancak ileri ekserji analizi ile aşılabilir. İleri ekserji analizi yapılarak, tersinmezlikler nedeniyle meydana gelen ekserji tahribinin, sistemin birimleri arasındaki etkileşimlerden mi, teknolojik yetersizliklerden mi veyahut her iki nedenin ortak etkisinden mi kaynaklandığı saptanabilir.

İleri ekserji analizinde, ekserji tahribi kısımlarına ayrılarak (çizelge 5.8) incelemesi yapılabilir [29].

Çizelge 5.8: Ekserji Tahribinin Kısımları



Ekserji tahribi kısımlara ayrılırken iki önemli nokta dikkate alınmıştır: birincisi, incelenen ekipman’da meydana gelen ekserji tahribinin teknolojik yetersizlikleri nedeniyle kullanılan ekipmanın kendisinden kaynaklanması (önlenebilir ve önlenemez tahrip), ikincisi ise, tersinmezliklerin diğer ekipmanların ve sistem yapısından kaynaklanması (endotahrip ve ekzotahrip) [29].

5.3.1 Önlenebilir ve önlenemez ekserji yıkımı

İleri ekserji analizinde sistem içerisindeki tersinmezliklerin ne kadarının kullanılan ekipmanın teknolojisinden kaynaklandığını belirlemek için meydana gelen tahrip önlenebilir ekserji tahribi (Avoidable Exergy Destruction $E_{D,k}^{AV}$) ve önlenemez ekserji tahribi (Unavoidable Exergy Destruction $\dot{E}_{D,k}^{UN}$) ikiye ayrılır. Önlenemez ekserji yıkımı en iyi teknolojiye sahip ekipman olsa dahi, bir ekipmanda var olan ve yakın gelecekte meydana gelecek ekserji yıkımını tarif eder. Önlenebilir ekserji ise toplam ekserji yıkımından önlenemez ekserji yıkımının çıkarılmasıyla bulunur [30].

$$\dot{E}_{D,k} = \dot{E}_{D,k}^{AV} + \dot{E}_{D,k}^{UN} \quad (5.4)$$

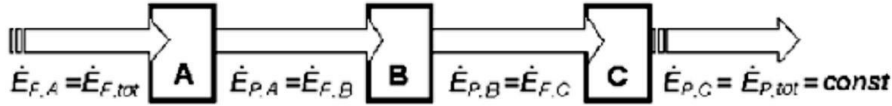
5.3.2 Endoyıkım ve ekzoyıkım

Bir sistemde meydana gelen ekserji yıkımı, endoyıkım ($\dot{E}_{D,k}^{EN}$, Endogenous Exergy Destruction) ve ekzoyıkım ($\dot{E}_{D,k}^{EX}$, Exogenous Exergy Destruction) şeklinde kısımlarına ayrılabilir. Endotahrip, bir ekipmanda meydana gelen ve yalnız kendisinden kaynaklanan tersinmezliklerin neden olduğu, sistem içerisindeki diğer ekipmanlardaki değişikliklerin ve tersinmezliklerin etkili olmadığı ekserji yıkımıdır.

Ekzoyıkım ise sistemin diğer ekipmanlarındaki tersinmezliklerden dolayı ekipmanda meydana gelen ekserji yıkımıdır [29].

$$\dot{E}_{D,k} = \dot{E}_{D,k}^{EN} + \dot{E}_{D,k}^{EX} \quad (5.5)$$

Endoyıkım ve ekzoyıkım, şekil 5.9'den faydalanılarak detaylandırılmıştır. Sanayide kullanılan proseslerin şekilde gösterildiği gibi genellikle birbirini takip eden bir proses yapısına sahip oldukları söylenebilir.



Şekil 5.18: Bir Enerji Dönüşüm Sistemi [29].

