

ZONGULDAK BÜLENT ECEVİT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

SÜPERKRİTİK BİR TERMİK SANTRALDE ENERJİ VE EKSERJİ ANALİZİ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

BAŞAK BAYRAM

AĞUSTOS 2020

ZONGULDAK BÜLENT ECEVİT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

SÜPERKRİTİK BİR TERMİK SANTRALDE ENERJİ VE EKSERJİ ANALİZİ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Başak BAYRAM

DANIŞMAN

: Prof. Dr. Mehmet KOPAÇ

ZONGULDAK

Ağustos 2020

KABUL:

Başak BAYRAM tarafından hazırlanan “Süper Kritik Termik Santralde Enerji ve Ekserji Analizi” başlıklı bu çalışma jürimiz tarafından değerlendirilerek Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans Tezi olarak oybirliğiyle/oyçokluğuyla kabul edilmiştir. 21/08/2020

Danışman: Prof. Dr. Mehmet KOPAÇ

Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine
Mühendisliği Bölümü

Üye: Prof. Dr. Ahmet CİHAN

Beykent Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Makine Mühendisliği
Bölümü

Üye: Dr. Öğretim Üyesi Beytullah ERDOĞAN

Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine
Mühendisliği Bölümü

ONAY:

Yukarıdaki imzaların, adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylarım./...../2020

Prof. Dr. Ahmet ÖZARSLAN
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü



“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”

Başak BAYRAM

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

SÜPERKRİTİK TERMİK SANTRALDE ENERJİ VE EKSERJİ ANALİZİ

Başak BAYRAM

Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Mehmet KOPAÇ

Ağustos 2020, 119 sayfa

Bu çalışmada bir süper-kritik termik santralin tüm sistem elemanlarının ayrı ayrı enerji ve ekserji analizi yapılmıştır. Tesiste bulunan toplam 46 düğüm noktasının enerji ve ekserji değerleri ayrı ayrı hesaplanarak, her bir elemanın kayıp enerjileri ve tersinmezlikleri belirlenmiştir. Bütün bu hesaplamalar sonucunda sonuçlar grafiksel olarak da verilmiştir ve ekipmanlar birbiri ile karşılaştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Süper-kritik Termik Santral, Enerji Analizi, Ekserji Analizi

Bilim Kodu: 625.05.00

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

ENERGY AND EXERGY ANALYSIS IN A SUPERCRITICAL THERMAL POWER PLANT

Başak BAYRAM

**Zonguldak Bülent Ecevit University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Mechanical Engineering**

Thesis Advisor: Prof. Dr. Mehmet KOPAC

August 2020, 119 pages

In this study, energy analysis and exergy analysis of all system elements of a super-critical thermal power plant were performed. The energy and exergy values of 46 points found in the plant were calculated separately and the lost energies and irreversibility were found. As a result of these calculations, the results are given graphically and the equipments are compared with each other.

Keywords: Super-critical thermal power plant, Energy analysis, Exergy analysis

Science Code: 625.05.00



TEŞEKKÜR

Bu tez çalışma sürecinde tecrübesi ve bilgisi ile beni yönlendiren ve her sürecinde yardım eden Prof. Dr. Mehmet Kopaç'a teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmamda santralin verilerini kullanmamı sağlayan Eren Enerji Elektrik Üretim A.Ş Santraline, tüm gerekli bilgileri paylaşan ve destek olan Mühendis ve Müdürlere teşekkür ederim.

Her konuda beni destekleyen, inanan ve her zaman yanımda olan sevgili eşim ve aileme sonsuz teşekkür ederim.



İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL.....	ii
ÖZET	iii
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR.....	vii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xiii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xvii
BÖLÜM 1 GİRİŞ	1
BÖLÜM 2 LİTERATÜR ÇALIŞMASI.....	3
BÖLÜM 3 ENERJİ ANALİZİ.....	7
3.1.Termodinamiğin Birinci Yasası.....	7
3.2.Kütlenin Korunumu İlkesi.....	7
3.3.Enerjinin Korunumu İlkesi	7
3.4.Akış İşİ	7
3.5.Sürekli Akışlı Açık Sistem	8
3.6.Termodinamiğin İkinci Yasası	8

İÇİNDEKİLER (devam ediyor)

Sayfa

3.7.Sistemin Entropi Dengesi	9
3.8.Sürekli Açık Sistemlerde Entropi Dengesi.....	10
BÖLÜM 4 EKSERJİ ANALİZİ.....	11
4.1.Duran Bir Maddenin Ekserjisi	12
4.2.Akan Bir Maddenin Ekserjisi	12
4.3.Isı Enerjisinin Ekserjisi	12
4.4.Ekserji Bileşenleri.....	13
4.5.Kinetik ve Potansiyel Ekserji	13
4.6.Fiziksel ve Kimyasal Ekserji	13
4.7.Ekserji Dengesi	14
BÖLÜM 5 SÜPERKRİTİK VE TEK GEÇİŞLİ KAZAN TEKNOLOJİSİ	15
5.1.Süperkritik Kazan	15
5.2.Süperkritik Teknoloji Avantajları.....	16
5.3.Tek Geçişli Kazan.....	16
5.4.Tek Geçişli Kazanın Özellikleri	16

İÇİNDEKİLER (devam ediyor)

	<u>Sayfa</u>
BÖLÜM 6 SANTRAL VE EKİPMANLARIN TANITIMI.....	19
6.1.Eren Enerji Elektrik Üretim A.Ş.....	19
6.2.Ekipmanların Tanıtımı	20
BÖLÜM 7 ENERJİ ANALİZİNİN YAPILMASI	29
BÖLÜM 8 EKSERJİ ANALİZİNİN YAPILMASI.....	59
BÖLÜM 9 SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME.....	101
9.1.Enerji Analizi Sonuçları	101
9.2.Ekserji Analizi Sonuçları.....	107
BÖLÜM 10 SONUÇLAR VE ÖNERİLER	113
KAYNAKLAR	115
ÖZGEÇMİŞ	119



ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 3.7.1 Sistemin Entropi Dengesi.....	9
Şekil 4.2.1 Akan Bir Maddenin Ekserjisi	12
Şekil 4.3.1 Carnot Isı Makinesi.....	12
Şekil 4.7.1 Sistemin Ekserji Dengesi	14
Şekil 5.1.1 Süperkritik Bölge.....	15
Şekil 6.2.1 Kazanın Şematik Çizimi.....	22
Şekil 6.2.2 Buhar ve Suyun Akış Diyagramı.....	23
Şekil 7.1 Santralin Akış Şeması.....	30
Şekil 7.2 Kazanın Düğüm Noktaları	33
Şekil 7.3 Yüksek Basınç Türbini Düğüm Noktaları.....	37
Şekil 7.4 Orta Basınç Türbini Düğüm Noktaları	39
Şekil 7.5 Alçak Basınç Türbini Düğüm Noktaları	41
Şekil 7.6 Kondenserin Düğüm Noktaları.....	43
Şekil 7.7 Besleme Suyu Pompası 1 Düğüm Noktaları	45
Şekil 7.8 Besleme Suyu Pompası 2 Düğüm Noktaları	46
Şekil 7.9 Kazan Besleme Pompası Türbini Düğüm Noktaları.....	48
Şekil 7.10 Alçak Basınç Isıtıcılarının Düğüm Noktaları.....	49
Şekil 7.11 Degazör Düğüm Noktaları	53
Şekil 7.12 Yüksek Basınç Isıtıcılarının Düğüm Noktaları	54
Şekil 9.1.1 Tesisin Enerji Bilançosu.....	102
Şekil 9.1.2 Ekipmanların Yakıt Enerjisine Göre % Enerji Değerleri.....	105
Şekil 9.1.3 Tesisin Sankey Diyagramı.....	106
Şekil 9.2.1 Elde Edilen Ekserji ve Yok olan Ekserji Miktarları	108
Şekil 9.2.2 Yakıt Ekserjisine Göre % Ekserji Dağılımı	110
Şekil 9.2.3 Grassman Diyagramı.....	111



ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
Çizelge 6.2.1 Kazan Dizayn Değerleri	20
Çizelge 6.2.2 Kömür Özellikleri	21
Çizelge 6.2.3 Kondenserin Dizayn Değerleri	26
Çizelge 7.1 Santralin Tüm Noktalarına Ait Termodinamik Değerleri	31
Çizelge 7.2 Kazan Düğüm Noktalarının Enerji Değerleri.....	33
Çizelge 7.3 Bacagazı içindeki bileşenler (Yunus A. Çengel,Mühendislik Yaklaşımıyla Termodinamik,1989)	34
Çizelge 7.4 Yüksek Basınç Türbini Düğüm Noktalarının Enerji Değerleri	37
Çizelge 7.5 Orta Basınç Türbini Düğüm Noktalarının Enerji Değerleri.....	39
Çizelge 7.6 Alçak Basınç Türbini Düğüm Noktalarının Enerji Değerleri.....	41
Çizelge 7.7 Kondenserin Düğüm Noktalarının Enerji Değerleri	43
Çizelge 7.8 Besleme Suyu Pompası 1 Düğüm Noktalarının Enerji Değerleri	45
Çizelge 7.9 Besleme Suyu Pompası 2 Düğüm Noktalarının Enerji Değerleri	46
Çizelge 7.10 Kazan Besleme Pompası Türbini Düğüm Noktalarının Enerji Değerleri	48
Çizelge 7.11 KBSI 1 Düğüm Noktalarının Enerji Değerleri	49
Çizelge 7.12 KBSI 2 Düğüm Noktalarının Enerji Değerleri	50
Çizelge 7.13 KBSI 3 Düğüm Noktalarının Enerji Değerleri	51
Çizelge 7.14 KBSI 4 Düğüm Noktalarının Enerji Değerleri	52
Çizelge 7.15 Degazör Düğüm Noktalarının Enerji Değerleri.....	53
Çizelge 7.16 KBSI 5 Düğüm Noktalarının Enerji Değerleri	54
Çizelge 7.17 KBSI 6 Düğüm Noktalarının Enerji Değerleri	55
Çizelge 7.18 KBSI 7 Düğüm Noktalarının Enerji Değerleri	56
Çizelge 7.19 Yakıt Enerjisi, Türbin ve Pompa Güçleri.....	57
Çizelge 8.1 Kömürün Analiz Değerleri.....	59
Çizelge 8.2 Maddelerin ε° ve $\tilde{c}_p$ değerleri (T.J. Kotas, The Exergy Method of Thermal Plant Analysis,1985)	60
Çizelge 8.3 Yakıt Ekserjisi, Türbin ve Pompa Güçleri	100

ÇİZELGELER DİZİNİ (devam ediyor)

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
Çizelge 9.1.1 Tesisin Birim Zamandaki Enerji Bilançosu	101
Çizelge 9.1.2 Yakıt Enerjisine Göre Tesisin % Enerji Bilançosu.....	104
Çizelge 9.2.1 Tesisin Ekserji Bilançosu	107
Çizelge 9.2.2 Tesisin Yakıt Ekserjisine Göre Ekserji Bilançosu % Değerleri	109



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

e	: Özgöl Toplam Enerji, kJ/kg
E	: Toplam Enerji, kJ
E_x	: Ekserji, kJ
ε	: Özgöl Ekserji, kJ/kg
g	: Yerçekimi ivmesi, m/s^2
h	: Özgöl entalpi, kJ/kg
I	: Toplam Tersinmezlik, kJ
i	: Özgöl Tersinmezlik, kJ/kg
m	: Kütle , kg
$\dot{m}$	: Kütle debisi, kg/s
P	: Basınç, kPa
Q	: Toplam Isı Geçişi, kJ
$\dot{Q}$	: Birim zamanda ısı geçişi, kW
R	: Gaz Sabiti, $kJ/(kg \cdot K)$
s	: Özgöl entropi, $kJ/(kg \cdot K)$
S	: Toplam Entropi, kJ/K
$S_{\text{üretim}}$	: Toplam Entropi Üretimi, kJ/K

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam ediyor)

T	: Sıcaklık, $^{\circ}\text{C}$ veya K
T_0	: Çevre Sıcaklığı, $^{\circ}\text{C}$ veya K
u	: Özgül iç enerji, kJ/kg
v	: Özgül hacim, m^3/kg
V	: Hız, m/s
W	: Toplam iş, kJ
$\dot{W}$	: Güç, birim zamanda yapılan iş, kW
$\dot{W}_g$	: Giren ve sistem üzerinde birim zamanda yapılan iş, kW
$\dot{W}_ç$	: Çıkan ve sistem tarafından birim zamanda yapılan iş, kW
$\dot{W}_{tr}$	: Tersinir iş, kW
$W_{akış}$	: Akış işi, kJ
z	: Yükseklik, m
Δ	: Miktarda sonlu değişim
δ	: Yola bağımlı fonksiyonun diferansiyeli
θ	: Akan akışkanın birim kütle başına toplam enerjisi, kJ/kg
σ	: Stefan-Boltzman sabiti
ψ	: Akan akışkanın kullanılabilirliği (ekserjisi), kJ/kg

Alt İndisler

ϕ	: Çıkış koşullarında
i	: i. karışan

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam ediyor)

g	: Giriş koşullarında
ke	: Kinetik Enerji
KH, kh	: Kontrol Hacmi
pe	: Potansiyel Enerji
fz	: Fiziksel Ekserji
km	: Kimyasal Ekserji
bg	: Bacagazı
1	: Başlangıç veya giriş hali
2	: Sol hal veya çıkış hali
Üsler	
$\sim$	: Birim mol için
$\cdot$	: Birim zamanda

KISALTMALAR

ABT : Alçak Basınç Türbini

BFPT : Kazan Besleme Pompası Türbini

BSP : Besleme Suyu Pompası

KBSI : Kapalı Besleme Suyu Isıtıcısı

KBPT : Kazan Besleme Pompası Türbini

OBT : Orta Basınç Türbini

YBT : Yüksek Basınç Türbini



BÖLÜM 1

GİRİŞ

Enerji tüketimi günümüzün en önemli sorunlarından biridir ve ülkelerin gelişmişlik düzeyini belirler. Bu yüzden elektrik üretim süreçlerinin analizi, bilimsel açıdan ve enerji kaynaklarının verimli kullanımı için de önemlidir. Enerjinin verimli kullanımı için kullanılan en yaygın yöntem enerji ve ekserji analizidir.

Kullanılan yakıtların dünyada giderek azalması ve enerji tüketim ihtiyacının da günden güne artması termik santrallerde enerji tasarrufunu yani verimli çalışmayı ön planda tutmaktadır. Bu yüzden de enerji ve ekserji analiz yöntemiyle enerji kayıplarının nerelerde olduğunun tespiti önemlidir. Termik santrallerde çalışma parametrelerine ve ortam şartlarına bağlı olarak %38-45 verimliliğe sahip süper-kritik ya da ultra süper-kritik santraller tasarlanarak verimliliğin artması sağlanmaktadır.

Bu çalışmada, Eren Enerji Elektrik Üretim A.Ş. Termik Santralinde 2. ve 3. Ünitelerinin incelenmesi ve tüm sisteme ait her bir elemanın enerji ve ekserji analizlerinin yapılması amaçlanmıştır.



BÖLÜM 2

LİTERATÜR ÇALIŞMASI

Enerji ve ekserji analizleri ile ilgili birçok tez, makale ve kitap yazılmıştır. Bu çalışmalarda enerji ve ekserji analizi incelenmiş ve yapılacak olan çalışmalarda yol gösterici olmuştur. Bu tez çalışmasında incelenen yayınlar aşağıda özetlenmiştir:

Kopaç (2000), Bir termik santrale enerji ve ekserji analizi uygulaması yapılmış ve sonuçları grafiklerle sunulmuştur.

Kopaç ve diğerleri (2005), Çatalağzı Termik santraline enerji ve ekserji analizi uygulayarak, enerji üretim santralinin termodinamik analizini yapmışlardır. Birinci kanun analizine göre en yüksek enerji kaybının kondenserde, ikinci kanun analizine göre en yüksek ekserji kaybının kazanda olduğu belirtilmiştir ve iyileştirme çalışmalarının öncelikle kazanda yapılması gerektiği vurgulanmıştır.

Tekel (2006), Farklı bölgede bulunan, özellik olarak birbirine yakın 3 linyit santralinin enerji ve ekserji değerleri hesaplanmıştır. Verimliliklerdeki farklılıkların sebebinin, kazan performansı ile ilgili olduğu belirtilmiştir.

Kopaç ve diğerleri (2007), Çatalağzı Termik santraline enerji ve ekserji analizi uygulayarak, çevre sıcaklığının santral üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Kopaç ve diğerleri (20011,2017) değişik santraller üzerinde ekserji analizleri uygulayarak verim artışı önerilerini sunmuşlardır.

Ganapaty ve diğerleri (2009), linyit kömürü ile üretim yapan bir termik santrale ekserji analizini uygulamışlardır. Bu uygulama sonucunda, kazanda %57 ekserji kaybı olduğunu ve bu kaybın %42.7'sinin yakıcılardan kaynaklandığını tespit etmişlerdir. Yakıcılarda yapılacak olan iyileştirme ile verimin artacağını belirtmişlerdir.

Regulagadda ve diğerleri (2010), bir termik santralinde farklı sıcaklık, basınç ve debi gibi çeşitli işletme parametreleri ile kazan ve türbindeki performanslarına incelenmiştir. Kazanda ekserji kaybının daha fazla olduğu ve iyileştirmeler ile direkt verime etkisi olduğu tespit edilmiştir.

Ehsan ve Yılmazoğlu (2011), 9 farklı linyit tipinde santrallerin ekserji yok oluşunu (tersinmezlik) ve ekserji verimi incelemişlerdir. Ayrıca yakıt oranları ve CO₂ emisyon değerleri belirlenmiş ve kıyaslanmıştır. Sonuç olarak CO₂ emisyon değerleri ve ekserji verimi en iyi Yeniköy linyitte çıkmıştır. Maksimum tersinmezliğin Seyitömer linyitinde olduğu görülmüş ve bunun nedeni olarak karbon ve hidrojen oranının diğer linyitlere göre düşük olmasından kaynaklandığını tespit etmişlerdir.

Amir ve Mehdi (2012), Bir termik santralinde farklı ortam sıcaklıklarında, farklı ekipmanların enerji ve ekserji analizleri araştırılmıştır. Değişken kondenser basıncı ve ortam sıcaklığındaki artış, santral verimliliğinin azalmasında önemli bir faktör olduğunu tespit etmişlerdir.

Gulhana ve Thakur (2013), Termik Kojenerasyon Santralinde ekserji analizi uygulanmış ve uygulama sonucunda kazan ekipmanlarında yapılacak iyileştirmelerin verimliliği artırabileceği görülmüştür.

Ünal ve Özkan (2014), Tunçbilek termik santral ekipmanlarının enerji ve ekserji değerleri hesaplanarak, ortalama kayıp ve tahrip olan enerji ve ekserjileri bulunmuş ve sonuçları grafikler ile verilmiştir. Kurulu sistemde bir iyileştirme yapılmak istenirse, taze hava fanlarının ve otomatik kontrol tekniğinin gözden geçirilmesinin sisteme fayda sağlayacağı tespit edilmiştir.

Osueke, Onokwai ve Adeoye (2015), Nijeryada bulunan Sapele buhar santralinin referans çevre sıcaklıklarının değiştirilerek, ekipmanlarında enerji ve ekserji analizini hesaplamışlardır. Farklı sıcaklıklarda en fazla ekserji tahribatının kazanda olduğunu görmüşlerdir.

Pilankar K D ve Kale R (2016), buhar ve enerji üretim tesisinde enerji ve ekserji analizi yapmışlardır. Yapılan enerji analizinde en fazla kaybın kondenser ve kazanda olduğu görülmüştür. Fakat ekserji analizinde elde edilen sonuçlar, enerji analizinden farklı olmuş ve kondenserden ziyade ekserji kaybının kazanda olduğu görülmüştür.

Rai, Pandey ve Baredar (2017), termik santralde süperkritik kazan teknolojisini incelemişlerdir ve verimi hesaplamışlardır. Yaptıkları analizlerde, kritik basınç üzerinde yüksek sıcaklıktaki buharla yüksek kazan verimi elde edebileceklerini görmüşlerdir. Gelişmiş teknolojiye bu kazanlarda hem yüksek verimlilik ve yüksek güvenilirlik sağladığını belirtmişlerdir.

Rude, Aamir ve Ahmad (2018), süperkritik kazan teknolojisini incelemişlerdir. Süperkritik kazanların MWh başına harcanan kömür miktarının az olması nedeniyle daha az çevre kirliliği ve yüksek verimlilik için iyi ve temiz bir teknoloji olduğu vurgulanmıştır. Ayrıca

yüksek santral veriminin, türbin girişindeki sıcaklık ve basıncın yüksek olmasından ve ileri yanma teknolojisinden kaynaklandığını belirtmişlerdir.

Bu çalışmada, santralin tüm elemanlarına enerji ve ekserji analizleri uygulanarak enerji kayıpları ve tersinmezliklerinin belirlenmesi, ayrıca tesis veriminin artırılabilmesi için gerekli önerilerin saptanması amaçlanmıştır.





BÖLÜM 3

ENERJİ ANALİZİ

Enerji termodinamik bir kavramdır. Enerji; ısı, mekanik, kinetik, potansiyel, elektrik, manyetik, kimyasal ve nükleer gibi değişik biçimler alabilir ve bunların tümünün toplamıdır.

3.1. Termodinamiğin Birinci Yasası

Termodinamiğin birinci yasası enerjinin korunumu ilkesidir ve enerjinin termodinamikle ilgili bir özellik olduğunu belirtir. Sistemle çevresinin etkileşimi sırasında, sistem tarafından kazanılan enerji, çevresi tarafından kaybedilen enerjiye eşittir. Enerji sistem sınırlarını ısı ve iş olarak geçebilir.

3.2. Kütlenin Korunumu İlkesi

Kapalı sistem, sınırlarından kütle geçişi olmayan sistemdir.

Açık sistem, uzayın problem çözümüne uygun seçilmiş bir bölgesidir. Kontrol hacmi için kütlenin korunumu ilkesi, kontrol hacmine giren toplam kütle çıkan toplam kütleye eşittir.

$$\sum m_g - \sum m_\varsigma = \Delta m_{KH} \quad (3.1)$$

3.3. Enerjinin Korunumu İlkesi

Kontrol hacmi içinde bir sistemin hal değişimi sırasında enerji değişimi, sistem sınırlarında gerçekleşen ısı ve iş geçişine eşittir.

$$\sum E_g - \sum E_\varsigma = \Delta E_{KH} \left(e = u + \frac{v^2}{2} + gz \right) \quad (3.2)$$

3.4. Akış İş

Akan kütlenin hareketini sağlayan iş olup, aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$W_{akış} = PV \quad (3.3)$$

3.5. Sürekli Akışlı Açık Sistem

Bir akışkanın bir kontrol hacminden düzenli olarak aktığı bir prosese denir.

Sürekli akışlı açık sistemlerde kontrol hacmi içindeki toplam kütle birim zamanla değişmez.

$$\sum \dot{m}_g = \sum \dot{m}_ç \quad (3.4)$$

Sürekli açık sistemlerde enerjinin korunumu ilkesi, ısı ve iş olarak birim zamanda sınırları geçen enerji, birim zamanda kütle ile kontrol hacminden çıkan toplam enerji değişimine eşittir.

$$\sum \dot{E}_g - \sum \dot{E}_ç = 0 \quad (3.5)$$

Akan akışkanın birim kütle başına enerjisi;

$$\theta = e + pv \quad (3.6a)$$

$$\theta = u + pv + \frac{v^2}{2} + gz \quad (3.6b)$$

$$h = u + pv \quad (3.6c)$$

$$\theta = h + \frac{v^2}{2} + gz \quad (3.6d)$$

3.6. Termodinamiğin İkinci Yasası

Termodinamiğin birinci yasası enerjinin niceliği üzerinde durur ve enerjinin bir biçimden diğerine dönüşümü sırasındaki değişimleri sayısal değerlerle ifade eder. Termodinamiğin ikinci yasası ise enerjinin niteliğini ve bir hal değişimi sırasında bu niteliğin nasıl azaldığını hesaplamak için somut yöntemler ortaya koyar. Termodinamiğin ikinci yasası ile entropi denilen bu özelliklerle karşılaşılır. Entropi, moleküler yapıların düzensizliğini ifade eden bir büyüklüktür. Sistemin düzensizliği arttıkça, moleküllerin yerleri belirsiz bir hal alacak ve entropi artış gösterecektir.