Sistemdeki proses birimlerine giren akımların ekserjisi, yakıt ekserjisi olarak nitelendirildiğinde, A proses biriminin yakıtı tüm sistemin yakıtıdır. A proses biriminden çıkan ürünler aynı zamanda B proses biriminin yakıtıdır. B proses biriminin ürünleri ise C ekipmanının yakıtıdır. C ekipmanından çıkan ürünler ise tüm sistemin ürünüdür. Buna göre, endoyıkım, A proses biriminin gerçek veriminde, B ve C proses birimlerinin ise ideal verimde ($\eta_B=1$, $\eta_C=1$) oldukları durum için hesaplanır. Ekzoyıkım ise A biriminde meydana gelen toplam ekserji yıkımından endoyıkım çıkarılarak bulunabilir [31].

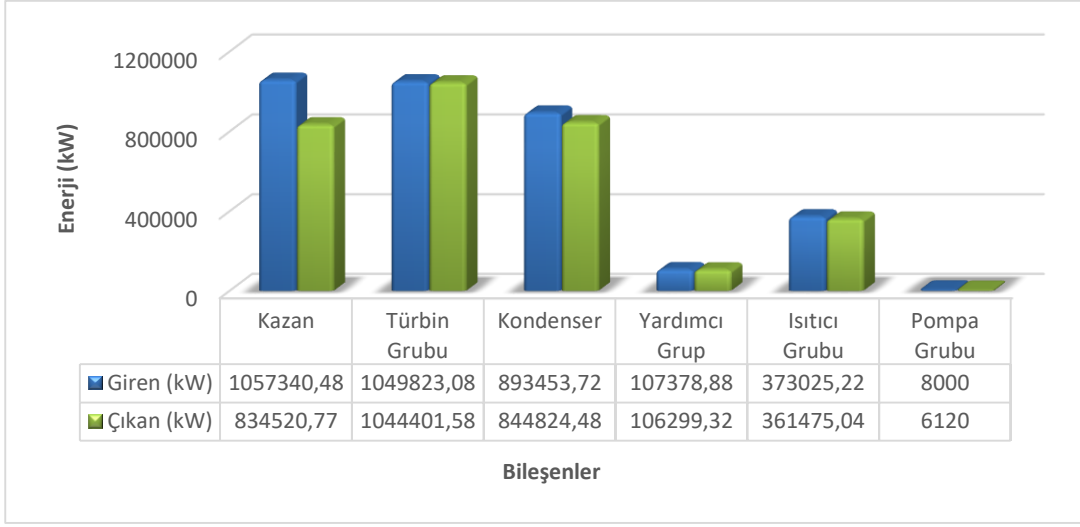
6. ENERJİ, EKSERJİ KAYBI ve VERİMLERİNİN BELİRLENMESİ

Çizelge 6.1: Düğümlerdeki Enerji, Ekserji Kayıpları ve Verimleri

Düğüm No	Enerji (E) (kW)	Ekserji ($\dot{E}x_D$)(kW)	Enerji Verimi (η)	Ekserji Verimi (ε)	Geliştirme Potansiyeli (\dot{G}_{pot})
Kazan	222819,71	322132,70	0,7696	0,5446	146,71
Türbin Grubu	5421,50	47383,14	0,9948	0,8783	5,764
Kondenser	48629,24	10071,02	0,9525	0,6714	3,309
Ejektör	648,48	50,33	0,9609	0,9234	0,038
Glend	0,00	0,00	0,0000	1,0000	0
1.Ab1	306,74	80,83	0,9867	0,9393	0,049
2.Ab1	6278,26	911,79	0,7977	0,6146	0,035
3.Ab1	1289,85	2,043	0,9712	0,9996	0
4.Ab1	76,49	213,00	0,9987	0,9748	0
Degazör	431,08	149,24	0,9741	0,9126	0
1.Yb1	2572,33	299,68	0,9783	0,9629	0
2.Yb1	1026,51	1036,14	0,9916	0,9653	0
Ktp	0,00	160,00	-	0,8000	0
Kbp	0,00	1054,20	-	0,8500	0