Entropi sistemin bir özeliğidir.

$$\oint \left(\frac{\delta Q}{T} \right)_{içten, tr} = 0 \quad (3.7)$$

Kapalı sistemdeki hal değişim esnasında entropi değişimi,

$$\Delta S = S_2 - S_1 = \int_1^2 \left(\frac{\delta Q}{T} \right)_{içten, tr} \quad (3.8)$$

Sistem çevreyle ısı alışverişinde iken, sabit sıcaklıkta, sistemdeki içten tersinir bir hal değişimi esnasında entropi değişimi;

$$\Delta S = \frac{Q}{T_0} \quad (3.9)$$

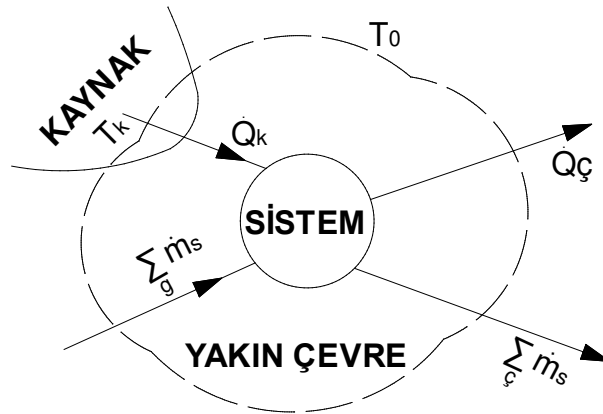
Tersinmez hal değişimi esnasında kapalı bir sistemin entropi değişimi, bu hal değişimi için hesaplanan $\frac{\delta Q}{T}$ integralinden daha büyüktür. Eğer hal değişimi tersinir olur ise bu iki değerde birbiri ile eşit demektir. Eşitlik (3.10)'daki büyüklük değeri entropi üretiminden (tersinmezlikten) kaynaklanmaktadır.

$$dS \geq \frac{\delta Q}{T} \quad (3.10)$$

Entropi artışı ilkesi aşağıdaki gibidir.

$$S_{\text{üretim}} = \Delta S_{\text{toplam}} = \begin{cases} > 0 \text{ tersinir hal değişimi} \\ = 0 \text{ tersinir hal değişimi} \\ < 0 \text{ gerçekleşmesi olanaksız} \end{cases} \quad (3.11)$$

3.7. Sistemin Entropi Dengesi



Şekil 3.7.1 Sistemin Entropi Dengesi

Bir sistemin toplam entropi üretiminin belirlenmesi için incelenecek Şekil 3.7.1'deki sistem sınırlarının olduğu sistem+yakın çevresinde seçilmesi gerekir. Sistemle çevresi arasında gerçekleşen işin entropisi sıfırdır.

Kontrol hacim (açık sistem) için entropi dengesi (sistem+yakın çevresi),

$$\sum_g \dot{S} - \sum_c \dot{S} + \dot{S}_{\text{üretim}} = \left(\frac{dS}{dt} \right)_{KH} \quad (3.12)$$

T_k ve T_0 sıcaklıkları sabit olduğundan;

$$\sum_g \dot{S} = \frac{\dot{Q}_k}{T_k} + \sum_g \dot{m} s \quad (3.13a)$$

$$\sum_c \dot{S} = \frac{\dot{Q}_c}{T_0} + \sum_c \dot{m} s \quad (3.13b)$$

$$\frac{\dot{Q}_k}{T_k} + \sum_g \dot{m} s - \frac{\dot{Q}_c}{T_0} - \sum_c \dot{m} s + \dot{S}_{\text{üretim}} = \left(\frac{dS}{dt} \right)_{KH} \quad (3.13c)$$

3.8. Sürekli Açık Sistemlerde Entropi Dengesi

Sürekli açık sistemler için $\left(\frac{dS}{dt} \right)_{KH} = 0$ olduğundan, entropi dengesi genel olarak aşağıdaki gibi sonuçlanır.

$$\frac{\dot{Q}_k}{T_k} + \sum_g \dot{m} s - \frac{\dot{Q}_c}{T_0} - \sum_c \dot{m} s + \dot{S}_{\text{üretim}} = 0 \quad (3.14)$$

$\dot{S}_{\text{üretim}}$, bir sistemin hal değişimleri esnasında oluşan tersinmezliklerden kaynaklanır ve tersinmezlikle ilişkisi aşağıdaki gibidir. (Yunus A. Çengel, Mühendislik Yaklaşımıyla Termodinamik, 1989)

$$\dot{I} = T_0 \dot{S}_{\text{üretim}} \quad (3.15)$$

Sistemlerin tersinmezliği, entropi dengesi yoluyla $\dot{S}_{\text{üretim}}$ 'den veya ekserji dengesi yoluyla direkt olarak hesaplanır.

BÖLÜM 4

EKSERJİ ANALİZİ

Ekserji kavramı, belirli bir ortama ilişkin iş potansiyelinin evrensel bir ölçüsüdür. Ekserji dengesi ile bir sistemde ya da tesiste ne kadar ekserji yok oluşunun (tersinmezliğin) belirlenmesi hesaplanabilir.

Ekserji, bir sistemin enerjisinin, ölü hal olarak tanımlanan referans ortam (T_0 , P_0 şartlarındaki çevre) şartlarına göre sahip olduğu maksimum iş potansiyeline denir. Bu nedenle hem sistemin hem de çevrenin bir özelliklerini içeren karma bir özelliktir. Ekserji dengesi bir enerji dengesine benzer ama temel fark, enerji dengesi enerjinin korunumu yasasının bir ifadesidir, ekserji dengesi ise ekserji yok oluşunun belirlenmesi ifadesidir. Bir sistemin ekserji değişimi, negatif olabilir ama ekserji yok oluşu negatif olamaz. Ekserji yok olabilir ve korunmaz. Yok olan ekserji, kaybedilen bir iş potansiyelidir (kayıp enerjilerin işe karşılık gelen değeri).

$$E_{\text{yok olan}} \begin{cases} > 0 \text{ tersinmez hal değişimi} \\ = 0 \text{ tersinir hal değişimi} \\ < 0 \text{ olanaksız hal değişimi} \end{cases}$$

Ölü Hal; çevresiyle termodinamik dengede olan bir sistem ölü haldedir. Ölü haldeyken iş potansiyeli sıfırdır, sistem çevreyle ısı ve mekanik dengededir, sistemin çevresine göre kinetik ve potansiyel enerjileri sıfırdır, sistem çevresiyle kimyasal reaksiyona girmez. Ölü halde iken standart sıcaklık 25°C ve basınç 1 atmosfer olarak kabul edilir.

Tersinir iş; bir sistemin belirli bir başlangıç hali ve son hali arasındaki bir hal değişimi geçirdiğinde, üretilebilen yararlı işin maksimum miktarıdır.

Tersinmezlik; kaybedilen iş potansiyeli veya yok olan ekserjidir. İş üreten sistemler için tersinir iş ile gerçek iş arasındaki farktır.

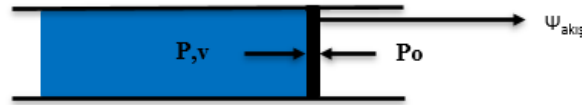
4.1. Duran Bir Maddenin Ekserjisi

Duran bir maddenin birim kütle başına ekserjisi;

$$\phi = (u - u_0) + P_0(v - v_0) - T_0(s - s_0) + \frac{v^2}{2} + gz \quad (4.1)$$

4.2. Akan Bir Maddenin Ekserjisi

Akan bir maddenin ekserji dengesi;



Şekil 4.2.1 Akan Bir Maddenin Ekserjisi

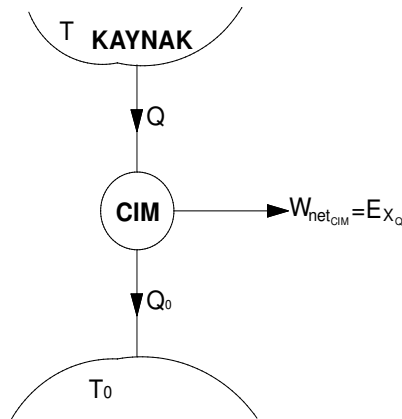
$$\Psi = \phi + \Psi_{aktis} \quad (4.2a)$$

$$\Psi_{aktis} = (P - P_0)\vartheta \quad (4.2b)$$

$$\Psi = (h - h_0) - T_0(\vartheta - \vartheta_0) + \frac{v^2}{2} + gz \quad (4.2c)$$

4.3. Isı Enerjisinin Ekserjisi

T sıcaklığındaki bir kaynaktan çekilebilecek Q ısısının ekserji değeri, T ve T₀ arasında düşünülecek bir Carnot ısı makinesinin vereceği net işin değerine eşittir. Çünkü E_{x_{wmek}} = W_{wmek} dir. Şekil 4.3.1 de Carnot ısı makinesidir.



Şekil 4.3.1 Carnot Isı Makinesi

$$\eta_{th} = \frac{W_{net}}{Q} \quad (4.3a)$$

$$Q - Q_0 = W_{net} \quad (4.3b)$$

$$\eta_{th} = 1 - \frac{Q_0}{Q} \quad (4.3c)$$

$$\left(\frac{Q_0}{Q}\right)_{ter} = \frac{T_0}{T} \quad (4.3d)$$

Carnot makinasındaki bütün hal değişimleri tersinir olduğundan;

$$\eta_{th_{CIM}} = 1 - \left(\frac{Q_0}{Q}\right)_{ters} \quad (4.3e)$$

$$\eta_{th_{CIM}} = 1 - \frac{T_0}{T} = \frac{W_{net_{tr}} = E_{xQ}}{Q} \quad (4.3f)$$

$$E_{xQ} = \left(1 - \frac{T_0}{T}\right) Q \quad (4.3g)$$

4.4. Ekserji Bileşenleri

Nükleer etkileri, manyetik, elektrik ve yüzey gerilimi ihmal edildiğinde, ekserji bileşenleri kinetik, potansiyel, fiziksel ve kimyasal ekserjiden oluşur.

$$\dot{E} = \dot{E}_{ke} + \dot{E}_{pe} + \dot{E}_{ph} + \dot{E}_o \quad (4.4)$$

4.5. Kinetik ve Potansiyel Ekserji

Kinetik ve potansiyel enerjilerin ekserjileri tamamen işe dönüşerek kendilerine aittir.

$$\varepsilon_{ke} = \frac{v^2}{2} \quad (4.5a)$$

$$\varepsilon_{pe} = gz \quad (4.5b)$$

4.6. Fiziksel ve Kimyasal Ekserji

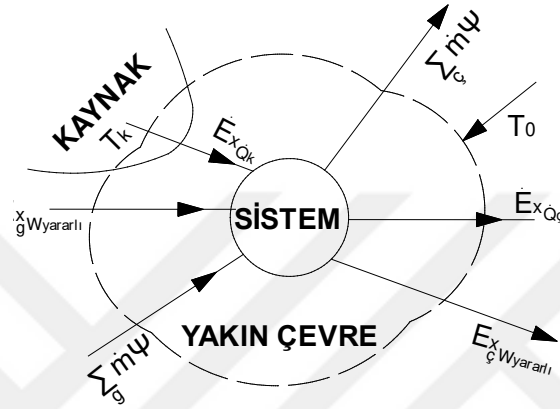
Fiziksel Ekserji, çevre ile termal etkileşimde olan fiziksel süreçlerde, çevre ile termodinamik dengede olan bir sistemin, bilinen bir P_0 basıncına ve T_0 sıcaklığına getirilirken elde edilebilecek maksimum iştir.

$$\varepsilon_{fz} = (h - h_0) - T_0(s - s_0) \quad (4.6a)$$

Kimyasal Ekserji, maddenin ısı transferi içeren işlemlerde çevresel durumdan ölü hale getirilirken ve sadece çevre ile madde değişiminde elde edilebilecek maksimum iştir. Maddenin durumu çevrenin durumuna karşılık geldiğinde maddenin akışının ekserjisi kimyasal ekserjidir.

$$\tilde{\varepsilon}_{km} = \sum_i x_i \tilde{\varepsilon}_{0,i} + \tilde{R}T_0 \sum_i x_i \ln x_i \quad (4.7)$$

4.7. Ekserji Dengesi



Şekil 4.7.1 Sistemin Ekserji Dengesi

Ekserji dengesi uygulanırken, sistemin toplam tersinmezliğinin bulunması durumlarında uygulanacak sistem sınırı, sistem+yakın çevresi dikkate alınarak seçilir.

Şekil 4.7.1'deki sistem sınırları ekserji dengesi gibi alınarak aşağıdaki eşitliğe göre bulunur.

$$\sum_g \dot{E}_x - \sum_ç \dot{E}_x - \dot{I} = \left(\frac{dE_x}{dt} \right)_{sis} \quad (4.8)$$

$$\left(1 - \frac{T_0}{T_k} \right) \dot{Q}_k + \sum_g \dot{m}\psi + E_{x_{g_{wy}}} - \sum_ç \dot{m}\psi + E_{x_{ç_{wy}}} - \dot{I} = \left(\frac{dE_x}{dt} \right)_{sis} \quad (4.9)$$

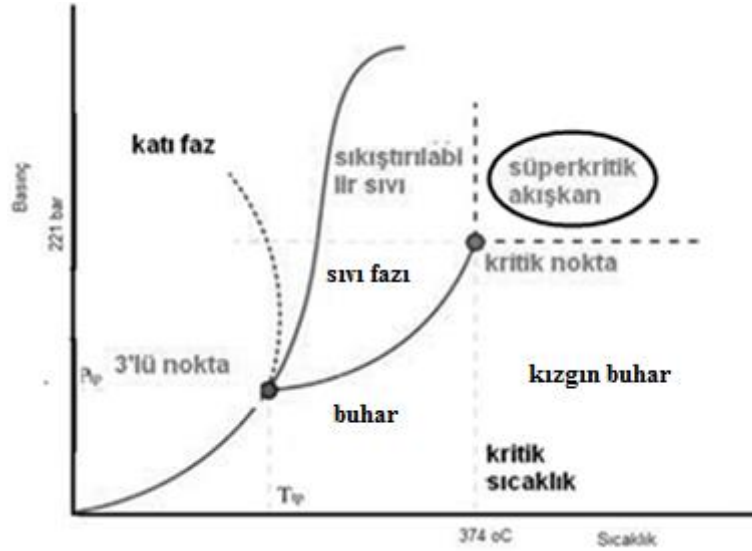
Eşitlikteki W_y yararlı işi ve I ise tersinmezliği (yok olan ekserji) göstermektedir.

BÖLÜM 5

SÜPERKRİTİK VE TEK GEÇİŞLİ KAZAN TEKNOLOJİSİ

5.1. Süperkritik Kazan

Süper kritik kazanlar 1950 yıllarının sonunda ve 1960 yıllarının başında ilk olarak Amerika da üretilmiş ve 22.11 MPa kritik basıncın üzerinde çalışabilecek şekilde tasarlanmıştır. Avrupa ve Asya da 1990lı yıllardan beri süperkritik kazanları kullanmaya başlamış ve halen yaygın olarak kullanılmaktadır. Süperkritik kazanlar, sub-kritik kazanlara göre ilk maliyeti yüksek olmasına rağmen yüksek verimlilik, az yakıt tüketimi ve az emisyon değerleri göz önüne alındığında daha avantajlı olmaktadır. 1950li yıllardaki tasarımlardan sonra 1990li yıllarda kritik basınç değeri 31 MPa kadar yükselmiş, fakat sıcaklık değeri 537 °C olarak değiştirilmemiştir. Bu şekilde verim %40 civarlarındadır. 1990 lı yılların sonunda sıcaklık değeri de 621 °C lere çıkarılmış ve verim %44 lere kadar yükselmiştir. Bu yapılan revizyonlarla sadece verimde artış olmamış aynı zamanda yakıt daha az tüketilmiş ve emisyon değerleri azalmıştır.



Şekil 5.1.1 Süperkritik Bölge

Kritik nokta, sıvı ve buhar halindeki su arasında net bir ayrım bulunmayan termodinamik bir durumdur. Su, bu duruma 22.1 MPa ve 374 °C sıcaklıkta ulaşır. Su, kritik nokta ve üzerinde hemen buharlaşacak ve kızgın su buharı olacaktır. Şekil 5.1.1 de görüleceği gibi kritik nokta sıcaklığına ulaşıldıktan sonra basınç değeri ne kadar artarsa su, sıvı hale geçmemektedir. Süper kritik nokta 24.2 MPa ve 566 °C'dir. Bu termodinamik prensibe göre çalışan santrallere süper kritik teknoloji denir.

5.2. Süperkritik Teknoloji Avantajları

Yüksek santral verimliliği sağlar.

Kazan yapısından kaynaklı santral operasyonlarında esneklik sağlayabilir.

Basıncın değiştirilmesi ile yük değişimleri kontrol altına alınabilir. Genel olarak termik santrallerde yük kontrolü türbin girişindeki kısma vanası ile yapılır fakat süperkritik santrallerde buhar basıncı ile ayarlama yapılabilmektedir.

Küçük ısı değişimlerinde hızlı tepki alınır.

Ana buhar sıcaklıkları yakıt-su oranı ile ayarlanabilir ve kontrol özelliği kolaydır.

5.3. Tek Geçişli Kazan

Tek geçişli kazanda dram yoktur. Besleme suyu, besleme suyu pompası ile ekonomizere girer ve daha sonra su duvarı ve kızdırıcının ısınma yüzeyi yoluyla aşırı ısıtılmış buhara dönüştürülür. Her parçanın akış direnci besleme suyu pompası ile aşılar. Ayrıca tek geçişli kazanın başka bir özelliğide ekonomizer, kaynama bölümü ve kızdırıcı arasında sabit bir bölüm olmamasıdır.

5.4. Tek Geçişli Kazanın Özellikleri

Dram yoktur. Hızlı bir şekilde çalıştırılıp, durdurulabilir. Doğal sirkülasyonlu kazanlara göre yük değişim hızı daha iyidir.

Kritik, süperkritik ve ultrakritik basınç kazanları için uygundur.

Kazan gövdesinin malzeme yoğunluğu daha düşüktür. 300 MW doğal sirkülasyonlu bir kazanın metal ağırlığı yaklaşık 5500~7200 ton iken, aynı güçteki tek geçişli kazanın malzeme ağırlığı yaklaşık olarak 4500~5680 tondur. Bu da malzeme tasarrufu sağlayacak ve ilk yatırım maliyetini düşürecektir.

Su duvarından geçen tüm akış direnci besleme suyu pompası ile aşılr, bu direnç yaklaşık %25~30 arasındadır. Bu yüzden besleme suyu pompasının basma yüksekliğı yüksektir, bu da ilk yatırım maliyetini ve işletme sırasındaki enerji tüketimini artırır.

Sistem düşük yükte su buhar ayırıcı ile su ve buharı ayırıyor ve su seviyesi belirli bir süre koruyabilir. Yüksek yükte su buhar ayırıcı normal çalışma ortamındaki gibi çalışmaktadır.

Yüksek hıza ulaşmak için su duvarlarının boru çapları küçük olmalıdır. Bu şekilde ısı transfer kabiliyeti artırılabilir, metal tasarrufu sağlanabilir ve kazanın ağırlığı azaltılabilir. Aynı zamanda kazanın enerji kayıpları da azaltılabilir.

Su duvarlarının spiral tip olması değişken basınç işlemlerinin olmasını sağlar.

Kontrol sistemi karmaşıktır ve maliyeti yüksektir.

Besleme suyu ve yoğuşma suyu kalitesinin yüksek olması için %100 demineralize edilmelidir.

Başlatma ve durdurma hızı kızdırıcı çıkışındaki ısıl gerilim ile sınırlandırılmıştır. Ancak ana sınırlandırma faktörü türbin ısıl gerilimi ve genleşme farkıdır.

Tek geçişli süperkritik basınçlı kazanın su duvar tüplerinin çalışma sıcaklığı ısı emme kapasitesi ile değişir.



BÖLÜM 6

SANTRAL VE EKİPMANLARIN TANITIMI

6.1. Eren Enerji Elektrik Üretim A.Ş.

Eren enerji elektrik santrali, 1 adet 160 MW akışkan yatak teknolojisi, 2x615 MWe ve 2x700 MWe süper kritik pulverize kömürlü ünitelere sahip toplam 2790 MWe kurulu güce sahip bir santraldir.

Santralin günlük kömür tüketimi yaklaşık 23000 ton'dur. Kömür ihtiyacı Eren Limanına gelen gemiler ile karşılanmaktadır. Eren Limanında 1 adet 170000 ton gemilerin yanaşabileceği 1500 ton/saat, 2 adet 70000 ton gemilerin yanaşabileceği 750 ton/saat ve 1000 ton/saat kapasiteli toplam 3 rıhtım mevcuttur. İthal kömürün limana gelmesi ile 720000 ton ve 680000 ton kapasiteli ana stok sahalarına tahliye yapılır. Ana stok sahasında kömürün gümrük işlemleri bittikten sonra bu kömürler ünitelerin ihtiyacına göre 90000 ton kapasiteli Zetes 2 yardımcı stok sahasına ve 100000 ton kapasiteli Zetes 3 yardımcı stok sahasına alınarak ünitelerin kullanımı için stoklanır. Santrallerin servis suyu ve demineralize su için su arıtma tesisi mevcuttur ve burada reverse osmos teknolojisi ile deniz suyundan yumuşak su üretilir.

Kazana beslenen kömür ve besleme suyu ile oluşan kızgın buhar yüksek basınç türbinine gönderilir. Yüksek basınç türbinini dönüşünden yeniden kazanda ısıtılan kızdırılmış buhar orta basınç türbinine gönderilir ve orta basınç türbininden alçak basınç türbinine gider. Alçak basınç türbininden çıkan buhar kondenserde yoğunlaştırılır ve alçak basınç ısıtıcılarında ısıtılarak degazöre gönderilir. Degazörde oksijen oranı ayarlandıktan sonra yüksek basınç ısıtıcılarında ısıtılan su tekrar kazana gönderilerek çevrim tamamlanır. Kazanda üretilen buhar enerjisi türbinde mekanik enerjiye dönüşür ve jeneratörde elektrik enerjisine çevrilir.

6.2. Ekipmanların Tanıtımı

Kazan

Kazan, içinde meydana gelen yanma sonucu yakıtın kimyasal enerjisini ısı enerjisine dönüştüren mekanik bir ekipmandır. Kazanda belirli sıcaklık ve basınçta ısıtılan sudan oluşan buhar, mekanik enerjiye dönüştürülmek üzere türbine ve türbinde oluşan mekanik enerjiyi elektrik enerjisine dönüştürmek için de jeneratöre gönderilir.

Santralde kullanılan kazan yapısı; süper kritik, tek geçişli, pulverize kömür yakıtlı, benson tip kazandır.

Kazan genel olarak, ekonomizer, su duvarları, süper kızdırıcı (superheater), tekrar kızdırıcı (reheater) ve akış geçiş ayırıcı (su ve buhar ayırıcı) ekipmanlarından oluşur. Burada ön hava ısıtıcılarında ısıtılan havayla kömürün yanması sonucu açığa çıkan enerji ekonomizerden giren suyun sistem içerisinde buharlaşmasını sağlamaktadır.

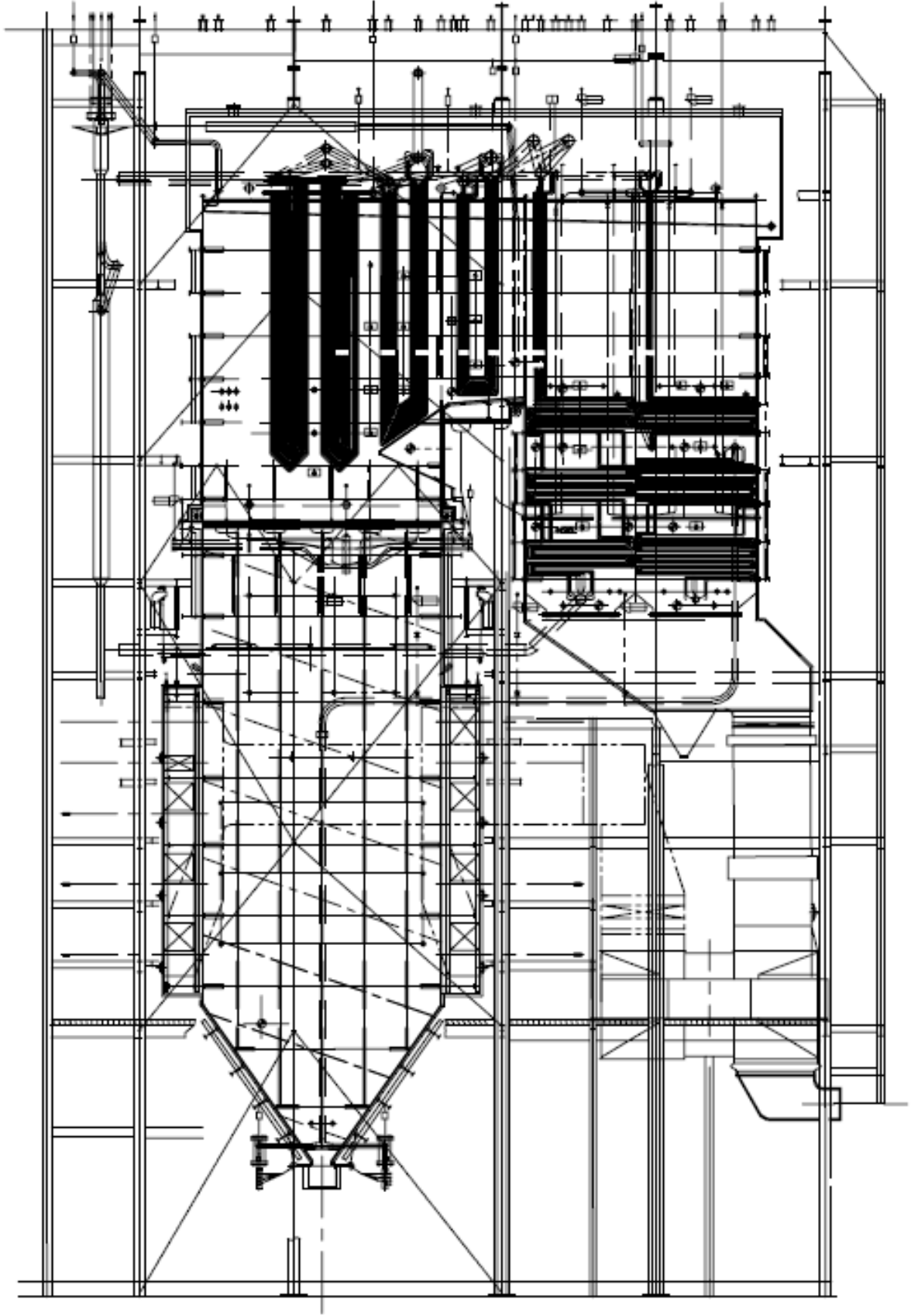
Santralin kazan dizayn değerleri Çizelge 6.2.1 de, kazanda yakılan kömürün analiz değerleri Çizelge 6.2.2 de ve kazanın şematik görünümü Şekil 6.2.1 ve Şekil 6.2.2 de verilmiştir.

Çizelge 6.2.1 Kazan Dizayn Değerleri

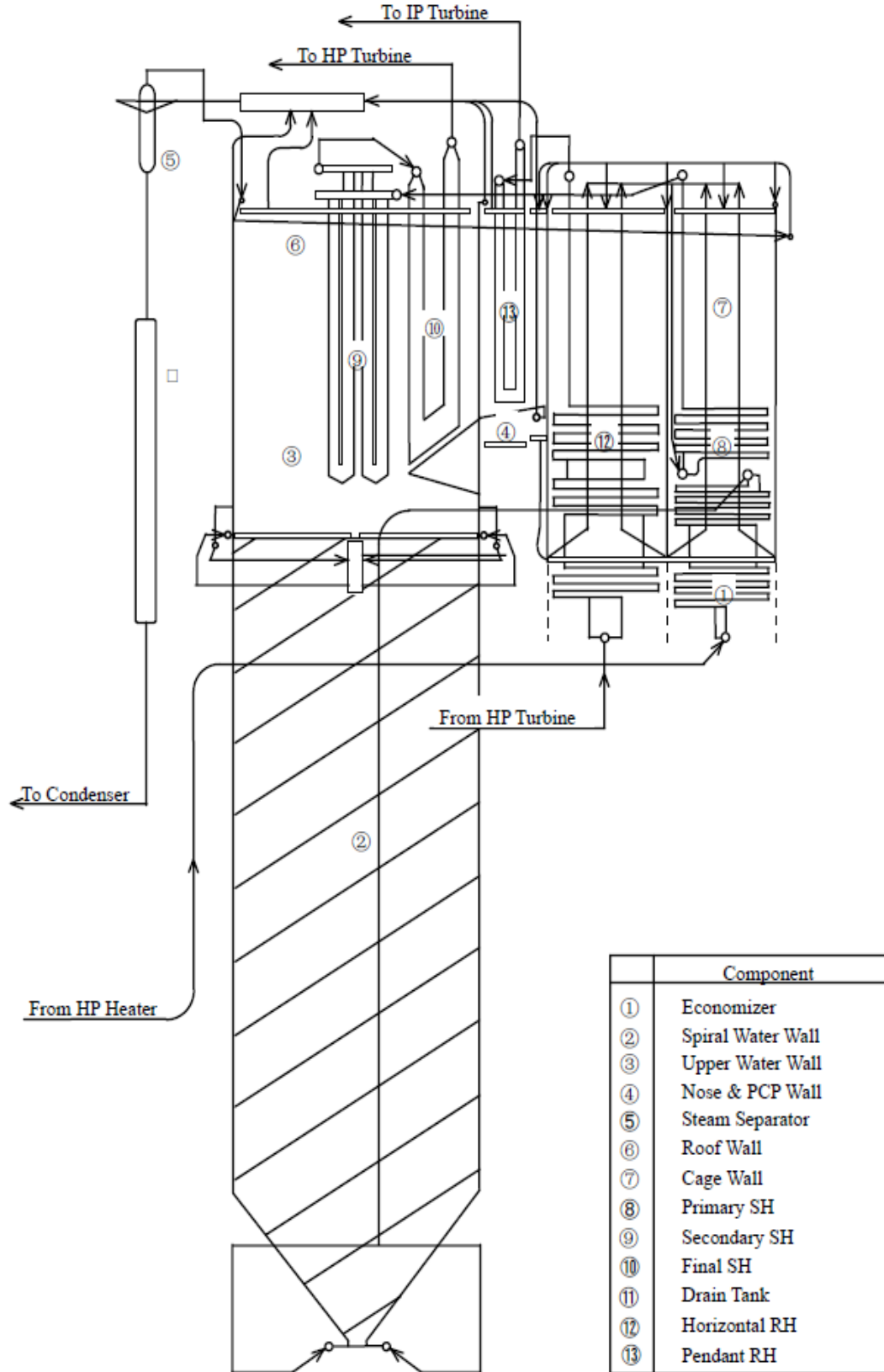
Adı	Birim	Kazan Maksimum Değerlendirme	Kazanın Nominal Değerleri
Ana Buhar Debisi	t/h	1827	1685.5
SH Buhar Basıncı	MPa	25.4	25.3
SH Buhar Sıcaklığı	°C	571	571
Tekrar Kızdırılmış Buhar Debisi	t/h	1515	1404.7
RH Buhar Giriş Basıncı	MPa	4.22	4.017
RH Buhar Çıkış Basıncı	MPa	4.03	3.84
RH Buhar Giriş Sıcaklığı	°C	312	305
RH Buhar Çıkış Sıcaklığı	°C	569	569
Ekonomizer Girişi Besi Suyu Sıcaklığı	°C	281	281

Çizelge 6.2.2 Kömür Özellikleri

DESCRIPTION	SYMBOL	Unit	Design coal	RANGE
Proximate Analysis				
Total moisture(As received)	Mar	%	10.00	7.0---12.0
Ash(As received)	Aar	%	13.72	8.0---17.5
Volatile matter (As received)	Var	%	30	15.0---35.0
Air-dried moisture	Mad	%		
Gross calorific value(As received)	GCV	kcal/kg	6411	6000.0---7000.0
Net calorific value	NCV	kcal/kg	6160	5700.0---6790.0
Ultimate Analysis				
Carbon(As received)	Car	%	66.01	65.0---70.0
Hydrogen(As received)	Har	%	3.66	3.5---4.6
Oxygen(As received)	Oar	%	4.16	2.9---7.0
Nitrogen(As received)	Nar	%	1.50	1.0---1.7
Sulfur(As received)	Sar	%	0.90	0.6---1.5
Grindability index	HGI	-		
Ash Analysis				
	SiO ₂	%	55.0	38---74
	Al ₂ O ₃	%	25.0	17---38
	Fe ₂ O ₃	%	6.5	2.5---13
	CaO	%	5.0	0.3---11
	MgO	%	1.5	0.2---3.4
	Na ₂ O	%	0.3	0.05---1.3
	K ₂ O	%	0.6	0.4---2.5
	TiO ₂	%	1.6	0.4---2.2
	P ₂ O ₅	%	1.5	0.01---2.3
	SO ₃	%	3.0	0.08---10.0
Deformation temperature	DT	°C		1200-1400
Softening temperature	ST	°C		1300-1500
Fusion temperature	FT	°C		1350- 1500



Şekil 6.2.1 Kazanın Şematik Çizimi



Şekil 6.2.2 Buhar ve Suyun Akış Diyagramı

Superheater (Kızdırıcılar)

Kazan içinde belirli noktalara yerleştirilen bu paketler, buharın istenilen sıcaklığa yükseltilmesini sağlayan ve ısı verimi artıran en önemli kazan ekipmanlarından biridir. Superheater (kızdırıcılar), santralim verimin artırmak, türbin son aşamasındaki nem içeriğini azaltarak türbin iç verimliliğini artırmak, daha az buhar tüketilmesi ve kazan buhar borularındaki yoğunlaşma kaybının azaltılması için kullanılır.

Reheater (Tekrar Kızdırıcılar)

Yüksek basınç türbininden çıkan buharın tekrar kızdıran süper ısıtıcıdır. Tekrar ısıtılan buhar alçak basınç türbinine gönderilir. Superheater ile benzerdir. Superheater kızdırıcılara göre sıcaklık çok az ve basınç %20-25 daha düşüktür. Reheater (tekrar kızdırıcılar) santralin verimliliğini artırmak için kullanılır.

Ekonomizer

Düşük sıcaklık kızdırıcısının altında bulunur. Besleme suyu ısıtıcısını terk eden suyun, sıcaklığını yükselten ısı değiştiricidir. Su ve baca gazları arasındaki bu sıcaklık farkı ile besleme suyu sıcaklığı artırılır. Ekonomizerler, kazan besleme suyunu ön ısıtmak için kullanılırlar. Amaç türbinin değişik kademelerinden alınan farklı sıcaklık ve buhar enerjisinin büyük bölümünden yararlanmaktır. Bu nedenle yakıt tüketiminden tasarruf elde edilir ve atık ısıyı kullandığımız için ekonomik bir cihazdır.

Su-Buhar Seperatörü

Su ve buharın ayrılmasını sağlayan seperatör sayesinde doymuş buhar kızdırıcılara gönderilir. Bu sayede kızdırıcı paketler korunur. Ayrılan su molekülleride su depolama tankına dökülür ve seperatördeki suyun kalitesi uygun ise sisteme dahil edilir.

Desuperheaters

Ana ve ara buhar sıcaklıklarını azaltma ya da kontrol etmek için kullanılan ekipmanlardır. Aşırı ısıtılmış buharın ısınıp düşürmek için besleme suyu pompasından buhar akışına su püskürtülerek sıcaklık düşürülür. Spreyleme yapılan su türbin kanatlarına zarar vermeyecek saflıkta olmalıdır.

Kazan Hava Ön Isıtıcısı

Yanma havasının ısıtılmasını sağlayan önemli bir yardımcı ekipmandır. Hava ön ısıtıcılar baca gazından çıkan atık ısıyı kullanarak havanın ön ısıtılmasını sağlar. Baca gazı atık ısısı kullanıldığı için kazan verimini artırır, daha kararlı bir yanma sağlar ve kömürün kolay toz haline getirilmesi ve yanma için verimli kurulmasına yardımcı olur.

Türbin

Kazanda elde edilen yüksek basınçlı kızgın buharın türbin kanatlarına çarparak döndürmesi ve bu döndürme ile mekanik enerji üretilmesini sağlayan ekipmanlardır. Türbinimizin karakteristik özelliği, süperkritik basınçlı, single reheat, tandem tahrikli, HP ve IP kombineli, üç kapaklı ve dört egzost çıkışlıdır. Ara buhar sistemlerinden alınan buhar üç adet yüksek basınç ısıtıcısı, dört adet alçak basınç ısıtıcısı ve 1 adet degazör+kazan besleme suyu pompası türbini ve yardımcı sistemi (gerektiğinde) beslemektedir. Yüksek basınç, orta basınç ve alçak basınç türbini boyunca kullanılmış buhar alınarak kazan besleme suyu hattına yerleştirilen ısıtıcılarla buharın enerjisi suya aktarılır. Böylelikle kazan ve türbinin verimi arttırılmış olur. Türbin içinde yoğunlaşmayı önlemek ve yoğunlaşan suyu atmak için drenaj valfleri bulunmaktadır. Yüksek basınç türbini, buhar giriş basıncı 24.2 MPa ve buhar giriş sıcaklığı 566 °C'dir. Orta basınç türbini, yüksek basınç türbininden çıkan buharın tekrar kazanda kızdırılarak giriş yapması ile sağlanır, buhar giriş basıncı 3.678 MPa ve 566 °C dir. Yüksek basınç türbini ve orta basınç türbini aynı rotoru kullanır. Alçak Basınç Türbini, Orta basınç türbininden çıkan buhar bu türbine 930 kPa basınçta ve 365 °C de giriş yapar. Bir vakum altında çalışır.

Kondenser

Buhar türbininden çıkan buharının soğutma suyu aracılığı ile yoğunlaştırıldığı cihazlardır. Soğutma suyu, yakın civarda bulunan denizden sağlanmaktadır. Yoğunlaşan buhar, yoğunlaştırıcının altında toplanır, su-buhar ve su-su döngüsünü tekrar başlatmak için besleme suyu pompaları kullanılarak kazana gönderilir. Kondenser 20°C deniz suyu sıcaklığına ve %90 kirlilik faktörüne göre dizayn edilmiştir. Kondens suyu 35°C civarındadır. Buhar borularının alt kısmında biriken kondens oluşur oluşmaz tahliye edilmelidir. Tahliye edilmediğinde takdirde buhar borularında istenmeyen su koçu veya koç darbesi diye adlandırılır. Koç darbesi, yüksek hızla hareket eden buharın kondensin üzerinden geçerken dalgalar oluşturmasıyla başlar. Kondensin çoğalması ve yüksek hızlı buharın sürüklenmesi ile önüne çıkan kondensi de kaldırarak büyüyen tehlikeli bir su kütlesi oluşur. Oluşan bu kütle yönünü değiştiren ve daraltan

herhangi bir engele büyük hızla çarparak koç darbesini yaratır. Bu oluştuğunda birçok ekipman hasar görebilir. Bu nedenle kondens oluşur oluşmaz tahliye edilmelidir.

Kondenser ve türbinin verimliliğini artırmak için kondenser içinde bir vakum oluşturulur. Kondenser vakum sistemi; ekzost hareketini düşürür, termik verimi arttırır, ısı transferini kolaylaştırır ve türbinden kondensere rahat buhar akışı sağlar.

Çizelge 6.2.3 Kondenserin Dizayn Değerleri

Condenser A effective surface(m ²):	15600m ²
Condenser B effective surface(m ²):	15600m ²
3.4 Design inlet temperature of circulating water (°C):	20°C
3.5 Circulating water flow (m ³ /h):	60840.5t/h
3.6 Mean flow rate of circulating water inside tubes (m/s):	2.09 m/s
3.7 Cleanliness factor:	0.9
3.8 Temperature-rise of circulating water (°C):	10.13°C
3.9 Hydraulic loss (KPa):	≤70 kPa
3.10 Average back pressure of condenser	4.274/5.604kPa(a).
3.11 Design pressure in tube side (Mpa):	0.45MPa(g)
3.12 Design pressure in shell side (Mpa):	range from full vacuum to 0.1MPa(g)

Kondensat Su Sistemi

Kondenser ile degazör arasında yer alarak, degazöre condensate suyunu beslemektir. Kondensat sisteminin amacı, türbinde iş gören buharın yoğunlaşarak hotwell de birikmesini sağlamak ve bu yoğunlaşan suyu tekrar besleme suyuna döndürmektir. Hotwell, yoğunlaşan suya depoluk eden kısımdır.

Kondensat Pompası (CEP)

Kondenserden alınan suyu degazöre basmak için kullanılır.

Alçak Basınç Isıtıcıları

Alçak Basınç türbinin çeşitli kademelerinden gelen buhar ile condensate suyunun ısıtılması sağlanır. Her bir ünite 4 adet alçak basınç ısıtıcısı vardır. Alçak basınç ısıtıcıların işletme basıncı yüksek basınç ısıtıcılarına göre daha düşük olduğundan yüksek basınç ısıtıcılarına göre yapıları daha basittir.

Kazan Besleme Suyu Sistemi

Degazör ile ekonomizer arasındaki su hattını kapsayan kısımdır.

Kazan besi suyu belirli özellikler içermektedir. İletkenlik izin verilen belirli limitler içerisinde olmalıdır. Sertlik sıfır olmalıdır, aksi takdirde boru iç yüzeylerinde kısırlaşma meydana gelecektir. Suyun ph'ı 9.2-9.6 arasında olmalıdır, bu koşulları sağlamayan su ve buhar ile temas eden bütün boruların iç yüzeylerinde deformasyonlar meydana gelerek sistemin ömrünü kısaltacaktır.

Degazör

Kazan besleme suyu içerisindeki oksijen gibi zararlı çözülmüş gazları uzaklaştıran bir ekipmandır. Kazan besleme sularındaki çözülmüş oksijen korozyonlara neden olduğundan bu gazların sistemden uzaklaştırılması için önemli bir cihazdır. Ayrıca kazan besleme suyunun ısıtılması da sağlanır. Degazör içerisinde ısı alışverişini kolaylaştıran ve suyun pulverize bir şekilde parçalanmasını sağlayan su seperatörleri bulunmaktadır. Degazör, kazan besleme suyu içerisindeki çözülmüş oksijen oranını düşürüp, karbondioksit korozyonunu önlemek için ph değerini arttırmaktadır. Kazan besleme suyu içerisindeki oksijenin 7 µg/l den az olmalıdır. Her bir ünite 1 adet degazör bulunmaktadır.

Kazan Besleme Pompaları

Kazan besleme pompaları besleme suyunu degazörden ekonomizerin girişine kadar götürmekte ve ayrıca yüksek basınçlı suyu reheaterlar ve süperheaterlara sağlamaktır.

Yüksek Basınç Isıtıcıları

Yüksek basınç türbinin çeşitli kademelerinden gelen buhar ile kazan besleme suyunun ısıtılması sağlanır. Her bir ünite 3 adet yüksek basınç ısıtıcısı bulunmaktadır.

Kazan Besleme Pompası Türbini (BFPT)

Türbin ile tahrik edilerek kazana su beslemesi yapmaktadır. Her bir ünite 2 adet vardır.

Hava Sistemi

Kazanda yanmanın olabilmesi için gerekli olan havanın ihtiyaca göre ayarlanmasının sağlanmasıdır. FD Fan (Force Draft Fan), kazana hava girişini sağlamaktır. ID Fan (Induced Draft Fan), elektrostatik filtreden çıkan baca gazının absorbere gönderilmesinde

kullanılmaktadır. PA Fan (Primary Air Fan), kömürün kurutulması ve kömürü yanma odasına taşınmasında kullanılmaktadır. Kömürün yanmaması için sıcak ve soğuk havalar istenilen sıcaklıkta karıştırılarak kömürün yanmaması sağlanmaktadır. Ayrıca birincil hava fanları, yakıt parçacıklarının ayrılmasına yardımcı olur, böylece her bir yakıt parçacığı hava ile doğrudan temas edebilir ve yakıt parçacıklarının verimli bir şekilde yanmasına neden olabilir. İkincil hava fanı, reaksiyona girmemiş olan birincil havayı telafi etmek ve yakıtın tam yanmasını sağlar. Farklı aşamalarda hava sağlanması verimliliği artırır. Sızdırmazlık fanı, değirmenlerin içlerinde pulverize hale getirilen kömürün sızdırmazlığında kullanılmaktadır.

Baca Gazı Sistemi

Külü bertaraf etmek için bacadan gazı atmaktır. Baca gazı sistemi için seçici katalitik reaktör metodu uygulanmaktadır. Bu sistemde amonyak ve diğer uygun indirgenler katalizörün önünde enjekte edilmekte ve NO_x su ve nitrojene dönüşmektedir. Seçici katalitik reaktörü genellikle ekonomizer ve ön hava ısıtıcısı arasına yerleştirilmekte ve bunun sebebi baca gazı tepkimesi için sıcaklığın burada daha uygun olmasıdır. Seçici katalitik reaktörü çıkışında NO_x konsantrasyonu 200 mg/Nm^3 den fazla olmamalıdır.

Baca Gazı Kükürt Giderme Sistemi

Absorbera giriş yapan baca gazına kireç sütü (su+kireç) püskürtülüp SO_x çökeltmesi sağlanacaktır, böylelikle baca gazı içerisinde doğaya zarar verecek kükürt absorpsiyon bölgesinde toplanacaktır. Oksidasyon ve nötralizasyon reaksiyonu, absorberin alt kısmında bulunan sıvı depolama bölümünde alçıtaşına dönüştürmek amacıyla depolanacak ve daha sonra alçı taşı piyasada kullanılabilecektir.