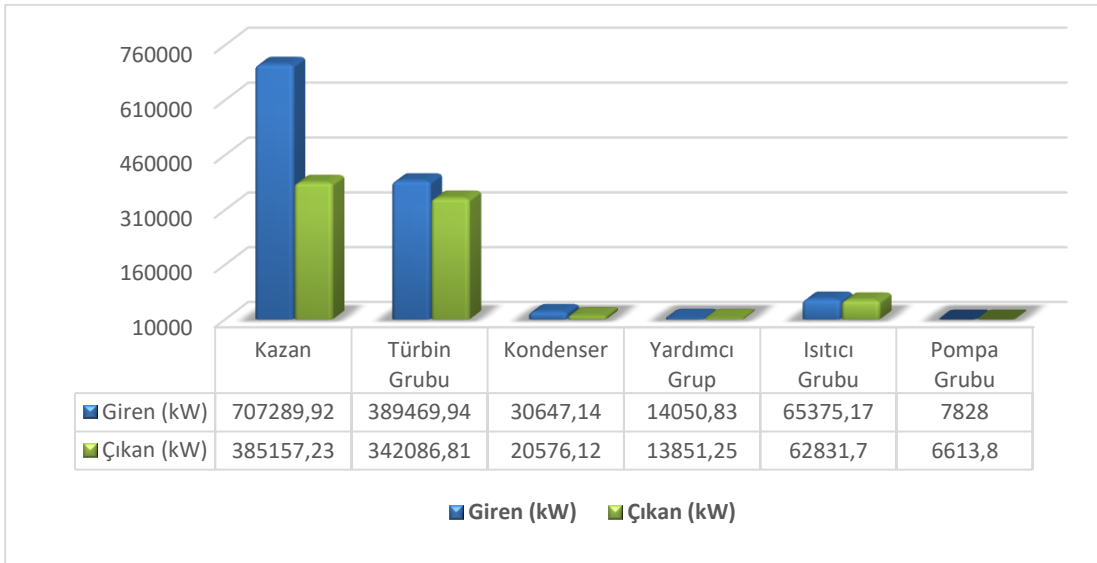
Çizelge 6.1'deki hesaplamalar sonucunda komponentleri meydana getiren bileşenlere ait çıkan ekserji, giren ekserji ve enerji değerlerine ait grafiksel gösterimler çizelge 6.2 ve çizelge 6.3'de görülmektedir ve buna bağlı olarak tesisin termodinamik hesaplamalarında türbinler tek bir grup, ejektör, glend kondenser ve degazör yardımcı grup, ABSI-I, ABSI-II, ABSI-III, ABSI-IV, YBSI-I, YBSI-II ısıtıcıları ve pompalar tek bir grup olarak hesaplama yapılmıştır.

Çizelge 6.2: Ünite Bileşenleri İçin Giren ve Çıkan Enerjiler



Santral komponentleri çıkan ve giren enerjiler tarafından incelendiğinde çizelge 6.2 değerlendirilirse; enerjinin en sık yoğun olduğu komponentler Türbin grubu, buhar kazanı, alçak ve yüksek basınç ısıtıcıları, yardımcı gruplar ve kondenser olduğu görülmektedir. Yardımcı grupların ve besi pompa grubunun taşıdığı enerji çok az olduğu görülmektedir. Çıkan ve giren enerjiler arasında oluşan fark, enerji kaybını gösterir ve ilk olarak incelenecek komponenti ifade eder bu bağlamda buhar kazanı, türbin grubu ve kondenserin enerji kaybının sebepleri gözden geçirilmelidir.