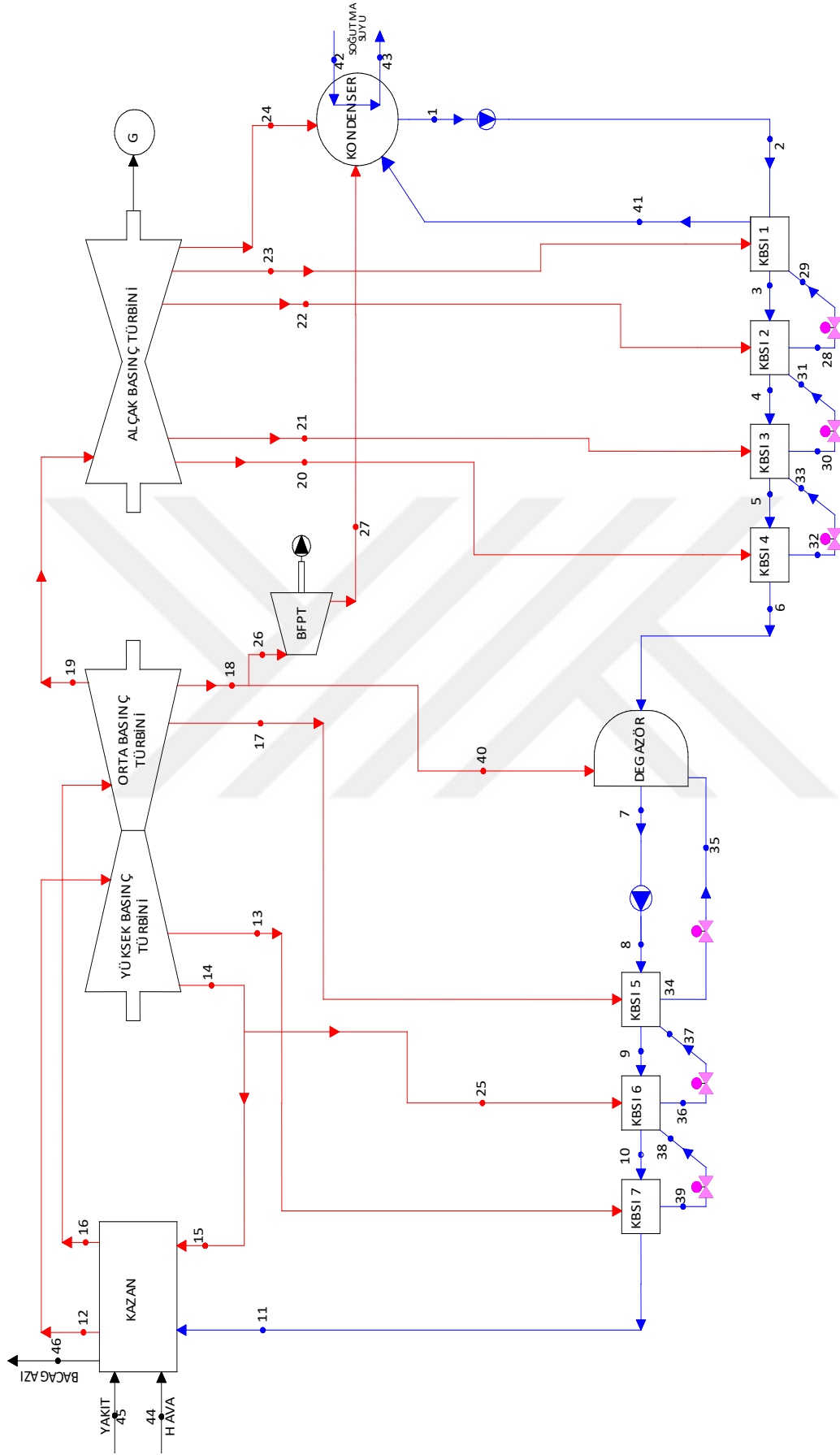
Elektro Statik Filtre

Kazanda yanma sonucu oluşan baca gazındaki külün büyük bir bölümü Elektro statik filtrede tutulur. Elektro statik filtre en ideal toz giderme yöntemidir. Toz parçacıkları yüksek gerilimli elektrostatik alandan geçerken negatif yüklü kül parçacıkları akım vasıtasıyla pozitif kutuplu toplama plakalarına tutunmakta ve tutunan toz parçacıkları belirli aralıklarla yapılan çekiç darbeleri ile hoppere dökülmektedir. Elektrostatik alan ne kadar güçlüyse ekipman verimi o kadar yüksektir.

BÖLÜM 7

ENERJİ ANALİZİNİN YAPILMASI

Santralin 615 MWe’li ünitesinin (% 80 kapasitede 492 MWe çalışma durumundaki) akış şeması Şekil 7.1 de ve tüm düğüm noktalarına ait termodinamik özelliklerinin tablosu Çizelge 7.1 de verilmiştir. Yapılan hesaplamalar bu verilere göre yapılmıştır. Santralin termodinamik analizinde potansiyel ve kinetik enerjiler ihmal edilmiştir, elemanların tümü düzgün akışlı kabul edilmiştir, hava ve yanma ürünleri mükemmel gaz olarak kabul edilmiş ve referans çevre koşulları 298 K ve 101.3 kPa olarak alınmıştır.



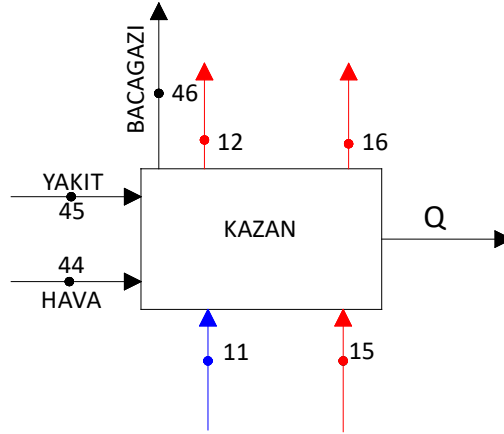
Şekil 7.1 Santralin Akış Şeması

Çizelge 7.1 Santralin Tüm Noktalarına Ait Termodinamik Değerleri

Sıra No	$\dot{m}$	P	T	h	s
	kg/s	kPa	$^{\circ}C$	kJ/kg	$kJ/kg.K$
1	376	5	33	138	0.478
2	376	2700	34	142	0.491
3	376	2500	55	230	0.768
4	376	1500	75	314	1.016
5	376	1200	96	402	1.262
6	376	980	140	589	1.750
7	508	14	178	756	2.129
8	508	29960	185	786	2.188
9	508	29500	210	898	2.425
10	508	29000	252	1096	2.810
11	508	28870	281	1242	3.077
12	508	24200	566	3397	6.344
13	43	6366	355	3057	6.356
14	465	4170	315	2995	6.404
15	420	4087	305	2972	6.372
16	420	3962	566	3520	7.181
17	20	1920	458	3284	7.306
18	42	1017	364	3188	7.349
19	358	997	365	3190	7.352
20	28	399	257	2979	7.407
21	14	106	125	2726	7.488
22	13	47	79	2643	7.620
23	15	19	59	2607	8.050

Sıra No	$\dot{m}$	P	T	h	s
	kg/s	kPa	$^{\circ}C$	kJ/kg	$kJ/kg.K$
24	288	5	33	2560	8.402
25	45	4270	308	2966	6.322
26	18	966	355	3172	7.319
27	18	6	38	2568	8.320
28	55	46	62	260	0.857
29	55	19	62	260	0.857
30	42	104	83	348	1.111
31	42	46	83	348	1.111
32	28	393	104	436	1.352
33	28	104	104	436	1.352
34	108	1786	190	807	2.236
35	108	902	190	807	2.236
36	88	3964	216	925	2.480
37	88	1786	216	925	2.480
38	43	3964	260	1134	2.885
39	43	4170	260	1134	2.885
40	24	966	355	3169	7.319
41	79	19	39	164	0.560
42	16900		20	84	0.296
43	16900		30	126	0.437

Kazan için Enerji Hesapları



Şekil 7.2 Kazanın Düğüm Noktaları

Şekil 7.2 de Kazana giren ve çıkan tüm noktalar gösterilmiştir ve tüm düğüm noktaları hesaplanan enerjileri Çizelge 7.2'deki tabloda özetlenmiştir.

Çizelge 7.2 Kazan Düğüm Noktalarının Enerji Değerleri

Sıra No	$\dot{m}$	h	$\dot{m}h$
	kg/s	kJ/kg	kW
11	508	1242	630936
12	508	3397	1725676
15	420	2972	1248240
16	420	3520	1478400

Yakıtın Enerji Hesabı

$$\dot{E}_{yakıt} = \dot{m} * H_u * 4,18$$

$$\dot{E}_{yakıt} = 56.78 \text{ kg/s} * 6160 \text{ kcal/kg} * 4.18 \text{ kJ/kcal}$$

$$\dot{E}_{yakıt} = 1462017 \text{ kW}$$

Bacagazının Enerji Hesabı

Bacagazının enerji hesabını yapabilmek için kazan çıkışındaki yanma ürünlerinin mol oranları ve entalpi değerleri Çizelge 7.3 de verilmiştir.

Çizelge 7.3 Bacagazı içerideki bileşenler (Yunus A. Çengel,Mühendislik Yaklaşımıyla Termodinamik,1989)

Madde	Oran y_i (%)	Entalpi $\bar{h}_{400}$ (kJ/kmol)	Entalpi $\bar{h}_{298}$ (kJ/kmol)
O ₂	6.560	11711	8682
CO ₂	12.910	13372	9364
H ₂ O	6.670	13356	9904
N ₂	80.480	11640	8669

$$\Delta \bar{h} = \bar{h}_T - \bar{h}_{298}$$

$$\Delta \bar{h}_{O_2} = \bar{h}_{400} - \bar{h}_{298}$$

$$\Delta \bar{h}_{O_2} = 11711 - 8682$$

$$\Delta \bar{h}_{O_2} = 3029 \text{ kJ/kmol}$$

$$\Delta \bar{h}_{CO_2} = \bar{h}_{400} - \bar{h}_{298}$$

$$\Delta \bar{h}_{CO_2} = 13372 - 9364$$

$$\Delta \bar{h}_{CO_2} = 4008 \text{ kJ/kmol}$$

$$\Delta \bar{h}_{H_2O} = \bar{h}_{400} - \bar{h}_{298}$$

$$\Delta \bar{h}_{H_2O} = 13356 - 9904$$

$$\Delta \bar{h}_{H_2O} = 3452 \text{ kJ/kmol}$$

$$\Delta \bar{h}_{N_2} = \bar{h}_{400} - \bar{h}_{298}$$

$$\Delta \bar{h}_{N_2} = 11640 - 8669$$

$$\Delta \bar{h}_{N_2} = 2971 \text{ kJ/kmol}$$

$$\Delta \bar{h} = y_{CO_2} * \Delta \bar{h}_{CO_2} + y_{O_2} * \Delta \bar{h}_{O_2} + y_{N_2} * \Delta \bar{h}_{N_2} + y_{H_2O} * \Delta \bar{h}_{H_2O}$$

$$\bar{h} = 0.1291 * 4008 + 0.0656 * 3029 + 0.8048 * 2971 + 0.0667 * 3452$$

$$\bar{h} = 3337.444 \text{ kJ/kmol}$$

$$\dot{E}_{bg} = \dot{m} * \Delta \bar{h}$$

$$\dot{E}_{bg} = 1942850 \frac{Nm^3}{h} * 1 \text{ kmol} / 22.414 Nm^3 * 3337.444 \frac{kJ}{kmol} * \frac{1 h}{3600 s}$$

$$\dot{E}_{bg} = 80358 \text{ kW}$$

Kazanın Enerji Dengesi (I. Yasa)

$$\dot{E}_{yakıt} + \dot{E}_{11} + \dot{E}_{15} = \dot{E}_{12} + \dot{E}_{16} + \dot{E}_{bg} + \dot{Q}_{kazan,kayıp}$$

$$1462017 + 630936 + 1248240 = 1725676 + 1478400 + 80358 + \dot{Q}_{kazan,kayıp}$$

$$\dot{Q}_{kazan,kayıp} = 56759 \text{ kW}$$

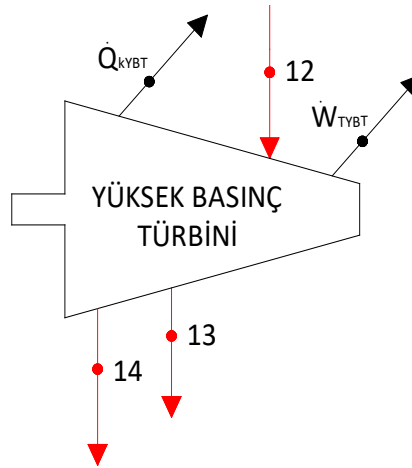
Kazan Verimi

$$\eta_k = \frac{\text{suya geçen enerji}}{\text{yakıt enerjisi}} = \frac{\dot{E}_{12} + \dot{E}_{16} - \dot{E}_{11} - \dot{E}_{15}}{\dot{E}_y}$$

$$\eta_k = \frac{1725676 + 1478400 - 630936 - 1248240}{1462017} = 0.906$$



Yüksek Basınç Türbini için Enerji Hesapları



Şekil 7.3 Yüksek Basınç Türbini Düğüm Noktaları

Şekil 7.3 de yüksek basınç türbinine giren ve çıkan tüm noktalar gösterilmiştir ve bu noktalara ait hesaplanan enerjiler Çizelge 7.4'teki tabloda özetlenmiştir. Türbin yüzeyindeki ısı kaybı $0,02\dot{W}_{YBT}$ olarak kabul edilmiştir.

Çizelge 7.4 Yüksek Basınç Türbini Düğüm Noktalarının Enerji Değerleri

Sıra No	$\dot{m}$	h	$\dot{m}h$
	kg/s	kJ/kg	kW
12	508	3397	1725676
13	43	3057	131451
14	465	2995	1392675

Yüksek Basınç Türbininin Enerji Dengesi

$$\dot{E}_{12} = \dot{E}_{13} + \dot{E}_{14} + \dot{W}_{YBT} + \dot{Q}_{kYBT}$$

$$\dot{Q}_{kYBT} = 0,02\dot{W}_{YBT}$$

$$1725676 = 131451 + 1393140 + 1,02\dot{W}_{YBT}$$

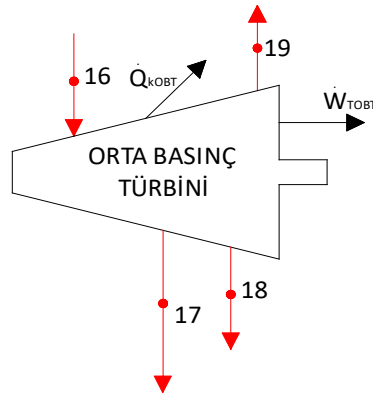
$$\dot{W}_{YBT} = 197142 \text{ kW}$$

$$\dot{Q}_{kYBT} = 0,02 * 197142$$

$$\dot{Q}_{kYBT} = 3943 \text{ kW}$$



Orta Basıncı Türbini için Enerji Hesapları



Şekil 7.4 Orta Basıncı Türbini Düğüm Noktaları

Şekil 7.4 de alçak basınç türbinine giren ve çıkan tüm noktalar gösterilmiştir ve bu noktalara ait hesaplanan enerjiler Çizelge 7.5’teki tabloda özetlenmiştir. Türbin yüzeyindeki ısı kaybı $0,02\dot{W}_{OBT}$ olarak kabul edilmiştir.

Çizelge 7.5 Orta Basıncı Türbini Düğüm Noktalarının Enerji Değerleri

Sıra No	$\dot{m}$	h	$\dot{m}h$
	kg/s	kJ/kg	kW
16	420	3520	1478400
17	20	3284	65680
18	42	3188	133896
19	358	3190	1142020

Orta Basıncı Türbininin Enerji Dengesi

$$\dot{E}_{16} = \dot{E}_{17} + \dot{E}_{18} + \dot{E}_{19} + \dot{W}_{OBT} + \dot{Q}_{kOBT}$$

$$\dot{Q}_{kOBT} = 0,02\dot{W}_{OBT}$$

$$1478400 = 65680 + 133896 + 1142020 + 1,02\dot{W}_{OBT}$$

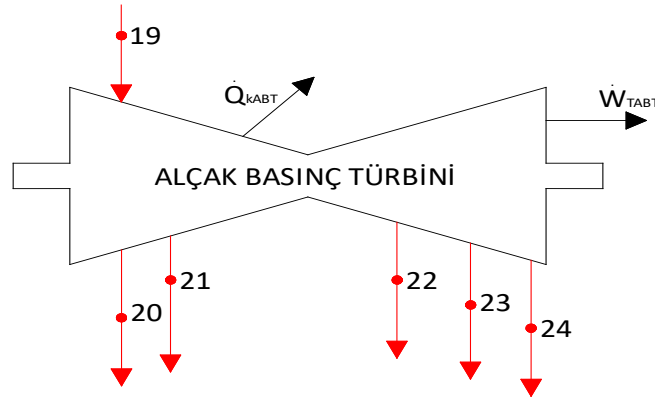
$$\dot{W}_{OBT} = 134122 \text{ kW}$$

$$\dot{Q}_{kOBT} = 0,02 * 133710$$

$$\dot{Q}_{kOBT} = 2682 \text{ kW}$$



Alçak Basınç Türbini için Enerji Hesapları



Şekil 7.5 Alçak Basınç Türbini Düğüm Noktaları

Şekil 7.5 de alçak basınç türbinine giren ve çıkan tüm noktalar gösterilmiştir ve bu noktalara ait hesaplanan enerjiler Çizelge 7.6'daki tabloda özetlenmiştir. Türbin yüzeyindeki ısı kaybı $0,02\dot{W}_{ABT}$ olarak kabul edilmiştir.

Çizelge 7.6 Alçak Basınç Türbini Düğüm Noktalarının Enerji Değerleri

Sıra No	$\dot{m}$	h	$\dot{m}h$
	kg/s	kJ/kg	kW
19	358	3190	1142020
20	28	2979	83412
21	14	2726	38164
22	13	2643	34359
23	15	2607	39105
24	288	2560	737280

Alçak Basınç Türbininin Enerji Dengesi

$$\dot{E}_{19} = \dot{E}_{20} + \dot{E}_{21} + \dot{E}_{22} + \dot{E}_{23} + \dot{E}_{24} + \dot{W}_{ABT} + \dot{Q}_{kABT}$$

$$\dot{Q}_{kABT} = 0,02\dot{W}_{ABT}$$

$$1142020 = 83412 + 38164 + 34359 + 39105 + 737280 + 1,02\dot{W}_{ABT}$$

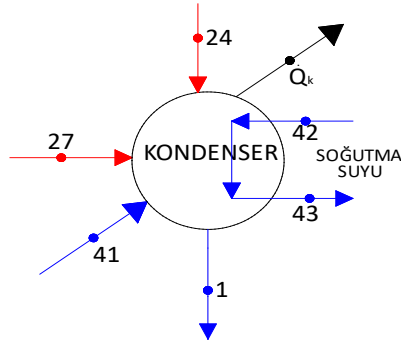
$$\dot{W}_{ABT} = 205588 \text{ kW}$$

$$\dot{Q}_{kABT} = 0,02 * 193983$$

$$\dot{Q}_{kABT} = 4111 \text{ kW}$$



Kondenser için Enerji Hesapları



Şekil 7.6 Kondenserin Düğüm Noktaları

Şekil 7.6 da kondensere giren ve çıkan tüm noktalar gösterilmiştir ve bu noktalara ait hesaplanan enerjiler Çizelge 7.7’teki tabloda özetlenmiştir.

Çizelge 7.7 Kondenserin Düğüm Noktalarının Enerji Değerleri

Sıra No	$\dot{m}$ <i>kg/s</i>	h <i>kJ/kg</i>	$\dot{m}h$ <i>kW</i>
1	376	138	51888
24	288	2560	737280
27	18	2568	46224
41	79	164	12956
42	16900	84	1419600
43	16900	126	2129400

Kondenserin Enerji Dengesi

$$\dot{E}_{24} + \dot{E}_{27} + \dot{E}_{41} + \dot{E}_{42} = \dot{E}_1 + \dot{E}_{43} + \dot{Q}_k$$

$$737280 + 46224 + 12956 + 1419600 = 51888 + 2129400 + \dot{Q}_k$$

$$\dot{Q}_k = 34772 \text{ kW}$$

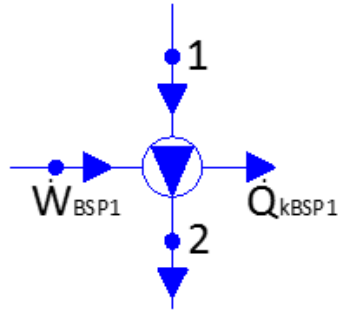
Soğutma suyuna aktarılan ısı miktarı;

$$\dot{Q}_{soğutma\ suyu} = \dot{m}_{soğutma\ suyu} (\dot{h}_{43} - \dot{h}_{42})$$

$$\dot{Q}_{soğutma\ suyu} = 709800\ kW$$



Besleme Suyu Pompası 1 için Enerji Hesapları



Şekil 7.7 Besleme Suyu Pompası 1 Düğüm Noktaları

Şekil 7.7 de besleme suyu pompası 1'e giren ve çıkan tüm noktalar gösterilmiştir ve bu noktalara ait hesaplanan enerjiler Çizelge 7.8'teki tabloda özetlenmiştir. Besleme suyu pompası 1 yüzeyindeki ısı kaybı $0,02\dot{W}_{BSP1}$ olarak kabul edilmiştir.

Çizelge 7.8 Besleme Suyu Pompası 1 Düğüm Noktalarının Enerji Değerleri

Sıra No	$\dot{m}$	h	$\dot{m}h$
	kg/s	kJ/kg	kW
1	376	138	51888
2	376	142	53392

Besleme Suyu Pompası 1 Enerji Dengesi

$$\dot{E}_1 + \dot{W}_{BSP1} = \dot{E}_2 + \dot{Q}_{kBSP1}$$

$$\dot{Q}_{kBSP1} = 0,02\dot{W}_{BSP1}$$

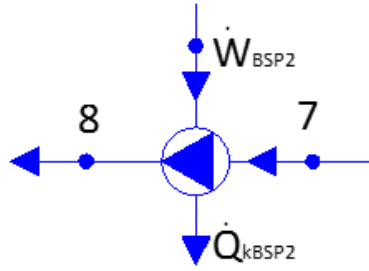
$$51888 + \dot{W}_{BSP1} = 53392 + 0,02\dot{W}_{BSP1}$$

$$\dot{W}_{BSP1} = 1535 \text{ kW}$$

$$\dot{Q}_{kBSP1} = 0,02 * 1535$$

$$\dot{Q}_{kBSP1} = 31 \text{ kW}$$

Besleme Suyu Pompası 2 için Enerji Hesapları



Şekil 7.8 Besleme Suyu Pompası 2 Düğüm Noktaları

Şekil 7.8 de besleme suyu pompası 1'e giren ve çıkan tüm noktalar gösterilmiştir ve bu noktalara ait hesaplanan enerjiler Çizelge 7.9'teki tabloda özetlenmiştir. Besleme suyu pompası 2 yüzeyindeki ısı kaybı $0,02\dot{W}_{BSP2}$ olarak kabul edilmiştir.

Çizelge 7.9 Besleme Suyu Pompası 2 Düğüm Noktalarının Enerji Değerleri

Sıra No	$\dot{m}$ <i>kg/s</i>	h <i>kJ/kg</i>	$\dot{m}h$ <i>kW</i>
7	508	756	384048
8	508	786	399288

Besleme Suyu Pompası 2 Enerji Hesabı

$$\dot{E}_7 + \dot{W}_{BSP2} = \dot{E}_8 + \dot{Q}_{kBSP2}$$

$$\dot{Q}_{kBSP2} = 0,02\dot{W}_{BSP2}$$

$$384048 + \dot{W}_{BSP2} = 399288 + 0,02\dot{W}_{BSP2}$$

$$\dot{W}_{BSP2} = 15551 \text{ kW}$$

$$\dot{Q}_{kBSP2} = 0,02 * 15551$$

$$\dot{Q}_{kBSP2} = 311 \text{ kW}$$

Net Güç:

$$\dot{W}_{net} = \dot{W}_{YBT} + \dot{W}_{OBT} + \dot{W}_{ABT} - \dot{W}_{BSP1} - \dot{W}_{BSP2}$$

$$\dot{W}_{net} = 197142 + 134122 + 205588 - 1535 - 15551$$

$$\dot{W}_{net} = 519766 \text{ kW}$$

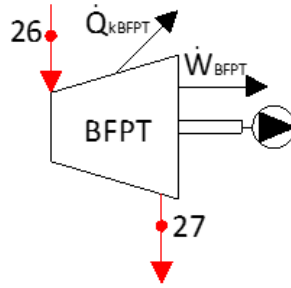
Turbo-Generator Enerji Kaybı:

$$\dot{W}_{k,TG} = \dot{W}_{net} - \dot{W}_{nete}$$

$$\dot{W}_{k,TG} = 519766 - 492000$$

$$\dot{W}_{k,TG} = 27766 \text{ kW}$$

Kazan Besleme Pompası Türbini için Enerji Hesapları



Şekil 7.9 Kazan Besleme Pompası Türbini Düğüm Noktaları

Şekil 7.9 de kazan besleme pompası türbinine giren ve çıkan tüm noktalar gösterilmiştir ve bu noktalara ait hesaplanan enerjiler Çizelge 7.10'daki tabloda özetlenmiştir. Kazan besleme pompası türbinine giren ve çıkan tüm noktaların enerjileri hesaplanmıştır ve aşağıdaki tabloda özetlenmiştir.