Çizelge 6.3: Ünite Bileşenleri İçin Giren ve Çıkan Ekserjiler

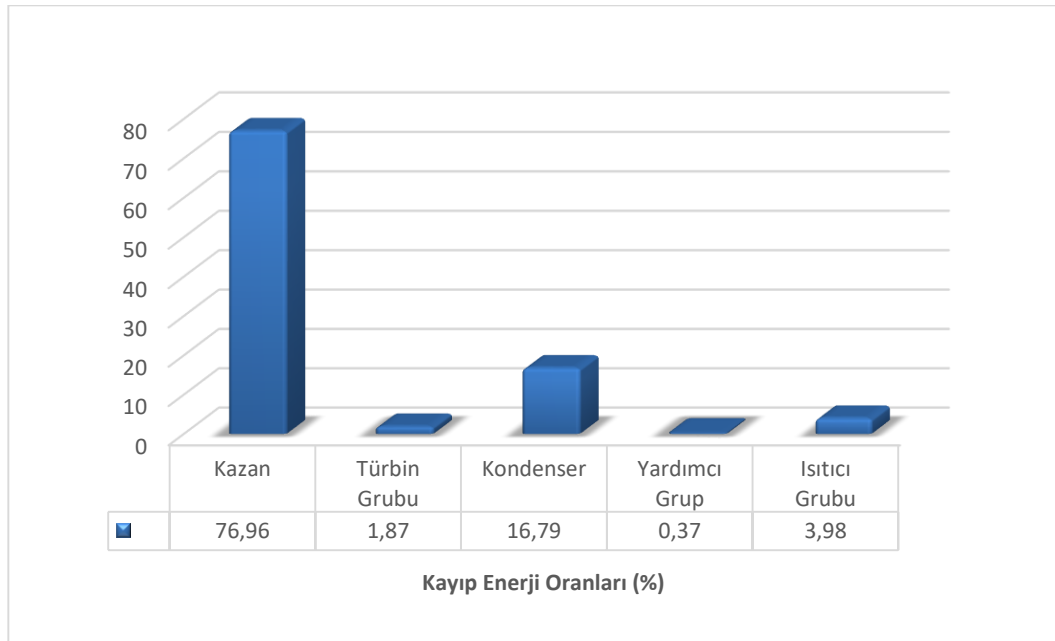


Termik santral komponentleri için çıkan ve giren ekserji değerleri açısından çizelge 6.3 hakkında değerlendirme yapılırsa buhar kazanı, türbin grubu ekserjinin en yoğun görüldüğü komponent olarak ortaya çıkmaktadır. Çıkan ve giren ekserjiler arasındaki değişim açısından kayıplar için değerlendirme yapılırsa; buhar kazanı, türbin grubu ve ısıtıcı grubunun ilk sıraları paylaştığı açıktır. Kondenser, pompa grubu, yardımcı gruplardaki kayıplar diğerlerine kıyasla oldukça düşüktür ve bu çizelgede en çok dikkate alınması gerek komponentler türbin grubu ve buhar kazanı olarak görülmektedir.

Çizelge 6.4: Kayıp Enerji ve Kayıp Enerji Oranları

Düğüm No	Kayıp enerji (kW)	Kayıp enerji oranları (%)
Kazan	222819,71	76,96
Türbin Grubu	5421,50	1,89
Kondenser	48629,24	16,79
Yardımcı Grup	1079,56	0,38
Isıtıcı Grup	11550,18	3,98
Toplam	289500,19	100

Çizelge 6.5: Ünite Bileşenleri İçin Kayıp Enerji Oranları

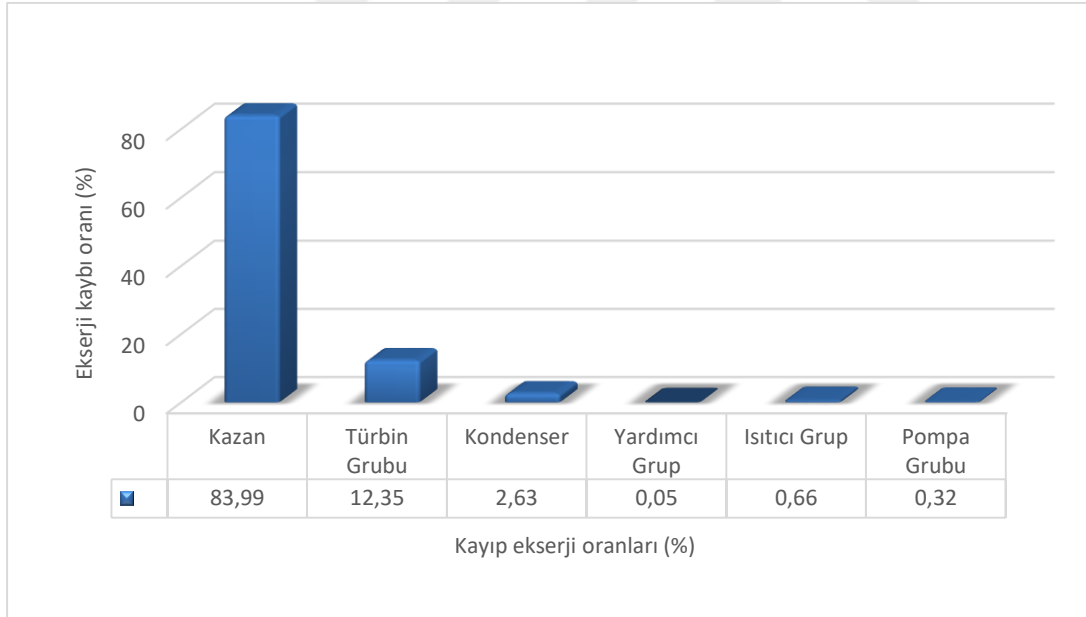


Hassas bir analiz açısından, enerji kayıp oranları ele alınırsa, komponentler için enerji kaybının en fazla görüldüğü komponent türbin ve buhar kazanı olarak görülmektedir.

Çizelge 6.6: Kayıp Ekserji ve Kayıp Ekserji Oranları

Düğüm No	Kayıp ekserji (kW)	Kayıp ekserji oranları (%)
Kazan	322132,70	83,99
Türbin Grubu	47383,14	12,35
Kondenser	10071,02	2,63
Yardımcı Grup	1298,98	0,05
Isıtıcı Grup	199,58	0,66
Pompa Grubu	1214,20	0,32
Toplam	382299,62	100

Çizelge 6.7: Ünite Bileşenleri İçin Kayıp Oranları



Kayıp ekserji oranları bakımından yapılan bir analizde ise, buhar kazanının ilk sırayı aldığı ikinci sırayı türbin grubunun ve daha sonra kondenserin takip ettiği görülmektedir.

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Elektrik üretim proseslerinin birbirlerine göre her zararlı ve hem faydalı yönleri olduğu bilinmektedir dikkatli olmamız gereken hem temiz hemde ucuz enerji kullanmaktır. Dünyada eskiden beri iklim değişikliği görülmektedir ve bu değişiklikte en büyük rol yakıtların yanması sonucunda çevreye atılan zararlı gazlardadır. Fosil yakıtlar bu iklim değişikliğindeki oranı en yüksek olanıdır ve bu santralde yapılan analizde kullanılan kömür linyiti santralleri alt ısı değerleri düşük olan yakıtları tüketmektedirler. Ülkemizde çıkan bu milli kaynağımızı kullanmamız bu sistemlerin yararlı yönlerini ortaya koymaktadır fakat bu yakma işlemi sonucu hava kirliliğine sebebiyet vermektedir son yıllarda gelişen teknolojiler bu dezavatajı minimize etmekte başarılı olmuşlardır.

Dünyada bulunan enerji rezervlerinin giderek azalarak enerji masraflarının yükselmesi ve çevreye verdiği zararlardan dolayı dünyada enerjinin verimli ve etkin bir biçimde kullanılması kesinlikle zorunludur. Bu sebeple enerjinin çok kullanıldığı veya değişim geçirdiği proseslerde termodinamik analiz metodları olan ekserji ve enerji hesaplamaları ile prosesin kullanılabilirlik açısından geliştirmelere gidilebilmekte ve böylece meydana gelen kayıpları engellenerek enerji tasarrufu sağlanabilir ve enerji masrafları minimize edilebilir. Enerji ve ekserji hesapları birbirlerini tamamlayıcı kalitede olup, enerji hesaplamaları ile de bulunan enerjinin proses komponentlerinde kullanılmayan ve kullanılan niceliğini belirlerken, ekserji hesaplamaları ile tersinmezliklerin yani kullanılabilir ve enerji kayıplarının yerleri, büyüklükleri ve nedenleri bulunabilir.