Çizelge 7.10 Kazan Besleme Pompası Türbini Düğüm Noktalarının Enerji Değerleri

Sıra No	$\dot{m}$	h	$\dot{m}h$
	kg/s	kJ/kg	kW
26	18	3172	57096
27	18	2568	46224

Kazan Besleme Pompası Türbini Enerji Dengesi

$$\dot{E}_{26} = \dot{E}_{27} + \dot{W}_{BFPT} + \dot{Q}_{kBFPT}$$

$$\dot{Q}_{kBFPT} = 0,02\dot{W}_{BFPT}$$

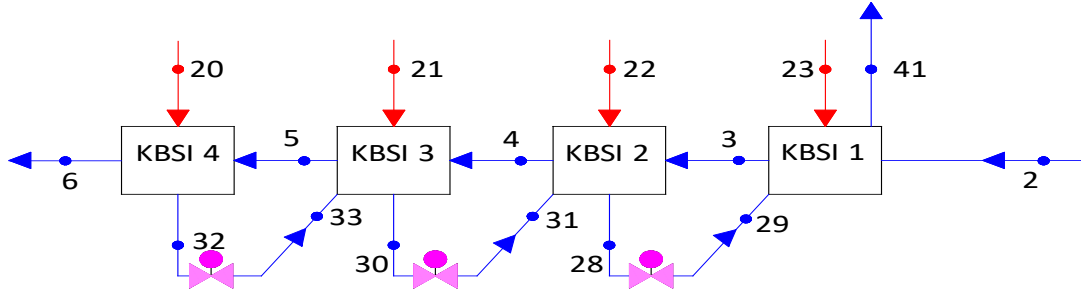
$$57042 = 46224 + 1,02\dot{W}_{BFPT}$$

$$\dot{W}_{BFPT} = 10658 \text{ kW}$$

$$\dot{Q}_{kBFPT} = 0,02 * 10658$$

$$\dot{Q}_{kBFPT} = 213 \text{ kW}$$

Alçak Basınç Isıtıcıları için Enerji Hesapları



Şekil 7.10 Alçak Basınç Isıtıcılarının Düğüm Noktaları

KBSI 1

Şekil 7.10 da kazan besleme suyu ısıtıcısı 1'e giren ve çıkan tüm noktalar gösterilmiştir ve bu noktalara ait hesaplanan enerjiler Çizelge 7.11'deki tabloda özetlenmiştir.

Çizelge 7.11 KBSI 1 Düğüm Noktalarının Enerji Değerleri

Sıra No	$\dot{m}$	h	$\dot{m}h$
	kg/s	kJ/kg	kW
2	376	142	53392
3	376	230	86480
23	15	2607	39105
29	55	260	14300
41	79	164	12956

KBSI 1 Enerji Dengesi

$$\dot{E}_2 + \dot{E}_{23} + \dot{E}_{29} = \dot{E}_3 + \dot{E}_{41} + \dot{Q}_{KBSI1}$$

$$53392 + 39105 + 14300 = 86480 + 12956 + \dot{Q}_{KBSI1}$$

$$\dot{Q}_{KBSI1} = 7361 \text{ kW}$$

KBSI 2

Şekil 7.10 da kazan besleme suyu ısıtıcısı 2'ye giren ve çıkan tüm noktalar gösterilmiştir ve bu noktalara ait hesaplanan enerjiler Çizelge 7.12'deki tabloda özetlenmiştir.

Çizelge 7.12 KBSI 2 Düğüm Noktalarının Enerji Değerleri

Sıra No	$\dot{m}$	h	$\dot{m}h$
	kg/s	kJ/kg	kW
3	376	230	86480
4	376	314	118064
22	13	2643	34359
28	55	254	13970
31	42	338	14196

KBSI 2 Enerji Dengesi

$$\dot{E}_3 + \dot{E}_{22} + \dot{E}_{31} = \dot{E}_4 + \dot{E}_{28} + \dot{Q}_{KBSI2}$$

$$86480 + 34359 + 14196 = 118064 + 13970 + \dot{Q}_{KBSI2}$$

$$\dot{Q}_{KBSI2} = 3001 \text{ kW}$$

KBSI 3

Şekil 7.10 da kazan besleme suyu ısıtıcısı 3'e giren ve çıkan tüm noktalar gösterilmiştir ve bu noktalara ait hesaplanan enerjiler Çizelge 7.13'teki tabloda özetlenmiştir.

Çizelge 7.13 KBSI 3 Düğüm Noktalarının Enerji Değerleri

Sıra No	$\dot{m}$	h	$\dot{m}h$
	kg/s	kJ/kg	kW
4	376	314	118064
5	376	402	151152
21	14	2726	38164
30	42	348	14616
33	28	436	12208

KBSI 3 Enerji Dengesi

$$\dot{E}_4 + \dot{E}_{21} + \dot{E}_{33} = \dot{E}_5 + \dot{E}_{30} + \dot{Q}_{KBSI3}$$

$$118064 + 38164 + 12208 = 151152 + 14616 + \dot{Q}_{KBSI3}$$

$$\dot{Q}_{KBSI3} = 2668 \text{ kW}$$

KBSI 4

Şekil 7.10 da kazan besleme suyu ısıtıcısı 4'e giren ve çıkan tüm noktalar gösterilmiştir ve bu noktalara ait hesaplanan enerjiler Çizelge 7.14'teki tabloda özetlenmiştir.

Çizelge 7.14 KBSI 4 Düğüm Noktalarının Enerji Değerleri

Sıra No	$\dot{m}$	h	$\dot{m}h$
	kg/s	kJ/kg	kW
5	376	402	151152
6	376	589	221464
20	28	2979	83412
32	28	436	12208

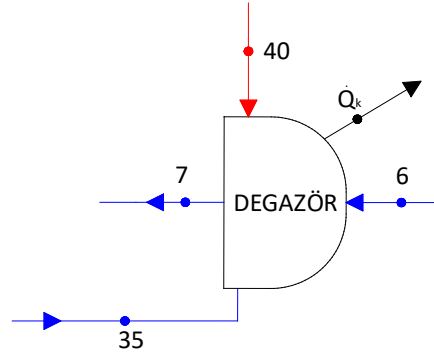
KBSI 4 Enerji Dengesi

$$\dot{E}_5 + \dot{E}_{20} = \dot{E}_6 + \dot{E}_{32} + \dot{Q}_{KBSI4}$$

$$151152 + 83412 = 221464 + 12208 + \dot{Q}_{KBSI4}$$

$$\dot{Q}_{KBSI4} = 892 \text{ kW}$$

Degazör için Enerji Hesapları



Şekil 7.11 Degazör Düğüm Noktaları

Şekil 7.11 de degazöre giren ve çıkan tüm noktalar gösterilmiştir ve bu noktalara ait hesaplanan enerjiler Çizelge 7.15’teki tabloda özetlenmiştir.

Çizelge 7.15 Degazör Düğüm Noktalarının Enerji Değerleri

Sıra No	$\dot{m}$ <i>kg/s</i>	h <i>kJ/kg</i>	$\dot{m}h$ <i>kW</i>
6	376	589	221464
7	508	756	384048
35	108	807	87156
40	24	3169	76056

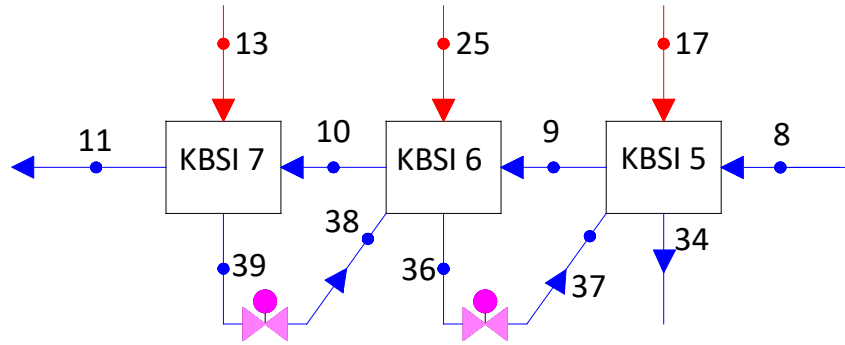
Degazörün Enerji Hesabı

$$\dot{E}_6 + \dot{E}_{35} + \dot{E}_{40} = \dot{E}_7 + \dot{Q}_{\text{Degazör}}$$

$$221464 + 87156 + 76056 = 384048 + \dot{Q}_{\text{Degazör}}$$

$$\dot{Q}_{\text{Degazör}} = 628 \text{ kW}$$

Yüksek Basınç Isıtıcıları için Enerji Hesapları



Şekil 7.12 Yüksek Basınç Isıtıcılarının Düğüm Noktaları

KBSI 5

Şekil 7.12 da kazan besleme suyu ısıtıcısı 5'e giren ve çıkan tüm noktalar gösterilmiştir ve bu noktalara ait hesaplanan enerjiler Çizelge 7.16'daki tabloda özetlenmiştir.

Çizelge 7.16 KBSI 5 Düğüm Noktalarının Enerji Değerleri

Sıra No	$\dot{m}$ <i>kg/s</i>	h <i>kJ/kg</i>	$\dot{m}h$ <i>kW</i>
8	508	786	399288
9	508	898	456184
17	20	3284	65680
34	108	807	87156
37	88	925	81400

KBSI 5 Enerji Dengesi

$$\Delta \dot{E}_g = \Delta \dot{E}_ç$$

$$\dot{E}_8 + \dot{E}_{17} + \dot{E}_{37} = \dot{E}_9 + \dot{E}_{34} + \dot{Q}_{KBSI5}$$

$$399288 + 65680 + 81400 = 456184 + 87156 + \dot{Q}_{KBSI5}$$

$$\dot{Q}_{KBSI5} = 3028 \text{ kW}$$

KBSI 6

Şekil 7.12 da kazan besleme suyu ısıtıcısı 6'ya giren ve çıkan tüm noktalar gösterilmiştir ve bu noktalara ait hesaplanan enerjiler Çizelge 7.17'deki tabloda özetlenmiştir.

Çizelge 7.17 KBSI 6 Düğüm Noktalarının Enerji Değerleri

Sıra No	$\dot{m}$	h	$\dot{m}h$
	kg/s	kJ/kg	kW
9	508	898	456184
10	508	1096	556768
25	45	2966	133470
36	88	925	81400
38	43	1134	48762

KBSI 6 Enerji Dengesi

$$\dot{E}_9 + \dot{E}_{25} + \dot{E}_{38} = \dot{E}_{10} + \dot{E}_{36} + \dot{Q}_{KBSI6}$$

$$456184 + 133470 + 48762 = 556768 + 81400 + \dot{Q}_{KBSI6}$$

$$\dot{Q}_{KBSI6} = 248 \text{ kW}$$

KBSI 7

Şekil 7.12 da kazan besleme suyu ısıtıcısı 7'ye giren ve çıkan tüm noktalar gösterilmiştir ve bu noktalara ait hesaplanan enerjiler Çizelge 7.18'deki tabloda özetlenmiştir.

Çizelge 7.18 KBSI 7 Düğüm Noktalarının Enerji Değerleri

Sıra No	$\dot{m}$	h	$\dot{m}h$
	kg/s	kJ/kg	kW
10	508	1096	556768
11	508	1242	630936
13	43	3057	131451
39	43	1134	48762

KBSI 7 Enerji Dengesi

$$\dot{E}_{10} + \dot{E}_{13} = \dot{E}_{11} + \dot{E}_{39} + \dot{Q}_{KBSI7}$$

$$556768 + 131451 = 630936 + 48762 + \dot{Q}_{KBSI7}$$

$$\dot{Q}_{KBSI7} = 8521 \text{ kW}$$

Santralin Genel Isıl Verimi

Santralin ısıl verimi için hesaplanan değerler Çizelge 7.19'daki tabloda gösterilmiştir.

Çizelge 7.19 Yakıt Enerjisi, Türbin ve Pompa Güçleri

Eleman	kW
Birim Zamandaki Yakıt Enerjisi	1462017
Yüksek Basınç Türbin Gücü	197142
Orta Basınç Türbin Gücü	134122
Alçak Basınç Türbin Gücü	205588
Besleme Suyu Pompası 1 Gücü	-1535
Besleme Suyu Pompası 2 Gücü	-15551

$$\dot{W}_{net} = 197142 + 134122 + 205588 - 1535 - 15551$$

$$\dot{W}_{net} = 519766 \text{ kW}$$

$$\dot{W}_{kTG} = 27766 \text{ kW}$$

$$\dot{W}_{nete} = 492000 \text{ kW}$$

$$\eta_{th} = \frac{492000 \text{ kW}}{1462017 \text{ kW}}$$

$$\eta_{th} = \% 33.65$$



BÖLÜM 8

EKSERJİ ANALİZİNİN YAPILMASI

Santralin akış şeması Şekil 8.1 de ve tüm düğüm noktalarına ait termodinamik özelliklerinin tablosu Çizelge 8.1 de verilmiştir. Yapılan hesaplamalar bu verilere göre yapılmıştır. Tüm düğüm noktalarının ekserji analizleri yapılmıştır.

Kazan için Ekserji Hesapları

Yakıtın ekserjisini hesaplayabilmek için kömürün içindeki maddelerin oranları Çizelge 8.1 de verilmiştir.

Çizelge 8.1 Kömürün Analiz Değerleri

Kömürün İçindeki Maddeler	%
Karbon	66.01
Hidrojen	3.66
Oksijen	4.16
Nitrojen	1.5
Kükürt	0.9
Kül	13.72
Nem	10

Yakıtın Ekserjisi (T.J. Kotas, The Exergy Method of Thermal Plant Analysis, 1985)

$$\varphi = \frac{o}{c} < 0.667 \text{ ise;}$$

$$\varphi_{dry} = 1.0437 + 0.1882 \frac{h}{c} + 0.0610 \frac{o}{c} + 0.0404 \frac{n}{c}$$

$$\varphi = 1.0437 + 0.1882 \frac{0.0366}{0.6601} + 0.0610 \frac{0.0416}{0.6601} + 0.0404 \frac{0.015}{0.6601}$$

$$\varphi = 1.0589$$

$$\tilde{\varepsilon}^{\circ} = [(NCV)^{\circ} + wh_{fg}] \varphi_{dry} + [\varepsilon_s^{\circ} - (NCV)_s^{\circ}] s$$

$$\tilde{\varepsilon}^{\circ} = [(25791) + (0.1 * 2441.7)] * 1.0589 + [18676 - 9259] * 0.0009$$

$$\tilde{\varepsilon}^{\circ} = 27577 \frac{kJ}{kg}$$

$$\dot{E}_{x_{yakıt}} = \dot{m} * \tilde{\varepsilon}^{\circ}$$

$$\dot{E}_{x_{yakıt}} = 1565829 \text{ kW}$$

Bacagazının Ekserji Hesabı (Atık Ekserji)

Bacagazının ekserjisini hesaplayabilmek için yanma sonucu ortaya çıkan maddelerin mol oranları, $\tilde{\varepsilon}^{\circ}$ ve $\tilde{c}_p$ değerleri Çizelge 8.2 de verilmiştir.

Çizelge 8.2 Maddelerin $\tilde{\varepsilon}^{\circ}$ ve $\tilde{c}_p$ değerleri (T.J. Kotas, The Exergy Method of Thermal Plant Analysis, 1985)

Madde	Mol Oranı (y_i) %	$\tilde{\varepsilon}^{\circ}$ kJ/kmol	$\tilde{c}_p$ kJ/kmolK
O ₂	6.560	3970	28.41
CO ₂	12.910	20140	39.88
H ₂ O	6.670	11710	33.50
N ₂	80.480	720	29.39

$$\tilde{\varepsilon}_{0,km}^{\circ} = \sum y_i \tilde{\varepsilon}_{0i}^{\circ} + \tilde{R}T_0 \sum y_i \ln y_i$$

$$\begin{aligned}\tilde{\varepsilon}_{0,km}^{\circ} = & ((0.0656 * 3970) + (0.1291 * 20140) + (0.0667 * 11710) + (0.8048 * 720)) \\ & + (8.314 * 298 * (0.0656 \ln(0.0656) + 0.1291 \ln(0.1291) \\ & + 0.0667 \ln(0.0667) + 0.8048 \ln(0.8048)))\end{aligned}$$

$$\tilde{\varepsilon}_{0,km}^{\circ} = 2243 \text{ kJ/kmol}$$

$$\dot{E}_{x_{bg,km}} = 1942850 \text{ Nm}^3 * \frac{1 \text{ kmol}}{22.414 \text{ Nm}^3} * \frac{1 \text{ hr}}{3600 \text{ s}} * 2243 \frac{\text{kJ}}{\text{kmol}}$$

$$\dot{E}_{x_{bg,km}} = 54007 \text{ kW}$$

$$\tilde{\varepsilon}_{fz}^{\circ} = \tilde{c}_{p,bg}(T - T_0) - T_0(\tilde{c}_{p,bg} \ln \frac{T}{T_0} - \bar{R} \ln(P/P_0))$$

$$\tilde{c}_{p,bg} = \sum_i x_i \tilde{c}_{p,i}$$

$$\tilde{c}_{p,bg} = (0.0656 * 28.41) + (0.1291 * 39.88) + (0.0667 * 33.50) + (0.8048 * 29.39)$$

$$\tilde{c}_{p,bg} = 32.9 \text{ kJ/kmolK}$$

$$\tilde{\varepsilon}_{fz}^{\circ} = 32.9 * (400 - 298) - 298 * (32.9 \ln 400/298)$$

$$\tilde{\varepsilon}_{fz}^{\circ} = 469.727 \frac{\text{kJ}}{\text{kmol}}$$

$$\dot{E}_{x_{bg,fz}} = 1942850 \text{ Nm}^3 * \frac{1 \text{ kmol}}{22.414 \text{ Nm}^3} * \frac{1 \text{ hr}}{3600 \text{ s}} * 469.727 \frac{\text{kJ}}{\text{kmol}}$$

$$\dot{E}_{x_{bg,fz}} = 11310 \text{ kW}$$

$$\dot{E}_{x_{bg}} = \dot{E}_{x_{bg,km}} + \dot{E}_{x_{bg,fz}}$$

$$\dot{E}_{x_{bg}} = 54007 + 11310$$

$$\dot{E}_{x_{bg}} = 65317 \text{ kW}$$

Kazan Dügüm Noktalarının Ekserji Hesabı

11 Noktası İçin Ekserji Hesabı

$$\tilde{\epsilon}_{x_{fz,11}}^{\circ} = ((h_{11} - h_0) - T_0(s_{11} - s_0))$$

$$\tilde{\epsilon}_{x_{fz,11}}^{\circ} = ((1242 - 104.83) - 298 * (3.077 - 0.3672))$$

$$\tilde{\epsilon}_{x_{fz,11}}^{\circ} = 330 \text{ kJ/kg}$$

$$\dot{E}_{x_{11}} = \tilde{\epsilon}_{fz_{11}}^{\circ} * \dot{m}$$

$$\dot{E}_{x_{11}} = 330 * 508$$

$$\dot{E}_{x_{11}} = 167640 \text{ kW}$$

12 Noktası İçin Ekserji Hesabı

$$\tilde{\epsilon}_{x_{fz,12}}^{\circ} = ((h_{12} - h_0) - T_0(s_{12} - s_0))$$

$$\tilde{\epsilon}_{x_{fz,12}}^{\circ} = ((3397 - 104.83) - (298 * (6.344 - 0.3672)))$$

$$\tilde{\epsilon}_{x_{fz,12}}^{\circ} = 1511 \text{ kJ/kg}$$

$$\dot{E}_{x_{12}} = \tilde{\epsilon}_{fz_{12}}^{\circ} * \dot{m}$$

$$\dot{E}_{x_{12}} = 1511 * 508$$

$$\dot{E}_{x_{12}} = 767588 \text{ kW}$$

15 Noktası İçin Ekserji Hesabı

$$\tilde{\epsilon}_{x_{fz,15}}^{\circ} = ((h_{15} - h_0) - T_0(s_{15} - s_0))$$

$$\tilde{\epsilon}_{x_{fz,15}}^{\circ} = ((2970 - 104.83) - (298 * (6.372 - 0.3672)))$$

$$\tilde{\epsilon}_{x_{fz,15}}^{\circ} = 1076 \text{ kJ/kg}$$

$$\dot{E}_{x_{15}} = \tilde{\epsilon}_{fz_{15}}^{\circ} * \dot{m}$$

$$\dot{E}_{x_{15}} = 1076 * 420$$

$$\dot{E}_{x_{15}} = 451920 \text{ kW}$$

16 Noktası İçin Ekserji Hesabı

$$\tilde{\epsilon}_{x_{fz,16}}^{\circ} = ((h_{16} - h_0) - T_0(s_{16} - s_0))$$

$$\tilde{\epsilon}_{x_{fz,16}}^{\circ} = ((3520 - 104.83) - (298 * (7.181 - 0.3672)))$$

$$\tilde{\epsilon}_{x_{fz,16}}^{\circ} = 1385 \text{ kJ/kg}$$

$$\dot{E}_{x_{16}} = \tilde{\epsilon}_{fz_{16}}^{\circ} * \dot{m}$$

$$\dot{E}_{x_{16}} = 1385 * 420$$

$$\dot{E}_{x_{16}} = 581700 \text{ kW}$$

Kazandaki Tersinmezlik (sistem+yakın çevre)

$$\dot{E}_{x_g} - \dot{E}_{x_{\zeta}} - \dot{I}_k = \left(\frac{d\dot{E}_x}{dt}\right)$$

$$\text{Sürekli Akışkan Sistem olduğunda } \left(\frac{d\dot{E}_x}{dt}\right) = 0$$

$$\dot{I}_k = \dot{E}_{x_g} - \dot{E}_{x_{\zeta}}$$

$$\dot{I}_k = \dot{E}_{x_{yakıt}} + \dot{E}_{x_{11}} + \dot{E}_{x_{15}} - \dot{E}_{x_{12}} - \dot{E}_{x_{16}} - \dot{E}_{x_{bg}}$$

$$\dot{I}_k = 1565829 + 167640 + 451920 - 767588 - 581700 - 65317$$

$$\dot{I}_k = 770784 \text{ kW}$$

Kazanın Toplam Tersinmezliği

$$\dot{I}_{k,toplam} = \dot{I}_k + \dot{E}_{x_{bg}}$$

$$\dot{I}_{k,toplam} = 770784 + 65317$$

$$\dot{I}_{k,toplam} = 836101 \text{ kW}$$

Kazanın Ekserji Verimi (II. Yasa Verimi)

$$\eta_{II.Y,k} = 1 - \frac{\dot{I}_{k,toplam}}{\dot{E}_{x_{yakıt}}}$$

$$\eta_{II.Y,k} = 1 - \frac{836101}{1565829} = 0.466$$

Yüksek Basınç Türbini için Ekserji Hesapları

Yüksek basınç türbinin düğüm noktalarının ekserjileri ve yüksek basınç türbinindeki tersinmezlik aşağıda hesaplanmıştır.