Bu çalışmada, günümüzde halen faaliyette olan bir termik santralin bir ünitesi için nominal işletme şartları ile ilgili veriler santralden alınmış, ünitenin her bir ekipmanı için kütle, ekserji ve enerji denklikleri kurularak prosesin ekserji ve enerji analizleri yapılmıştır.

Çalışmada elde edilen sonuçlar analiz edildiğinde en yüksek ekserji yıkımının 322,13 mW olduğu ve ekserji kayıp oranının %83,99 değeri ile buhar kazanında da meydana geldiği görülmüştür. Buna paralel olarak en düşük ekserji verimi burada görülmüştür (%54,46). Dolayısıyla 146,71 MW ile geliştirme potansiyeli en yüksek ekipmanının kazan olduğu, kondenserden soğutma suyu ile kül stok alanına atılan ısının ise enerji analizine göre miktar olarak fazla olmasına rağmen, düşük sıcaklıkta gerçekleşmesi nedeniyle enerji kalitesinin az yani ekserji veriminin (% 67,14) daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Alçak basınç buhar türbini ekserji tahribi ve geliştirme potansiyeli en yüksek ikinci ekipman olmasına rağmen kazana göre bu değerler çok düşüktür. Türbinde yapılacak olan iyileştirmeler ekserji veriminin artışını sağlasa da maliyetler göz önüne alındığında tercih edilebilir olmaktan uzak olacaktır. Alçak basınç buhar türbininden alınan ara buharların optimizasyonu yapılarak sistem verimi ek maliyet gerektirmeden arttırılabilir. Diğer ekipmanların ekserji tahripleri ve geliştirme potansiyelleri ise oldukça düşük seviyelerdedir.

Bu yüzden yapılacak olan iyileştirmelerin ekipmanların kendi performansını arttırmakla birlikte sistem verimi üzerinde pek bir etkisi olmayacaktır ve ek maliyet oluşturacaktır. Dolayısıyla yapılması düşünülen iyileştirmelerin sistemin enerji ve ekserji verimi üzerinde büyük etkisi olan kazandan başlatılması ve daha sonra türbin grubunda olması gerektiği sonucuna varılmıştır.

Kullanılan enerjinin yoğunluğu kadar, çevreye olan zararlı etkenlerinin minimum olması öngörülmektedir. Proseslerde kullanılan fosil yakıtlar ağırlıklı enerji kullanımı sebebiyle yaşadığımız dünyayı her geçen gün hayatımızı zorlaştırarak yaşanamaz bir seviyeye getirecektir ve sırf bu sebepten dolayı enerji kaynaklarının hem çevreye yararlı hem de devamlılığı olması açısından çok önemlidir ve bu konuda toplumun bilinçlendirilmesi demek gelecek nesiller için daha iyi yaşanabilir bir dünyayı mümkün kılmayı sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