12 Noktası İçin Ekserji Hesabı

$$\tilde{e}_{x_{fz,12}}^{\circ} = ((h_{12} - h_0) - T_0(s_{12} - s_0))$$

$$\tilde{e}_{x_{fz,12}}^{\circ} = ((3397 - 104.83) - (298 * (6.344 - 0.3672)))$$

$$\tilde{e}_{x_{fz,12}}^{\circ} = 1511 \text{ kJ/kg}$$

$$\dot{E}_{x_{12}} = \tilde{e}_{fz_{12}}^{\circ} * \dot{m}$$

$$\dot{E}_{x_{12}} = 1511 * 508$$

$$\dot{E}_{x_{12}} = 767588 \text{ kW}$$

13 Noktası İçin Ekserji Hesabı

$$\tilde{e}_{x_{fz,13}}^{\circ} = ((h_{13} - h_0) - T_0(s_{13} - s_0))$$

$$\tilde{e}_{x_{fz,13}}^{\circ} = ((3057 - 104.83) - (298 * (6.356 - 0.3672)))$$

$$\tilde{e}_{x_{fz,13}}^{\circ} = 1168 \text{ kJ/kg}$$

$$\dot{E}_{x_{13}} = \tilde{e}_{fz_{13}}^{\circ} * \dot{m}$$

$$\dot{E}_{x_{13}} = 1168 * 43$$

$$\dot{E}_{x_{13}} = 50224 \text{ kW}$$

14 Noktası İçin Ekserji Hesabı

$$\tilde{e}_{x_{fz,14}}^{\circ} = ((h_{14} - h_0) - T_0(s_{14} - s_0))$$

$$\tilde{\epsilon}_{x_{fz,14}}^{\circ} = ((2995 - 104.83) - (298 * (6.404 - 0.3672)))$$

$$\tilde{\epsilon}_{x_{fz,14}}^{\circ} = 1091 \text{ kJ/kg}$$

$$\dot{E}_{x_{14}} = \tilde{\epsilon}_{fz_{14}}^{\circ} * \dot{m}$$

$$\dot{E}_{x_{14}} = 1091 * 465$$

$$\dot{E}_{x_{14}} = 507315 \text{ kW}$$

İşin Ekserjisi

$$\dot{E}_{x_{w,YBT}} = \dot{W}_{YBT}$$

$$\dot{E}_{x_{w,YBT}} = 197142 \text{ kW}$$

Yüksek Basıncı Türbinindeki Tersinmezlik

$$\dot{I}_{YBT} = \dot{E}_{x_g} - \dot{E}_{x_{\phi}}$$

$$\dot{I}_{YBT} = \dot{E}_{x_{12}} - \dot{E}_{x_{13}} - \dot{E}_{x_{14}} - \dot{E}_{x_{w,YBT}}$$

$$\dot{I}_{YBT} = 767588 - 50224 - 507315 - 197142$$

$$\dot{I}_{YBT} = 12907 \text{ kW}$$

Orta Basınç Türbini için Ekserji Hesapları

Orta basınç türbininin düğüm noktalarının ekserjileri ve orta basınç türbinindeki tersinmezlik aşağıda hesaplanmıştır.

16 Noktası İçin Ekserji Hesabı

$$\tilde{\epsilon}_{x_{fz,16}}^{\circ} = ((h_{16} - h_0) - T_0(s_{16} - s_0))$$

$$\tilde{\epsilon}_{x_{fz,16}}^{\circ} = ((3520 - 104.83) - (298 * (7.181 - 0.3672)))$$

$$\tilde{\epsilon}_{x_{fz,16}}^{\circ} = 1385 \text{ kJ/kg}$$

$$\dot{E}_{x_{16}} = \tilde{\epsilon}_{fz_{16}}^{\circ} * \dot{m}$$

$$\dot{E}_{x_{16}} = 1385 * 420$$

$$\dot{E}_{x_{16}} = 581700 \text{ kW}$$

17 Noktası İçin Ekserji Hesabı

$$\tilde{\epsilon}_{x_{fz,17}}^{\circ} = ((h_{17} - h_0) - T_0(s_{17} - s_0))$$

$$\tilde{\epsilon}_{x_{fz,17}}^{\circ} = ((3284 - 104.83) - (298 * (7.306 - 0.3672)))$$

$$\tilde{\epsilon}_{x_{fz,17}}^{\circ} = 1111 \text{ kJ/kg}$$

$$\dot{E}_{x_{17}} = \tilde{\epsilon}_{fz_{17}}^{\circ} * \dot{m}$$

$$\dot{E}_{x_{17}} = 1111 * 20$$

$$\dot{E}_{x_{17}} = 22220 \text{ kW}$$

18 Noktası İçin Ekserji Hesabı

$$\tilde{\epsilon}_{x_{fz,18}}^{\circ} = ((h_{18} - h_0) - T_0(s_{18} - s_0))$$

$$\tilde{\epsilon}_{x_{fz,18}}^{\circ} = ((3188 - 104.83) - (298 * (7.349 - 0.3672)))$$

$$\tilde{\epsilon}_{x_{fz,18}}^{\circ} = 1003 \text{ kJ/kg}$$

$$\dot{E}_{x_{18}} = \tilde{\epsilon}_{fz_{18}}^{\circ} * \dot{m}$$

$$\dot{E}_{x_{18}} = 1003 * 42$$

$$\dot{E}_{x_{18}} = 42126 \text{ kW}$$

19 Noktası İçin Ekserji Hesabı

$$\tilde{\epsilon}_{x_{fz,19}}^{\circ} = ((h_{19} - h_0) - T_0(s_{19} - s_0))$$

$$\tilde{\epsilon}_{x_{fz,19}}^{\circ} = ((3191 - 104.83) - (298 * (7.352 - 0.3672)))$$

$$\tilde{\epsilon}_{x_{fz,19}}^{\circ} = 1005 \text{ kJ/kg}$$

$$\dot{E}_{x_{19}} = \tilde{\epsilon}_{fz_{19}}^{\circ} * \dot{m}$$

$$\dot{E}_{x_{19}} = 1005 * 358$$

$$\dot{E}_{x_{19}} = 359790 \text{ kW}$$

İşin Ekserjisi

$$\dot{E}_{x_{w,OBT}} = \dot{W}_{OBT}$$

$$\dot{E}_{x_{w,OBT}} = 134122 \text{ kW}$$

Orta Basıncı Türbinindeki Tersinmezlik

$$\dot{I}_{OBT} = \dot{E}_{x_g} - \dot{E}_{x_{\zeta}}$$

$$\dot{I}_{OBT} = \dot{E}_{x_{16}} - \dot{E}_{x_{18}} - \dot{E}_{x_{17}} - \dot{E}_{x_{19}} - \dot{E}_{x_{w,OBT}}$$

$$\dot{I}_{OBT} = 581700 - 42126 - 22220 - 359790 - 134122$$

$$\dot{I}_{OBT} = 23442 \text{ kW}$$



Alçak Basınç Türbini için Ekserji Hesapları

Alçak basınç türbininin düğüm noktalarının ekserjileri ve alçak basınç türbinindeki tersinmezlik aşağıda hesaplanmıştır.

19 Noktası İçin Ekserji Hesabı

$$\tilde{\epsilon}_{x_{fz,19}}^{\circ} = ((h_{19} - h_0) - T_0(s_{19} - s_0))$$

$$\tilde{\epsilon}_{x_{fz,19}}^{\circ} = ((3191 - 104.83) - (298 * (7.352 - 0.3672)))$$

$$\tilde{\epsilon}_{x_{fz,19}}^{\circ} = 1005 \text{ kJ/kg}$$

$$\dot{E}_{x_{19}} = \tilde{\epsilon}_{fz_{19}}^{\circ} * \dot{m}$$

$$\dot{E}_{x_{19}} = 1005 * 358$$

$$\dot{E}_{x_{19}} = 359790 \text{ kW}$$

20 Noktası İçin Ekserji Hesabı

$$\tilde{\epsilon}_{x_{fz,20}}^{\circ} = ((h_{20} - h_0) - T_0(s_{20} - s_0))$$

$$\tilde{\epsilon}_{x_{fz,20}}^{\circ} = ((2978 - 104.83) - (298 * (7.407 - 0.3672)))$$

$$\tilde{\epsilon}_{x_{fz,20}}^{\circ} = 775 \text{ kJ/kg}$$

$$\dot{E}_{x_{20}} = \tilde{\epsilon}_{fz_{20}}^{\circ} * \dot{m}$$

$$\dot{E}_{x_{20}} = 775 * 28$$

$$\dot{E}_{x_{20}} = 21700 \text{ kW}$$

21 Noktası İçin Ekserji Hesabı

$$\tilde{\epsilon}_{x_{fz,21}}^{\circ} = ((h_{21} - h_0) - T_0(s_{21} - s_0))$$

$$\tilde{\epsilon}_{x_{fz,21}}^{\circ} = ((2726 - 104.83) - (298 * (7.488 - 0.3672)))$$

$$\tilde{\epsilon}_{x_{fz,21}}^{\circ} = 499 \text{ kJ/kg}$$

$$\dot{E}_{x_{21}} = \tilde{\epsilon}_{fz_{21}}^{\circ} * \dot{m}$$

$$\dot{E}_{x_{21}} = 499 * 14$$

$$\dot{E}_{x_{21}} = 6986 \text{ kW}$$

22 Noktası İçin Ekserji Hesabı

$$\tilde{\epsilon}_{x_{fz,22}}^{\circ} = ((h_{22} - h_0) - T_0(s_{22} - s_0))$$

$$\tilde{\epsilon}_{x_{fz,22}}^{\circ} = ((2643 - 104.83) - (298 * (7.62 - 0.3672)))$$

$$\tilde{\epsilon}_{x_{fz,22}}^{\circ} = 377 \text{ kJ/kg}$$

$$\dot{E}_{x_{22}} = \tilde{\epsilon}_{fz_{22}}^{\circ} * \dot{m}$$

$$\dot{E}_{x_{22}} = 377 * 13$$

$$\dot{E}_{x_{22}} = 4901 \text{ kW}$$

23 Noktası İçin Ekserji Hesabı

$$\tilde{\epsilon}_{x_{fz,23}}^{\circ} = ((h_{23} - h_0) - T_0(s_{23} - s_0))$$

$$\tilde{\epsilon}_{x_{fz,23}}^{\circ} = ((2607 - 104.83) - (298 * (8.05 - 0.3672)))$$

$$\tilde{\epsilon}_{x_{fz,23}}^{\circ} = 213 \text{ kJ/kg}$$

$$\dot{E}_{x_{23}} = \tilde{\epsilon}_{fz_{23}}^{\circ} * \dot{m}$$

$$\dot{E}_{x_{23}} = 213 * 15$$

$$\dot{E}_{x_{23}} = 3195 \text{ kW}$$

24 Noktası İçin Ekserji Hesabı

$$\tilde{e}_{x_{fz,24}}^{\circ} = (h_{24} - h_0) - T_0(s_{24} - s_0)$$

$$\tilde{e}_{x_{fz,24}}^{\circ} = ((2560 - 104.83) - (298 * (8.402 - 0.3672)))$$

$$\tilde{e}_{x_{fz,24}}^{\circ} = 60.8 \text{ kJ/kg}$$

$$\dot{E}_{x_{24}} = \tilde{e}_{fz,24}^{\circ} * \dot{m}$$

$$\dot{E}_{x_{24}} = 60.8 * 288$$

$$\dot{E}_{x_{24}} = 17510 \text{ kW}$$

İşin Ekserjisi

$$\dot{E}_{x_{w,ABT}} = \dot{W}_{ABT}$$

$$\dot{E}_{x_{w,ABT}} = 205588 \text{ kW}$$

Alçak Basıncı Türbinindeki Tersinmezlik

$$\dot{I}_{ABT} = \dot{E}_{x_g} - \dot{E}_{x_{\zeta}}$$

$$\dot{I}_{ABT} = \dot{E}_{x_{19}} - \dot{E}_{x_{20}} - \dot{E}_{x_{21}} - \dot{E}_{x_{22}} - \dot{E}_{x_{23}} - \dot{E}_{x_{24}} - \dot{E}_{x_{w,ABT}}$$

$$\dot{I}_{ABT} = 359790 - 21700 - 6986 - 4901 - 3195 - 17510 - 205588$$

$$\dot{I}_{ABT} = 99910 \text{ kW}$$

Kondenser için Ekserji Hesapları

Kondensere ait düğüm noktalarının ekserjileri, kondenserdeki tersiznmezlik ve soğutma suyuna aktarılan ekserji (atık ekserji) aşağıda hesaplanmıştır.

1 Noktası İçin Ekserji Hesabı

$$\tilde{\epsilon}_{x_{fz,1}}^{\circ} = ((h_1 - h_0) - T_0(s_1 - s_0))$$

$$\tilde{\epsilon}_{x_{fz,1}}^{\circ} = ((138 - 104.83) - (298 * (0.478 - 0.3672)))$$

$$\tilde{\epsilon}_{x_{fz,1}}^{\circ} = 0.15 \text{ kJ/kg}$$

$$\dot{E}_{x_1} = \tilde{\epsilon}_{fz_1}^{\circ} * \dot{m}$$

$$\dot{E}_{x_1} = 0.15 * 376$$

$$\dot{E}_{x_1} = 564 \text{ kW}$$

24 Noktası İçin Ekserji Hesabı

$$\tilde{\epsilon}_{x_{fz,24}}^{\circ} = ((h_{24} - h_0) - T_0(s_{24} - s_0))$$

$$\tilde{\epsilon}_{x_{fz,24}}^{\circ} = ((2560 - 104.83) - (298 * (8.402 - 0.3672)))$$

$$\tilde{\epsilon}_{x_{fz,24}}^{\circ} = 60.8 \text{ kJ/kg}$$

$$\dot{E}_{x_{24}} = \tilde{\epsilon}_{fz_{24}}^{\circ} * \dot{m}$$

$$\dot{E}_{x_{24}} = 60.8 * 288$$

$$\dot{E}_{x_{24}} = 17510 \text{ kW}$$

27 Noktası İçin Ekserji Hesabı

$$\tilde{\epsilon}_{x_{fz,27}}^{\circ} = ((h_{27} - h_0) - T_0(s_{27} - s_0))$$

$$\tilde{\epsilon}_{x_{fz,27}}^{\circ} = ((2568 - 104.83) - (298 * (8.32 - 0.3672)))$$

$$\tilde{\epsilon}_{x_{fz,27}}^{\circ} = 93 \text{ kJ/kg}$$

$$\dot{E}_{x_{27}} = \tilde{\epsilon}_{fz_{27}}^{\circ} * \dot{m}$$

$$\dot{E}_{x_{27}} = 93 * 18$$

$$\dot{E}_{x_{27}} = 1674 \text{ kW}$$

41 Noktası İçin Ekserji Hesabı

$$\tilde{\epsilon}_{x_{fz,41}}^{\circ} = ((h_{41} - h_0) - T_0(s_{41} - s_0))$$

$$\tilde{\epsilon}_{x_{fz,41}}^{\circ} = ((164 - 104.83) - (298 * (0.56 - 0.3672)))$$

$$\tilde{\epsilon}_{x_{fz,41}}^{\circ} = 1.72 \text{ kJ/kg}$$

$$\dot{E}_{x_{41}} = \tilde{\epsilon}_{fz_{41}}^{\circ} * \dot{m}$$

$$\dot{E}_{x_{41}} = 1.72 * 79$$

$$\dot{E}_{x_{41}} = 136 \text{ kW}$$

42 Noktası İçin Ekserji Hesabı

$$\tilde{\epsilon}_{x_{fz,42}}^{\circ} = ((h_{42} - h_0) - T_0(s_{42} - s_0))$$

$$\tilde{\epsilon}_{x_{fz,42}}^{\circ} = ((84 - 104.83) - (298 * (0.296 - 0.3672)))$$

$$\tilde{\epsilon}_{x_{fz,42}}^{\circ} = 0.39 \text{ kJ/kg}$$

$$\dot{E}_{x_{42}} = \tilde{\epsilon}_{fz_{42}}^{\circ} * \dot{m}$$

$$\dot{E}_{x_{42}} = 0.39 * 16900$$

$$\dot{E}_{x_{42}} = 6591 \text{ kW}$$

43 Noktası İçin Ekserji Hesabı

$$\tilde{\epsilon}_{x_{fz,43}}^{\circ} = ((h_{43} - h_0) - T_0(s_{43} - s_0))$$

$$\tilde{\epsilon}_{x_{fz,43}}^{\circ} = ((126 - 104.83) - (298 * (0.437 - 0.3672)))$$

$$\tilde{\epsilon}_{x_{fz,43}}^{\circ} = 0.37 \text{ kJ/kg}$$

$$\dot{E}_{x_{43}} = \tilde{\epsilon}_{fz_{43}}^{\circ} * \dot{m}$$

$$\dot{E}_{x_{43}} = 0.37 * 16900$$

$$\dot{E}_{x_{43}} = 6253 \text{ kW}$$

Kondenserdeki Tersinmezlik

$$\dot{I}_{Kondenser} = \dot{E}_{x_g} - \dot{E}_{x_{\zeta}}$$

$$\dot{I}_{Kondenser} = \dot{E}_{x_{24}} + \dot{E}_{x_{27}} + \dot{E}_{x_{41}} + \dot{E}_{x_{42}} - \dot{E}_{x_1} - \dot{E}_{x_{43}}$$

$$\dot{I}_{Kondenser} = 17510 + 1674 + 136 + 6591 - 564 - 6253$$

$$\dot{I}_{Kondenser} = 19094 \text{ kW}$$

Soğutma suyuna aktarılan ekserji (Atık ekserji);

$$\dot{I}_{soğutma\ suyu} = \dot{E}_{x_g} - \dot{E}_{x_{\zeta}}$$

$$\dot{I}_{soğutma\ suyu} = \dot{E}_{x_{42}} - \dot{E}_{x_{43}}$$

$$\dot{I}_{soğutma\ suyu} = 6591 - 6253$$

$$\dot{I}_{soğutma\ suyu} = 338 \text{ kW}$$

Besleme Suyu Pompası 1 için Ekserji Hesapları

Besleme suyu pompası 1'e ait düğüm noktalarının ekserjileri ve besleme suyu pompası 1'e ait tersinmezlik aşağıda hesaplanmıştır.

1 Noktası İçin Ekserji Hesabı

$$\tilde{\epsilon}_{x_{fz,1}}^{\circ} = ((h_1 - h_0) - T_0(s_1 - s_0))$$

$$\tilde{\epsilon}_{x_{fz,1}}^{\circ} = ((138 - 104.83) - (298 * (0.478 - 0.3672)))$$

$$\tilde{\epsilon}_{x_{fz,1}}^{\circ} = 0.15 \text{ kJ/kg}$$

$$\dot{E}_{x_1} = \tilde{\epsilon}_{fz_1}^{\circ} * \dot{m}$$

$$\dot{E}_{x_1} = 0.15 * 376$$

$$\dot{E}_{x_1} = 564 \text{ kW}$$

2 Noktası İçin Ekserji Hesabı

$$\tilde{\epsilon}_{x_{fz,2}}^{\circ} = ((h_2 - h_0) - T_0(s_2 - s_0))$$

$$\tilde{\epsilon}_{x_{fz,2}}^{\circ} = ((143 - 104.83) - (298 * (0.491 - 0.3672)))$$

$$\tilde{\epsilon}_{x_{fz,2}}^{\circ} = 1.28 \text{ kJ/kg}$$

$$\dot{E}_{x_2} = \tilde{\epsilon}_{fz_2}^{\circ} * \dot{m}$$

$$\dot{E}_{x_2} = 1.28 * 376$$

$$\dot{E}_{x_2} = 481 \text{ kW}$$

İşin Ekserjisi

$$\dot{E}_{x_{w,BSP1}} = \dot{W}_{BSP1}$$

$$\dot{E}_{x_{w,BSP1}} = 1535 \text{ kW}$$

Besleme Suyu Pompası 1 Tersinmezlik

$$\dot{I}_{BSP1} = \dot{E}_{x_g} - \dot{E}_{x_{\dot{c}}}$$

$$\dot{I}_{BSP1} = \dot{E}_{x_1} - \dot{E}_{x_2} + \dot{E}_{x_{BSP1}}$$

$$\dot{I}_{BSP1} = 564 - 481 + 1535$$

$$\dot{I}_{BSP1} = 1618 \text{ kW}$$

Besleme Suyu Pompası 2 için Ekserji Hesapları

Besleme suyu pompası 2'ye ait düğüm noktalarının ekserjileri ve besleme suyu pompası 2'ye ait tersinmezlik aşağıda hesaplanmıştır.

7 Noktası İçin Ekserji Hesabı

$$\tilde{\epsilon}_{x_{fz,7}}^{\circ} = ((h_7 - h_0) - T_0(s_7 - s_0))$$

$$\tilde{\epsilon}_{x_{fz,7}}^{\circ} = ((759 - 104.83) - (298 * (2.129 - 0.3672)))$$

$$\tilde{\epsilon}_{x_{fz,7}}^{\circ} = 129 \text{ kJ/kg}$$

$$\dot{E}_{x_7} = \tilde{\epsilon}_{x_{fz,7}}^{\circ} * \dot{m}$$

$$\dot{E}_{x_7} = 129 * 508$$

$$\dot{E}_{x_7} = 65532 \text{ kW}$$

8 Noktası İçin Ekserji Hesabı

$$\tilde{\epsilon}_{x_{fz,8}}^{\circ} = ((h_8 - h_0) - T_0(s_8 - s_0))$$

$$\tilde{\epsilon}_{x_{fz,8}}^{\circ} = ((786 - 104.83) - (298 * (2.188 - 0.3672)))$$

$$\tilde{\epsilon}_{x_{fz,8}}^{\circ} = 139 \text{ kJ/kg}$$

$$\dot{E}_{x_8} = \tilde{\epsilon}_{x_{fz,8}}^{\circ} * \dot{m}$$

$$\dot{E}_{x_8} = 139 * 508$$

$$\dot{E}_{x_8} = 70612 \text{ kW}$$

İşin Ekserjisi

$$\dot{E}_{x_{w,d. pompa}} = \dot{W}_{d.pompa}$$

$$\dot{E}_{x_{w,d. pompa}} = 15551 \text{ kW}$$

Besleme Suyu Pompası 2 Tersinmezlik

$$\dot{I}_{BSP2} = \dot{E}_{x_g} - \dot{E}_{x_{\zeta}}$$

$$\dot{I}_{BSP2} = \dot{E}_{x_7} - \dot{E}_{x_8} + \dot{E}_{x_{BSP2}}$$

$$\dot{I}_{BSP2} = 65532 - 70612 + 15551$$

$$\dot{I}_{BSP2} = 10471 \text{ kW}$$

Kazan Besleme Pompası Türbini için Ekserji Hesapları

Kazan besleme pompası türbinine ait düğüm noktalarının ekserjileri ve kazan besleme pompası türbinindeki tersinmezlik aşağıda hesaplanmıştır.

26 Noktası İçin Ekserji Hesabı

$$\tilde{e}_{x_{fz,26}}^{\circ} = (h_{26} - h_0) - T_0(s_{26} - s_0)$$

$$\tilde{e}_{x_{fz,26}}^{\circ} = ((3172 - 104.83) - (298 * (7.319 - 0.3672)))$$

$$\tilde{e}_{x_{fz,26}}^{\circ} = 996 \text{ kJ/kg}$$

$$\dot{E}_{x_{26}} = \tilde{e}_{x_{fz,26}}^{\circ} * \dot{m}$$

$$\dot{E}_{x_{26}} = 996 * 18$$

$$\dot{E}_{x_{26}} = 17928 \text{ kW}$$

27 Noktası İçin Ekserji Hesabı

$$\tilde{e}_{x_{fz,27}}^{\circ} = (h_{27} - h_0) - T_0(s_{27} - s_0)$$

$$\tilde{e}_{x_{fz,27}}^{\circ} = ((2568 - 104.83) - (298 * (8.32 - 0.3672)))$$

$$\tilde{e}_{x_{fz,27}}^{\circ} = 93 \text{ kJ/kg}$$

$$\dot{E}_{x_{27}} = \tilde{e}_{fz_{27}}^{\circ} * \dot{m}$$

$$\dot{E}_{x_{27}} = 93 * 18$$

$$\dot{E}_{x_{27}} = 1674 \text{ kW}$$

İşin Ekserjisi

$$\dot{E}_{x_{w,BFPT}} = \dot{W}_{BFPT}$$

$$\dot{E}_{x_{w,BFPT}} = 10658 \text{ kW}$$

Kazan Besleme Pompası Türbini İçin Tersinmezlik

$$\dot{I}_{BFPT} = \dot{E}_{x_g} - \dot{E}_{x_{\zeta}}$$

$$\dot{I}_{BFPT} = \dot{E}_{x_{26}} - \dot{E}_{x_{27}} - \dot{E}_{x_{BFPT}}$$

$$\dot{I}_{BFPT} = 17928 - 1674 - 10658$$

$$\dot{I}_{BFPT} = 5596 \text{ kW}$$

Alçak Basınç Isıtıcıları için Ekserji Hesapları

Alçak basınç ısıtıcılarının düğüm noktalarının ekserjileri ve alçak basınç ısıtıcılarının tersinmezlikleri aşağıda hesaplanmıştır.

KBSI 1

2 Noktası İçin Ekserji Hesabı

$$\tilde{\epsilon}_{x_{fz,2}}^{\circ} = ((h_2 - h_0) - T_0(s_2 - s_0))$$

$$\tilde{\epsilon}_{x_{fz,2}}^{\circ} = ((143 - 104.83) - (298 * (0.491 - 0.3672)))$$

$$\tilde{\epsilon}_{x_{fz,2}}^{\circ} = 1.28 \text{ kJ/kg}$$

$$\dot{E}_{x_2} = \tilde{\epsilon}_{fz_2}^{\circ} * \dot{m}$$

$$\dot{E}_{x_2} = 1.28 * 376$$

$$\dot{E}_{x_2} = 481 \text{ kW}$$

3 Noktası İçin Ekserji Hesabı

$$\tilde{\epsilon}_{x_{fz,3}}^{\circ} = ((h_3 - h_0) - T_0(s_3 - s_0))$$

$$\tilde{\epsilon}_{x_{fz,3}}^{\circ} = ((230 - 104.83) - (298 * (0.768 - 0.3672)))$$

$$\tilde{\epsilon}_{x_{fz,3}}^{\circ} = 5,7 \text{ kJ/kg}$$

$$\dot{E}_{x_3} = \tilde{\epsilon}_{fz_3}^{\circ} * \dot{m}$$

$$\dot{E}_{x_3} = 5.7 * 376$$

$$\dot{E}_{x_3} = 2143 \text{ kW}$$

23 Noktası İçin Ekserji Hesabı

$$\tilde{\epsilon}_{x_{fz,23}}^{\circ} = ((h_{23} - h_0) - T_0(s_{23} - s_0))$$

$$\tilde{\epsilon}_{x_{fz,23}}^{\circ} = ((2607 - 104.83) - (298 * (8.05 - 0.3672)))$$

$$\tilde{\epsilon}_{x_{fz,23}}^{\circ} = 213 \text{ kJ/kg}$$

$$\dot{E}_{x_{23}} = \tilde{\epsilon}_{fz_{23}}^{\circ} * \dot{m}$$

$$\dot{E}_{x_{23}} = 213 * 15$$

$$\dot{E}_{x_{23}} = 3195 \text{ kW}$$

29 Noktası İçin Ekserji Hesabı

$$\tilde{\epsilon}_{x_{fz,29}}^{\circ} = ((h_{29} - h_0) - T_0(s_{29} - s_0))$$

$$\tilde{\epsilon}_{x_{fz,29}}^{\circ} = ((260 - 104.83) - (298 * (0.857 - 0.3672)))$$

$$\tilde{\epsilon}_{x_{fz,29}}^{\circ} = 9.2 \text{ kJ/kg}$$

$$\dot{E}_{x_{29}} = \tilde{\epsilon}_{fz_{29}}^{\circ} * \dot{m}$$

$$\dot{E}_{x_{29}} = 9.2 * 55$$

$$\dot{E}_{x_{29}} = 506 \text{ kW}$$

41 Noktası İçin Ekserji Hesabı

$$\tilde{\epsilon}_{x_{fz,41}}^{\circ} = ((h_{41} - h_0) - T_0(s_{41} - s_0))$$

$$\tilde{\epsilon}_{x_{fz,41}}^{\circ} = ((164 - 104.83) - (298 * (0.56 - 0.3672)))$$

$$\tilde{\epsilon}_{x_{fz,41}}^{\circ} = 1.72 \text{ kJ/kg}$$

$$\dot{E}_{x_{41}} = \tilde{\epsilon}_{fz_{41}}^{\circ} * \dot{m}$$

$$\dot{E}_{x_{41}} = 1.72 * 79$$

$$\dot{E}_{x_{41}} = 136 \text{ kW}$$

KBSI 1 İçin Tersinmezlik

$$\dot{I}_{ABI1} = \dot{E}_{x_g} - \dot{E}_{x_{\zeta}}$$

$$\dot{I}_{ABI1} = \dot{E}_{x_2} + \dot{E}_{x_{23}} + \dot{E}_{x_{29}} - \dot{E}_{x_3} - \dot{E}_{x_{41}}$$

$$\dot{I}_{ABI1} = 481 + 3195 + 506 - 2143 - 136$$

$$\dot{I}_{KBSI1} = 1903 \text{ kW}$$

KBSI 2

3 Noktası İçin Ekserji Hesabı

$$\tilde{\epsilon}_{x_{fz,3}}^{\circ} = ((h_3 - h_0) - T_0(s_3 - s_0))$$

$$\tilde{\epsilon}_{x_{fz,3}}^{\circ} = ((230 - 104.83) - (298 * (0.768 - 0.3672)))$$

$$\tilde{\epsilon}_{x_{fz,3}}^{\circ} = 5.7 \text{ kJ/kg}$$

$$\dot{E}_{x_3} = \tilde{\epsilon}_{fz_3}^{\circ} * \dot{m}$$

$$\dot{E}_{x_3} = 5.7 * 376$$

$$\dot{E}_{x_3} = 2143 \text{ kW}$$

4 Noktası İçin Ekserji Hesabı

$$\tilde{\epsilon}_{x_{fz,4}}^{\circ} = ((h_4 - h_0) - T_0(s_4 - s_0))$$

$$\tilde{\epsilon}_{x_{fz,4}}^{\circ} = ((314 - 104.83) - (298 * (1.016 - 0.3672)))$$

$$\tilde{\epsilon}_{x_{fz,4}}^{\circ} = 15.8 \text{ kJ/kg}$$

$$\dot{E}_{x_4} = \tilde{\epsilon}_{fz_4}^{\circ} * \dot{m}$$

$$\dot{E}_{x_4} = 15.8 * 376$$

$$\dot{E}_{x_4} = 5941 \text{ kW}$$

22 Noktası İçin Ekserji Hesabı

$$\tilde{\epsilon}_{x_{fz,22}}^{\circ} = ((h_{22} - h_0) - T_0(s_{22} - s_0))$$

$$\tilde{\epsilon}_{x_{fz,22}}^{\circ} = ((2643 - 104.83) - (298 * (7.62 - 0.3672)))$$

$$\tilde{\epsilon}_{x_{fz,22}}^{\circ} = 377 \text{ kJ/kg}$$

$$\dot{E}_{x_{22}} = \tilde{\epsilon}_{fz_{22}}^{\circ} * \dot{m}$$

$$\dot{E}_{x_{22}} = 377 * 13$$

$$\dot{E}_{x_{22}} = 4901 \text{ kW}$$

28 Noktası İçin Ekserji Hesabı

$$\tilde{\epsilon}_{x_{fz,28}}^{\circ} = ((h_{28} - h_0) - T_0(s_{28} - s_0))$$

$$\tilde{\epsilon}_{x_{fz,28}}^{\circ} = ((260 - 104.83) - (298 * (0.857 - 0.3672)))$$

$$\tilde{\epsilon}_{x_{fz,28}}^{\circ} = 9.2 \text{ kJ/kg}$$

$$\dot{E}_{x_{28}} = \tilde{\epsilon}_{fz_{28}}^{\circ} * \dot{m}$$

$$\dot{E}_{x_{28}} = 9.2 * 55$$

$$\dot{E}_{x_{28}} = 506 \text{ kW}$$

31 Noktası İçin Ekserji Hesabı

$$\tilde{\epsilon}_{x_{fz,31}}^{\circ} = ((h_{31} - h_0) - T_0(s_{31} - s_0))$$

$$\tilde{\epsilon}_{x_{fz,31}}^{\circ} = ((348 - 104.83) - (298 * (1.111 - 0.3672)))$$

$$\tilde{\epsilon}_{x_{fz,31}}^{\circ} = 21.5 \text{ kJ/kg}$$

$$\dot{E}_{x_{31}} = \tilde{\epsilon}_{fz_{31}}^{\circ} * \dot{m}$$

$$\dot{E}_{x_{31}} = 21.5 * 42$$

$$\dot{E}_{x_{31}} = 903 \text{ kW}$$

KBSI 2 İçin Tersinmezlik

$$\dot{I}_{\text{KBSI2}} = \dot{E}_{x_g} - \dot{E}_{x_{\zeta}}$$

$$\dot{I}_{\text{KBSI2}} = \dot{E}_{x_3} + \dot{E}_{x_{22}} + \dot{E}_{x_{31}} - \dot{E}_{x_4} - \dot{E}_{x_{28}}$$

$$\dot{I}_{\text{KBSI2}} = 2143 + 4901 + 903 - 5941 - 506$$

$$\dot{I}_{\text{KBSI2}} = 1500 \text{ kW}$$

KBSI 3

4 Noktası İçin Ekserji Hesabı

$$\tilde{\epsilon}_{x_{fz,4}}^{\circ} = ((h_4 - h_0) - T_0(s_4 - s_0))$$

$$\tilde{\epsilon}_{x_{fz,4}}^{\circ} = ((314 - 104.83) - (298 * (1.016 - 0.3672)))$$

$$\tilde{\epsilon}_{x_{fz,4}}^{\circ} = 15.8 \text{ kJ/kg}$$

$$\dot{E}_{x_4} = \tilde{\epsilon}_{fz_4}^{\circ} * \dot{m}$$

$$\dot{E}_{x_4} = 15.8 * 376$$

$$\dot{E}_{x_4} = 5941 \text{ kW}$$

5 Noktası İçin Ekserji Hesabı

$$\tilde{\epsilon}_{x_{fz,5}}^{\circ} = ((h_5 - h_0) - T_0(s_5 - s_0))$$

$$\tilde{\epsilon}_{x_{fz,5}}^{\circ} = ((402 - 104.83) - (298 * (1.262 - 0.3672)))$$

$$\tilde{\epsilon}_{x_{fz,5}}^{\circ} = 30.5 \text{ kJ/kg}$$

$$\dot{E}_{x_5} = \tilde{\epsilon}_{fz_5}^{\circ} * \dot{m}$$

$$\dot{E}_{x_5} = 30.5 * 376$$

$$\dot{E}_{x_5} = 11468 \text{ kW}$$

21 Noktası İçin Ekserji Hesabı

$$\tilde{\epsilon}_{x_{fz,21}}^{\circ} = ((h_{21} - h_0) - T_0(s_{21} - s_0))$$

$$\tilde{\epsilon}_{x_{fz,21}}^{\circ} = ((2726 - 104.83) - (298 * (7.488 - 0.3672)))$$

$$\tilde{\epsilon}_{x_{fz,21}}^{\circ} = 499 \text{ kJ/kg}$$

$$\dot{E}_{x_{21}} = \tilde{\epsilon}_{fz_{21}}^{\circ} * \dot{m}$$

$$\dot{E}_{x_{21}} = 499 * 14$$

$$\dot{E}_{x_{21}} = 6986 \text{ kW}$$

30 Noktası İçin Ekserji Hesabı

$$\tilde{\epsilon}_{x_{fz,30}}^{\circ} = ((h_{30} - h_0) - T_0(s_{30} - s_0))$$

$$\tilde{\epsilon}_{x_{fz,30}}^{\circ} = ((348 - 104.83) - (298 * (1.111 - 0.3672)))$$

$$\tilde{\epsilon}_{x_{fz,30}}^{\circ} = 21.5 \text{ kJ/kg}$$

$$\dot{E}_{x_{30}} = \tilde{\epsilon}_{fz_{30}}^{\circ} * \dot{m}$$

$$\dot{E}_{x_{30}} = 21.5 * 42$$

$$\dot{E}_{x_{30}} = 903 \text{ kW}$$

33 Noktası İçin Ekserji Hesabı

$$\tilde{\epsilon}_{x_{fz,33}}^{\circ} = ((h_{33} - h_0) - T_0(s_{33} - s_0))$$

$$\tilde{\epsilon}_{x_{fz,33}}^{\circ} = ((436 - 104.83) - (298 * (1.352 - 0.3672)))$$

$$\tilde{\epsilon}_{x_{fz,33}}^{\circ} = 37.7 \text{ kJ/kg}$$

$$\dot{E}_{x_{33}} = \tilde{\epsilon}_{fz_{33}}^{\circ} * \dot{m}$$

$$\dot{E}_{x_{33}} = 37.7 * 28$$

$$\dot{E}_{x_{33}} = 1056 \text{ kW}$$

KBSI 3 İçin Tersinmezlik

$$\dot{I}_{\text{KBSI3}} = \dot{E}_{x_g} - \dot{E}_{x_{\zeta}}$$

$$\dot{I}_{\text{KBSI3}} = \dot{E}_{x_4} + \dot{E}_{x_{21}} + \dot{E}_{x_{33}} - \dot{E}_{x_5} - \dot{E}_{x_{30}}$$

$$\dot{I}_{\text{KBSI3}} = 5941 + 6986 + 1056 - 11468 - 903$$

$$\dot{I}_{\text{KBSI3}} = 1612 \text{ kW}$$

KBSI 4

5 Noktası İçin Ekserji Hesabı

$$\tilde{\epsilon}_{x_{fz,5}}^{\circ} = ((h_5 - h_0) - T_0(s_5 - s_0))$$

$$\tilde{\epsilon}_{x_{fz,5}}^{\circ} = ((402 - 104.83) - (298 * (1.262 - 0.3672)))$$

$$\tilde{\epsilon}_{x_{fz,5}}^{\circ} = 30.5 \text{ kJ/kg}$$

$$\dot{E}_{x_5} = \tilde{\epsilon}_{fz_5}^{\circ} * \dot{m}$$

$$\dot{E}_{x_5} = 30.5 * 376$$

$$\dot{E}_{x_5} = 11468 \text{ kW}$$

6 Noktası İçin Ekserji Hesabı

$$\tilde{\epsilon}_{x_{fz,6}}^{\circ} = ((h_6 - h_0) - T_0(s_6 - s_0))$$

$$\tilde{\epsilon}_{x_{fz,6}}^{\circ} = ((589 - 104.83) - (298 * (1.75 - 0.3672)))$$

$$\tilde{\epsilon}_{x_{fz,6}}^{\circ} = 72 \text{ kJ/kg}$$

$$\dot{E}_{x_6} = \tilde{\epsilon}_{fz_6}^{\circ} * \dot{m}$$

$$\dot{E}_{x_6} = 72 * 376$$

$$\dot{E}_{x_6} = 27072 \text{ kW}$$

20 Noktası İçin Ekserji Hesabı

$$\tilde{\epsilon}_{x_{fz,20}}^{\circ} = ((h_{20} - h_0) - T_0(s_{20} - s_0))$$

$$\tilde{\epsilon}_{x_{fz,20}}^{\circ} = ((2978 - 104.83) - (298 * (7.407 - 0.3672)))$$

$$\tilde{\epsilon}_{x_{fz,20}}^{\circ} = 775 \text{ kJ/kg}$$

$$\dot{E}_{x_{20}} = \tilde{\epsilon}_{fz_{20}}^{\circ} * \dot{m}$$

$$\dot{E}_{x_{20}} = 775 * 28$$

$$\dot{E}_{x_{20}} = 21700 \text{ kW}$$

32 Noktası İçin Ekserji Hesabı

$$\tilde{e}_{x_{fz,32}}^{\circ} = (h_{32} - h_0) - T_0(s_{32} - s_0)$$

$$\tilde{e}_{x_{fz,32}}^{\circ} = ((436 - 104.83) - (298 * (1.352 - 0.3672)))$$

$$\tilde{e}_{x_{fz,32}}^{\circ} = 37.7 \text{ kJ/kg}$$

$$\dot{E}_{x_{32}} = \tilde{e}_{fz_{32}}^{\circ} * \dot{m}$$

$$\dot{E}_{x_{32}} = 37.7 * 28$$

$$\dot{E}_{x_{32}} = 1056 \text{ kW}$$

KBSI 4 İçin Tersinmezlik

$$\dot{I}_{\text{KBSI4}} = \dot{E}_{x_g} - \dot{E}_{x_{\zeta}}$$

$$\dot{I}_{\text{KBSI4}} = \dot{E}_{x_5} + \dot{E}_{x_{20}} - \dot{E}_{x_6} - \dot{E}_{x_{32}}$$

$$\dot{I}_{\text{KBSI4}} = 11468 + 21700 - 27072 - 1056$$

$$\dot{I}_{\text{KBSI4}} = 5040 \text{ kW}$$

Degazör için Ekserji Hesapları

Degazöre ait düğüm noktalarının ekserjileri ve degazördeki tersinmezlik aşağıda hesaplanmıştır.

6 Noktası İçin Ekserji Hesabı

$$\tilde{\epsilon}_{x_{fz,6}}^{\circ} = ((h_6 - h_0) - T_0(s_6 - s_0))$$

$$\tilde{\epsilon}_{x_{fz,6}}^{\circ} = ((589 - 104.83) - (298 * (1.75 - 0.3672)))$$

$$\tilde{\epsilon}_{x_{fz,6}}^{\circ} = 72 \text{ kJ/kg}$$

$$\dot{E}_{x_6} = \tilde{\epsilon}_{fz_6}^{\circ} * \dot{m}$$

$$\dot{E}_{x_6} = 72 * 376$$

$$\dot{E}_{x_6} = 27072 \text{ kW}$$

7 Noktası İçin Ekserji Hesabı

$$\tilde{\epsilon}_{x_{fz,7}}^{\circ} = ((h_7 - h_0) - T_0(s_7 - s_0))$$

$$\tilde{\epsilon}_{x_{fz,7}}^{\circ} = ((759 - 104.83) - (298 * (2.129 - 0.3672)))$$

$$\tilde{\epsilon}_{x_{fz,7}}^{\circ} = 129 \text{ kJ/kg}$$

$$\dot{E}_{x_7} = \tilde{\epsilon}_{fz,7}^{\circ} * \dot{m}$$

$$\dot{E}_{x_7} = 129 * 508$$

$$\dot{E}_{x_7} = 65532 \text{ kW}$$

40 Noktası İçin Ekserji Hesabı

$$\tilde{\epsilon}_{x_{fz,40}}^{\circ} = ((h_{40} - h_0) - T_0(s_{40} - s_0))$$

$$\tilde{\epsilon}_{x_{fz,40}}^{\circ} = ((3169 - 104.83) - (298 * (7.319 - 0.3672)))$$

$$\tilde{\epsilon}_{x_{fz,40}}^{\circ} = 993 \text{ kJ/kg}$$

$$\dot{E}_{x_{40}} = \tilde{\epsilon}_{x_{fz,40}}^{\circ} * \dot{m}$$

$$\dot{E}_{x_{40}} = 993 * 24$$

$$\dot{E}_{x_{40}} = 23832 \text{ kW}$$

35 Noktası İçin Ekserji Hesabı

$$\tilde{\epsilon}_{x_{fz,35}}^{\circ} = ((h_{35} - h_0) - T_0(s_{35} - s_0))$$

$$\tilde{\epsilon}_{x_{fz,35}}^{\circ} = ((807 - 104.83) - (298 * (2.236 - 0.3672)))$$

$$\tilde{\epsilon}_{x_{fz,35}}^{\circ} = 145 \text{ kJ/kg}$$

$$\dot{E}_{x_{35}} = \tilde{\epsilon}_{x_{fz,35}}^{\circ} * \dot{m}$$

$$\dot{E}_{x_{35}} = 145 * 108$$

$$\dot{E}_{x_{35}} = 15660 \text{ kW}$$

Degazör İçin Tersinmezlik

$$\dot{I}_{Degazör} = \dot{E}_{x_g} - \dot{E}_{x_{\zeta}}$$

$$\dot{I}_{Degazör} = \dot{E}_{x_6} + \dot{E}_{x_{40}} + \dot{E}_{x_{35}} - \dot{E}_{x_7}$$

$$\dot{I}_{Degazör} = 27072 + 23832 + 15660 - 65532$$

$$\dot{I}_{Degazör} = 1032 \text{ kW}$$

Yüksek Basınç Isıtıcıları için Ekserji Hesapları

Yüksek basınç ısıtıcılarına ait düğüm noktalarının ekserjileri ve yüksek basınç ısıtıcılarına ait tersinmezlik aşağıda hesaplanmıştır.

KBSI 5

8 Noktası İçin Ekserji Hesabı

$$\tilde{\epsilon}_{x_{fz,8}}^{\circ} = ((h_8 - h_0) - T_0(s_8 - s_0))$$

$$\tilde{\epsilon}_{x_{fz,8}}^{\circ} = ((786 - 104.83) - (298 * (2.188 - 0.3672)))$$

$$\tilde{\epsilon}_{x_{fz,8}}^{\circ} = 139 \text{ kJ/kg}$$

$$\dot{E}_{x_8} = \tilde{\epsilon}_{x_{fz,8}}^{\circ} * \dot{m}$$

$$\dot{E}_{x_8} = 139 * 508$$

$$\dot{E}_{x_8} = 70612 \text{ kW}$$

9 Noktası İçin Ekserji Hesabı

$$\tilde{\epsilon}_{x_{fz,9}}^{\circ} = ((h_9 - h_0) - T_0(s_9 - s_0))$$

$$\tilde{\epsilon}_{x_{fz,9}}^{\circ} = ((898 - 104.83) - (298 * (2.425 - 0.3672)))$$

$$\tilde{\epsilon}_{x_{fz,9}}^{\circ} = 180 \text{ kJ/kg}$$

$$\dot{E}_{x_9} = \tilde{\epsilon}_{x_{fz,9}}^{\circ} * \dot{m}$$

$$\dot{E}_{x_9} = 180 * 508$$

$$\dot{E}_{x_9} = 91440 \text{ kW}$$

17 Noktası İçin Ekserji Hesabı

$$\tilde{\epsilon}_{x_{fz,17}}^{\circ} = ((h_{17} - h_0) - T_0(s_{17} - s_0))$$

$$\tilde{\epsilon}_{x_{fz,17}}^{\circ} = ((3284 - 104.83) - (298 * (7.306 - 0.3672)))$$

$$\tilde{\epsilon}_{x_{fz,17}}^{\circ} = 1111 \text{ kJ/kg}$$

$$\dot{E}_{x_{17}} = \tilde{\epsilon}_{fz,17}^{\circ} * \dot{m}$$

$$\dot{E}_{x_{17}} = 1111 * 20$$

$$\dot{E}_{x_{17}} = 22220 \text{ kW}$$

34 Noktası İçin Ekserji Hesabı

$$\tilde{\epsilon}_{x_{fz,34}}^{\circ} = ((h_{34} - h_0) - T_0(s_{34} - s_0))$$

$$\tilde{\epsilon}_{x_{fz,34}}^{\circ} = ((807 - 104.83) - (298 * (2.236 - 0.3672)))$$

$$\tilde{\epsilon}_{x_{fz,34}}^{\circ} = 145 \text{ kJ/kg}$$

$$\dot{E}_{x_{34}} = \tilde{\epsilon}_{fz,34}^{\circ} * \dot{m}$$

$$\dot{E}_{x_{34}} = 145 * 108$$

$$\dot{E}_{x_{34}} = 15660 \text{ kW}$$

37 Noktası İçin Ekserji Hesabı

$$\tilde{\epsilon}_{x_{fz,37}}^{\circ} = ((h_{34} - h_0) - T_0(s_{34} - s_0))$$

$$\tilde{\epsilon}_{x_{fz,37}}^{\circ} = ((925 - 104.83) - (298 * (2.480 - 0.3672)))$$

$$\tilde{\epsilon}_{x_{fz,37}}^{\circ} = 191 \text{ kJ/kg}$$

$$\dot{E}_{x_{37}} = \tilde{\epsilon}_{fz,37}^{\circ} * \dot{m}$$

$$\dot{E}_{x_{37}} = 191 * 88$$

$$\dot{E}_{x_{37}} = 16808 \text{ kW}$$

KBSI 5 İçin Tersinmezlik

$$\dot{I}_{KBSI5} = \dot{E}_{x_g} - \dot{E}_{x_{\zeta}}$$

$$\dot{I}_{KBSI5} = \dot{E}_{x_8} + \dot{E}_{x_{17}} + \dot{E}_{x_{37}} - \dot{E}_{x_9} - \dot{E}_{x_{34}}$$