- [1] **Çelik, C.** (2015). Termik Santrallerde Enerji ve Ekserji Analizi İçin Yazılım Geliştirilmesi. Sayfa (1-2). Bülent Ecevit Üniversitesi
- [2] **Taşkınoğlu M.** (2011). Termik Santrallerde Elektrik Enerjisi Verimliliğinin Artırılması -E.Ü.A.Ş. Seyitömer Termik Santrali Örneğın. Sayfa (1-2).
- [3] **Arslan, O. Ceylan, N. Köse, R.** (2005). Exergetic evaluation of coal-fire power plant: Seyitömer case study, Proceeding of second International Exergy, Energy and Enviroment Symposium, Greece, Sayfa (42).Dumlupınar Üni.
- [4] **Bilginsoy, K. A.** (2012). Bir Termik Santralde Termodinamik Analiz ve Isıl Süreçlerde Tersinmezliklerin Belirlenmesi. Sayfa (1-2).Gazi Üniversitesi.
- [5] **Koç, C. E. ve Şenel, M. C.** (2013). Dünyada ve Türkiye’de Enerji Durumu- Genel Değerlendirme Mühendis ve Makine 54(639) Sayfa (32-44).
- [6] **Tekel, E.** (2006). Termik Santrallerin Enerji ve Ekserji Analizi Sayfa (4-5). Pamukkale Üniversitesi.
- [7] **Yücelay, A. B.** (2000). Gaz türbinli bir bileşik ısı – güç üretim sisteminin Termodinamik çözümlemesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Sayfa (123)
- [8] **Oktay, Z.** (2009). Investigation of coal fired power plants in Turkey and a case study: Can plant, *Applied Thermal Engineering*; 29:550–557
- [9] **Tsatsaronis, G. ve Moran, J.** (1997). “Exergy – Aided Cost Minimization” *Energy Conversion and Management*, 38:15-17.
- [10] **Tuma, M. Oman, J. Sekavčnik, M.**(1999).Efficiency of Combined Gas-Steam Process. *Energy Conversion& Management*, Vol. 40: 1163- 1175.
- [11] **Alkan, A.** (1987) .“Gelişim Süreci içinde Kentin Sosyo – Ekonomik Analizi” Konya Devlet Mühendislik ve Mimarlık Akademisi No:12,Sayfa (53). Konya
- [12] **İpek, N.** (2008).”Türkiye’de Elektrik Enerjisinin Gelişiminin ve TEK’in Kısa Tarihçesi”, *Türkiye Elektrik Kurumu 50.yıl*, Sayfa (22)
www.emo.org.tr/resimler7ekeler/61b27cf1f9ef4e_ek.pdf?dergi=324>
- [13] **Eüaş.** (T.Y). Türkiye’de Elektrik Enerjisi Gelişiminin Kısa Tarihçesi ve Genel www.euas.com.tr.Sayfa (1)
- [14] **Alioğlu, O.** (2010). Türkiye Ekonomisinde Termik Santrallerin Yeri:Marmara Bölgesi Örneği Sayfa (14) Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi.
- [15] **Coşkun, A.** (2013). Çayırhan Termik Santralının Enerji ve Ekserji Analizi. 11. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi İzmir Sayfa (1).
- [16] **Kocaman. B.** (2003). Elektrik Enerjisi Üretim Santralleri. Tek Baskı, Birsen Yayın Evi. İstanbul, Sayfa (253)
- [17] **Eüaş.** (2017).2016 Sektör Raporu, Araştırma Planlama ve Koordinasyon Dairesi Başkanlığı İstatistik Ve Araştırma Müdürlüğü
- [18] **Tamzok, N.** (2017).”Yerli Kömüre Dayalı Termik Santral Potansiyeli, Darboğazlar ve Çözüm Önerileri” Türkiye’de Termik Santraller 2017 sy.135-145
- [19] **Beyhan, B.** (2015). Soma Termik Santrali Vardiya Amiri, Santral Dökümanları
- [20] **Çengel, Y. A. Boles, M. A.** (1996). Mühendislik yaklaşımıyla termodinamik, McGraw-Hill
- [21] **Karakoç, T. H, Erbay, B. ve Karakoç, N.** (2011). Enerji Analizi. Türkiye

- Cumhuriyeti Anadolu Üniversitesi Yayını, Birinci Baskı, 2486, Anadolu Üniversitesi, Eskişehir, 167s.
- [22] **Bejan, A. Tsatsaronis, G. Moran, M.**(1996).Thermal Design and Optimization John Wiley, New York.
- [23] **Mert, S.** (2010).“Bir Güç Santralinin Ekserjetik ve Termoekonomik Analizi” Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi
- [24] **Dincer, I.ve Rosen, M.A.**(2007). Exergy: Energy, Environment and Sustainable Development. First Edition, Elsevier, 454p.
- [25] **Ünal, F.** (2009). “ Bir Termik Santralin Ekserji Analizi” Yıldız Teknik Üni. Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul
- [26] **Habib, M.A. Said, S. A. M. ve Al, Zaharana.** (1999). I. “ Thermodynamic Optimization of reheat regenerative thermal - power plants ” , *Applied Energy*,63:17-34
- [27] **Tuncali, E. Çiftci, B. Yavuz, N. Toprak, S. Koker, A. Aycik, H. Gencer, Z. Sahin, N.** (2002). “*Chemical and Technological Properties of Turkish Tertiary Coals,General Directorate of Mineral Research and Exploration (MTA) ANKARA.*
- [28] **Mert, M. S. Dilmaç, Ö. F. Özkan, S. Karaca, F. Bolat, E.** (2012).” Bir Demir Çelik Fabrikasının Kojenerasyon Santralinin Eksergoekonomik Analizi “ *Energy*,46:78-84
- [29] **Tsatsaronis, G.** (1999b) . “Strengths and Limitations of Exergy Analysis” Thermodynamic Optimization of Complex Energy Systems, Kluwer Academic Publishers, 93–100.
- [30] **Tsatsaronis, G. ve Park, M.** (2002). “ On Avoidable and Unavoidable Exergy Destructions and Investment Cost in Thermal System”*Energy Conversion and Management*, 43:1259-1270
- [31] **Morusuk, T. ve Tsatronis, G.** (2006). “ Splitting the Exergy Destruction into Endogenous and Exogenous Parts, Application to Refrigeration Machines” ECOS 2006 Conference on ”Efficiency, Costs, Optimization, Simulation and Environmental Impact of Energy System,12-14 July, Crete, Greece,165-172
- [32] **Rosen, M. A.** (2002). Exergy Conservation; an alternative to conserving the already conserved quantity energy, *exergy an International Journals*,59-61
- [33] **Wall, G.** (1993). Exergetics, Exergy, Ecology and Democracy - Concepts of a vital society. *Energy Systems and Ecology* July 5-9, 111-121
- [34] **Kotas, T. J.** (1985). The Exergy Method of Thermal Plant Analysis, Anchor Brendon Ltd. Tiptree
- [35] **Szargut, J.** (1980).International Progress in Second Law Analysis *Energy*5, 709
- [36] **Riekart, L.** (1974). The efficiency of Energy Utilization in Chemical Processes. *Chemical Engineering Science* 29,1613
- [37] **Rosen, M. A ve Dinçer, İ.** (2004). Effect of Varying dead - state properties on energy and exergy analysis of thermal systems, *International Jouran of Thermal Science*, 43,121-133
- [38] **Bejan, A.** (1988). *Advanced Engineering Thermodynamics.* Wiley, New York
- [39] **Hepbaşlı, A.** (2003). Güneş Enerjili Sistemlerde Ekserji Analizinin Gerekliği ve uygulanması. TMMOB Makine Mühendisleri Odası Güneş Enerjisi Sistemleri Sempozyumu ve Sergisi, 20-21 Haziran 2003,Mersin, Bildiriler Kitabı: 197-206
- [40] **Utlu, Z. Kincay, O.** (2013). “ *An assessment of a pulp and paper mill through energy and exergy analyses*” *Energy* 57 565-573

ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad: Oğuzhan YILDIZ

Doğum Tarihi ve Yeri: 19.05.1989- Bakırköy/İstanbul

E-posta: oguzyildiz_89@hotmail.com

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans:** İstanbul Aydın Üni. Müh. Fak. Makine Mühendisliği (2012-2014)
- **Önlisans:** İstanbul Üniversitesi Tek. Bil M.Y.O Makine (2007-2009)
- **Lise:** İsmet Aktar Anadolu Teknik Lisesi (2003-2007)
- **İlköğretim:** Gültepe İlköğretim Okulu (1996-2003)

MESLEKİ DENEYİMLERİ

- Borusan Holding (Haziran-Ağustos 2006/ Yaz Stajı)
- Ulusoy Holding (Haziran-Ağustos 2008/ Yaz Stajı)
- İ.E.T.T Motor Yenileme Fabrikası (Haziran-Ağustos 2009/Yaz Stajı)
- Çağdaş Cnc Torna Tic. Ltd. Şti (2009-2011)
- Sistem Reklamcılık Aydınlatma San. A.Ş. (Temmuz- Ağustos 2013 / Yerde Uygulama Çalışması 1)
- Sistem Reklamcılık Aydınlatma San. A. Ş. (Ağustos-Eylül 2013 / Yerde Uygulama Çalışması 2)
- Uzman Muayene Gözetim ve Çevre Lab. Tic. Ltd.Şti. (2014 - Devam)