$$\dot{I}_{KBSI5} = 70612 + 22220 + 16808 - 91440 - 15660$$

$$\dot{I}_{KBSI5} = 2540 \text{ kW}$$

KBSI 6

9 Noktası İçin Ekserji Hesabı

$$\tilde{\epsilon}_{x_{fz,9}}^{\circ} = ((h_9 - h_0) - T_0(s_9 - s_0))$$

$$\tilde{\epsilon}_{x_{fz,9}}^{\circ} = ((898 - 104.83) - (298 * (2.425 - 0.3672)))$$

$$\tilde{\epsilon}_{x_{fz,9}}^{\circ} = 180 \text{ kJ/kg}$$

$$\dot{E}_{x_9} = \tilde{\epsilon}_{x_{fz,9}}^{\circ} * \dot{m}$$

$$\dot{E}_{x_9} = 180 * 508$$

$$\dot{E}_{x_9} = 91440 \text{ kW}$$

10 Noktası İçin Ekserji Hesabı

$$\tilde{\epsilon}_{x_{fz,10}}^{\circ} = ((h_{10} - h_0) - T_0(s_{10} - s_0))$$

$$\tilde{\epsilon}_{x_{fz,10}}^{\circ} = ((1096 - 104.83) - (298 * (2.810 - 0.3672)))$$

$$\tilde{\epsilon}_{x_{fz,10}}^{\circ} = 263 \text{ kJ/kg}$$

$$\dot{E}_{x_{10}} = \tilde{\epsilon}_{x_{fz,10}}^{\circ} * \dot{m}$$

$$\dot{E}_{x_{10}} = 263 * 508$$

$$\dot{E}_{x_{10}} = 133604 \text{ kW}$$

25 Noktası İçin Ekserji Hesabı

$$\tilde{\epsilon}_{x_{fz,25}}^{\circ} = ((h_{25} - h_0) - T_0(s_{10} - s_0))$$

$$\tilde{\epsilon}_{x_{fz,25}}^{\circ} = ((2966 - 104.83) - (298 * (6.322 - 0.3672)))$$

$$\tilde{\epsilon}_{x_{fz,25}}^{\circ} = 1087 \text{ kJ/kg}$$

$$\dot{E}_{x_{25}} = \tilde{\epsilon}_{x_{fz,25}}^{\circ} * \dot{m}$$

$$\dot{E}_{x_{25}} = 1087 * 45$$

$$\dot{E}_{x_{25}} = 48915 \text{ kW}$$

36 Noktası İçin Ekserji Hesabı

$$\tilde{\epsilon}_{x_{fz,36}}^{\circ} = ((h_{36} - h_0) - T_0(s_{36} - s_0))$$

$$\tilde{\epsilon}_{x_{fz,36}}^{\circ} = ((925 - 104.83) - (298 * (2.48 - 0.3672)))$$

$$\tilde{\epsilon}_{x_{fz,36}}^{\circ} = 191 \text{ kJ/kg}$$

$$\dot{E}_{x_{36}} = \tilde{\epsilon}_{x_{fz,36}}^{\circ} * \dot{m}$$

$$\dot{E}_{x_{36}} = 191 * 88$$

$$\dot{E}_{x_{36}} = 16808 \text{ kW}$$

38 Noktası İçin Ekserji Hesabı

$$\tilde{\epsilon}_{x_{fz,38}}^{\circ} = ((h_{38} - h_0) - T_0(s_{38} - s_0))$$

$$\tilde{\epsilon}_{x_{fz,38}}^{\circ} = ((1134 - 104.83) - (298 * (2.885 - 0.3672)))$$

$$\tilde{\epsilon}_{x_{fz,38}}^{\circ} = 279 \text{ kJ/kg}$$

$$\dot{E}_{x_{38}} = \tilde{\epsilon}_{x_{fz,38}}^{\circ} * \dot{m}$$

$$\dot{E}_{x_{38}} = 279 * 43$$

$$\dot{E}_{x_{38}} = 11997 \text{ kW}$$

KBSI 6 İçin Tersinmezlik

$$\dot{I}_{KBSI6} = \dot{E}_{x_g} - \dot{E}_{x_{\zeta}}$$

$$\dot{I}_{KBSI6} = \dot{E}_{x_9} + \dot{E}_{x_{25}} + \dot{E}_{x_{38}} - \dot{E}_{x_{10}} - \dot{E}_{x_{36}}$$

$$\dot{I}_{KBSI6} = 91440 + 48915 + 11997 - 133604 - 16808$$

$$\dot{I}_{KBSI6} = 1940 \text{ kW}$$

KBSI 7

10 Noktası İçin Ekserji Hesabı

$$\tilde{\epsilon}_{x_{fz,10}}^{\circ} = ((h_{10} - h_0) - T_0(s_{10} - s_0))$$

$$\tilde{\epsilon}_{x_{fz,10}}^{\circ} = ((1096 - 104.83) - (298 * (2.810 - 0.3672)))$$

$$\tilde{\epsilon}_{x_{fz,10}}^{\circ} = 263 \text{ kJ/kg}$$

$$\dot{E}_{x_{10}} = \tilde{\epsilon}_{x_{fz,10}}^{\circ} * \dot{m}$$

$$\dot{E}_{x_{10}} = 263 * 508$$

$$\dot{E}_{x_{10}} = 133604 \text{ kW}$$

11 Noktası İçin Ekserji Hesabı

$$\tilde{e}_{x_{fz,11}}^{\circ} = (h_{11} - h_0) - T_0(s_{11} - s_0)$$

$$\tilde{e}_{x_{fz,11}}^{\circ} = ((1242 - 104.83) - 298 * (3.077 - 0.3672))$$

$$\tilde{e}_{x_{fz,11}}^{\circ} = 330 \text{ kJ/kg}$$

$$\dot{E}_{x_{11}} = \tilde{e}_{fz,11}^{\circ} * \dot{m}$$

$$\dot{E}_{x_{11}} = 330 * 508$$

$$\dot{E}_{x_{11}} = 167640 \text{ kW}$$

13 Noktası İçin Ekserji Hesabı

$$\tilde{e}_{x_{fz,13}}^{\circ} = (h_{13} - h_0) - T_0(s_{13} - s_0)$$

$$\tilde{e}_{x_{fz,13}}^{\circ} = ((3057 - 104.83) - (298 * (6.356 - 0.3672)))$$

$$\tilde{e}_{x_{fz,13}}^{\circ} = 1168 \text{ kJ/kg}$$

$$\dot{E}_{x_{13}} = \tilde{e}_{fz,13}^{\circ} * \dot{m}$$

$$\dot{E}_{x_{13}} = 1168 * 43$$

$$\dot{E}_{x_{13}} = 50224 \text{ kW}$$

39 Noktası İçin Ekserji Hesabı

$$\tilde{e}_{x_{fz,39}}^{\circ} = (h_{39} - h_0) - T_0(s_{39} - s_0)$$

$$\tilde{\epsilon}_{x_{fz,39}}^{\circ} = ((1134 - 104.83) - (298 * (2.885 - 0.3672)))$$

$$\tilde{\epsilon}_{x_{fz,39}}^{\circ} = 279 \text{ kJ/kg}$$

$$\dot{E}_{x_{39}} = \tilde{\epsilon}_{x_{fz,39}}^{\circ} * \dot{m}$$

$$\dot{E}_{x_{39}} = 279 * 43$$

$$\dot{E}_{x_{39}} = 11997 \text{ kW}$$

KBSI 7 İçin Tersinmezlik

$$\dot{I}_{\text{KBSI7}} = \dot{E}_{x_g} - \dot{E}_{x_{\zeta}}$$

$$\dot{I}_{\text{KBSI7}} = \dot{E}_{x_{10}} + \dot{E}_{x_{13}} - \dot{E}_{x_{11}} - \dot{E}_{x_{39}}$$

$$\dot{I}_{\text{KBSI7}} = 133604 + 50224 - 167640 - 11997$$

$$\dot{I}_{\text{KBSI7}} = 4191 \text{ kW}$$

Santralin Genel İkinci Yasa Verimi

Santralin genel ikinci yasa verimi için hesaplanan değerler Çizelge 8.3'teki tabloda gösterilmiştir.

Çizelge 8.3 Yakıt Ekserjisi, Türbin ve Pompa Güçleri

Eleman	kW
Birim Zamandaki Yakıt Ekserjisi	1565829
Yüksek Basınç Türbin Gücü	197142
Orta Basınç Türbin Gücü	134122
Alçak Basınç Türbin Gücü	205588
Besleme Suyu Pompası 1 Gücü	-1535
Besleme Suyu Pompası 2 Gücü	-15551
Turbo-Generator Kayıp Güç	-27766

$$\dot{W}_{net,e} = 197142 + 134122 + 205588 - 1535 - 15551 - 27766$$

$$\dot{W}_{net,e} = 492000 \text{ kW}$$

$$\eta_{IIY} = \frac{\dot{W}_{net,e}}{\sum \dot{E}_{x_{yakıt}}}$$

$$\eta_{IIY} = \frac{492000 \text{ kW}}{1565829 \text{ kW}} = \% 31.4$$

BÖLÜM 9

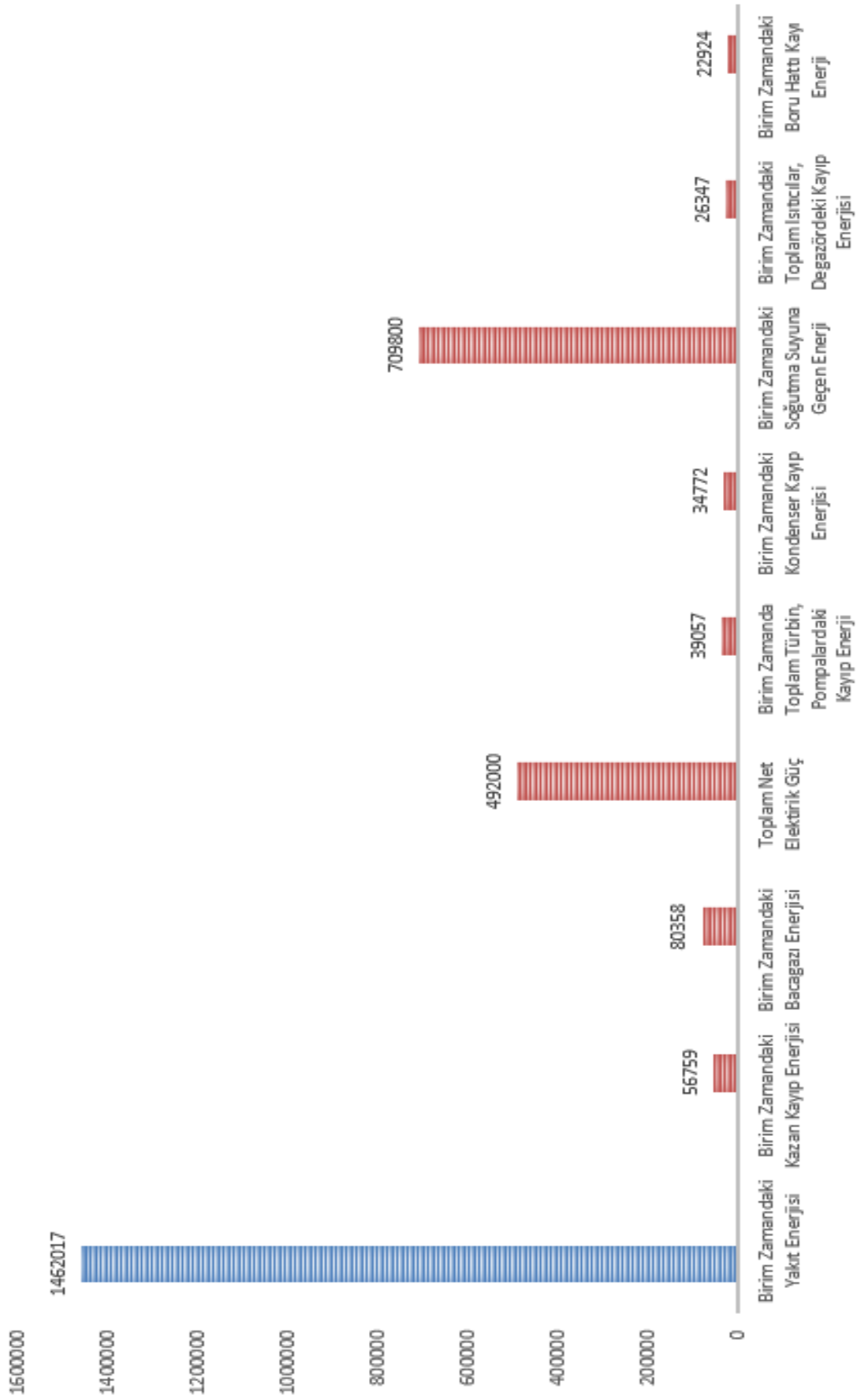
SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

9.1. Enerji Analizi Sonuçları

İncelemesi yapılan santralin birinci kanun analizi sonucunda hesaplanan değerler Çizelge 9.1.1’de ve bar olarak Şekil 9.1.1’de sunulmuştur.

Çizelge 9.1.1 Tesisin Birim Zamandaki Enerji Bilançosu

	Giren (kW)	Çıkan (kW)
Birim Zamandaki Yakıt Enerjisi	1462017	
Birim Zamandaki Kazan Kayıp Enerjisi		56759
Birim Zamandaki Bacagazı Enerjisi		80358
Toplam Net Elektrik Güç		492000
Birim Zamanda Toplam Türbin, Pompalardaki Kayıp Enerji		39057
Birim Zamandaki Kondenser Kayıp Enerjisi		34772
Birim Zamandaki Soğutma Suyuna Geçen Enerji		709800
Birim Zamandaki Toplam Isıtıcılar, Degazördeki Kayıp Enerjisi		26347
Birim Zamandaki Boru Hattı Kayı Enerji		22924
Toplam	1462017	1462017



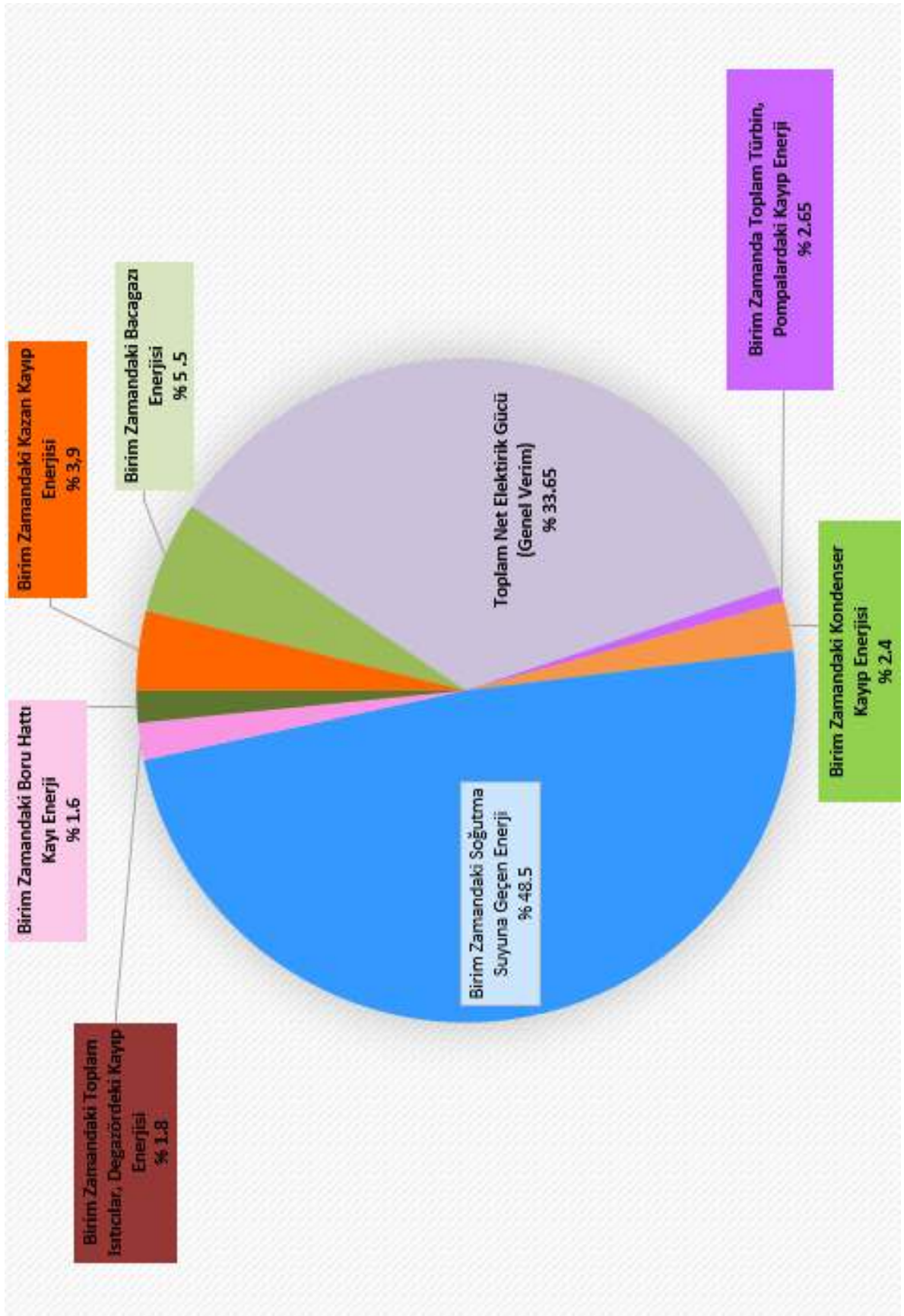
Şekil 9.1.1 Tesisin Enerji Bilançosu

Çizelge 9.1.1 ve Şekil 9.1.1'den de görüldüğü gibi santralde kullanılan 1462017 kW'lık birim zamandaki yakıt enerjisinden, 492000 kWe tüm türbinlerden toplam elektrik gücü elde edilmiştir. Kondenserde türbinden çıkan yaş buharı yoğuşturmak amacı ile soğutma suyuna verilen enerjinin de oldukça büyük ve 709800 kW değerinde olarak belirlenmiştir. Enerji analizi açısından bakıldığında bu değerin çok büyük olması, soğutma suyunun kütsel debisinin çok yüksek olmasından kaynaklanmaktadır (yüksek debi düşük sıcaklık). Fakat sıcaklığının düşük olduğunu ve sadece nicelik açısından bakıldığında çok büyük olarak belirtmek gerekir. Kazandaki ısı kayıplarından kaynaklanan enerji kaybı ve baca gazları ile çevreye atılan enerji sırasıyla 56759 kW ve 80358 kW olarak hesaplanmıştır. Diğer bazı ekipmanlardaki enerji kayıplarının düşük değerlerde olduğu Şekil 9.1.1'den görülmektedir.

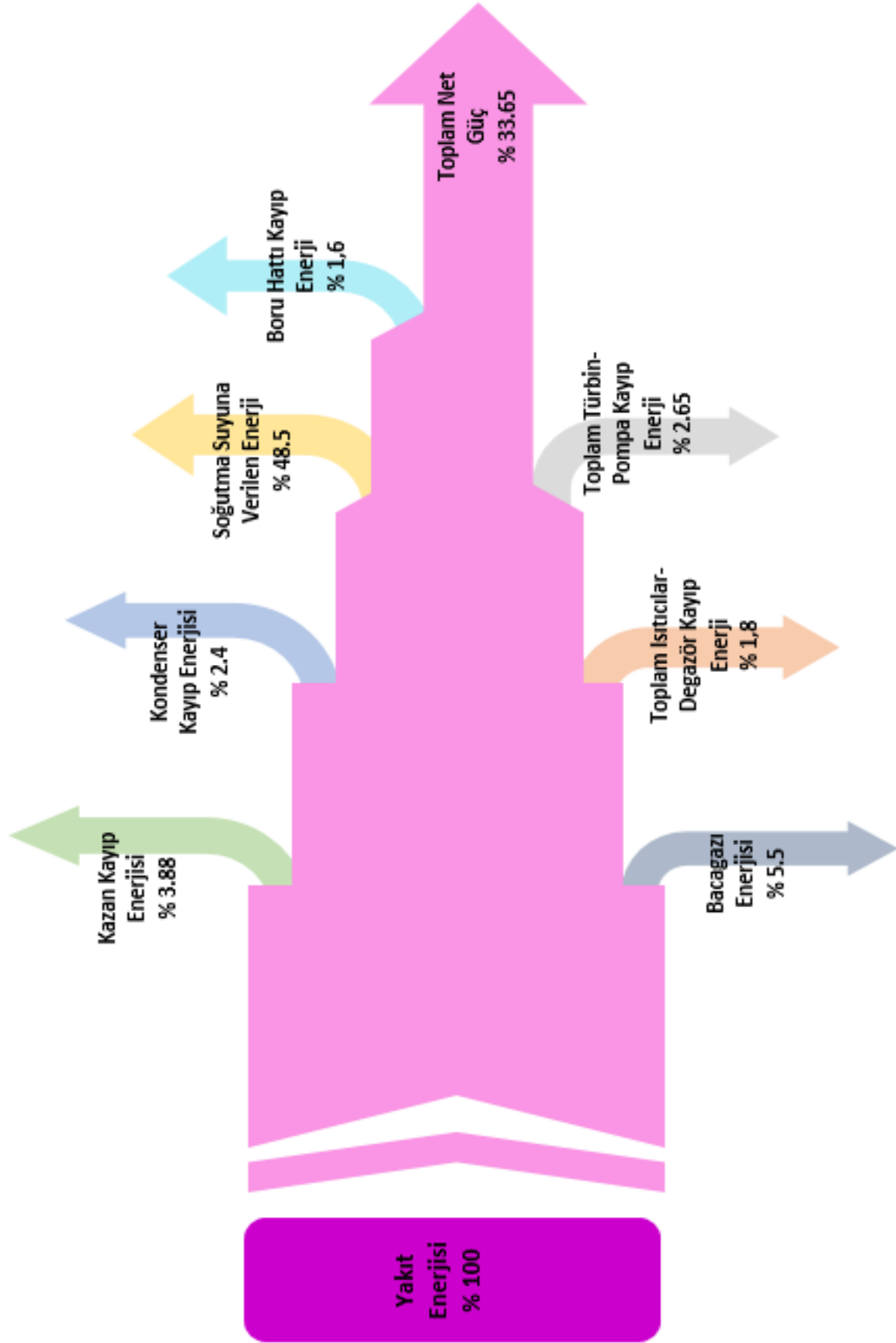
Bulunan sonuçların, yakıt enerjisine göre % değerleri Çizelge 9.1.2, Şekil 9.1.2 ve Şekil 9.1.3 sunulmuştur. Santralde kullanılan yakıt enerjisine göre; baca gazları ile çevreye verilen enerji %'si 5.5, net elektrik gücü %'si (genel verim) 33.65, türbinden çıkan yaş buharın yoğuşturulması amacıyla kullanılan soğutma suyuna geçen enerji %'si 48.5 olarak hesaplanmıştır. Soğutma suyuna geçen enerji yüzdesinin yüksek olması yukarıda da ifade edildiği gibi kütsel debinin çok yüksek olmasından kaynaklanmaktadır. Dolayısıyla dikkate alınmasa da anlamlı olur. Bu ifadenin doğruluğu 2. Yasa analizi sonucunda ortaya çıkacaktır. Ayrıca, santralde kullanılan süper kritik kazanın verimi Bölüm 7'de % 90.6 olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 9.1.2 Yakıt Enerjisine Göre Tesisin % Enerji Bilançosu

	%	%
Birim Zamandaki Yakıt Enerjisi	100	
Birim Zamandaki Kazan Kayıp Enerjisi		3.9
Birim Zamandaki Bacagazı Enerjisi		5.5
Toplam Net Elektirik Gücü		33.65
Birim Zamanda Toplam Türbin, Pompalardaki Kayıp Enerji		2.65
Birim Zamandaki Kondenser Kayıp Enerjisi		2.4
Birim Zamandaki Soğutma Suyuna Geçen Enerji		48.5
Birim Zamandaki Toplam Isıtıcılar, Degazördeki Kayıp Enerjisi		1.8
Birim Zamandaki Boru Hattı Kayıp Enerji		1.6
Toplam	100	100



Şekil 9.1.2 Ekipmanların Yakıt Enerjisine Göre % Enerji Değeri



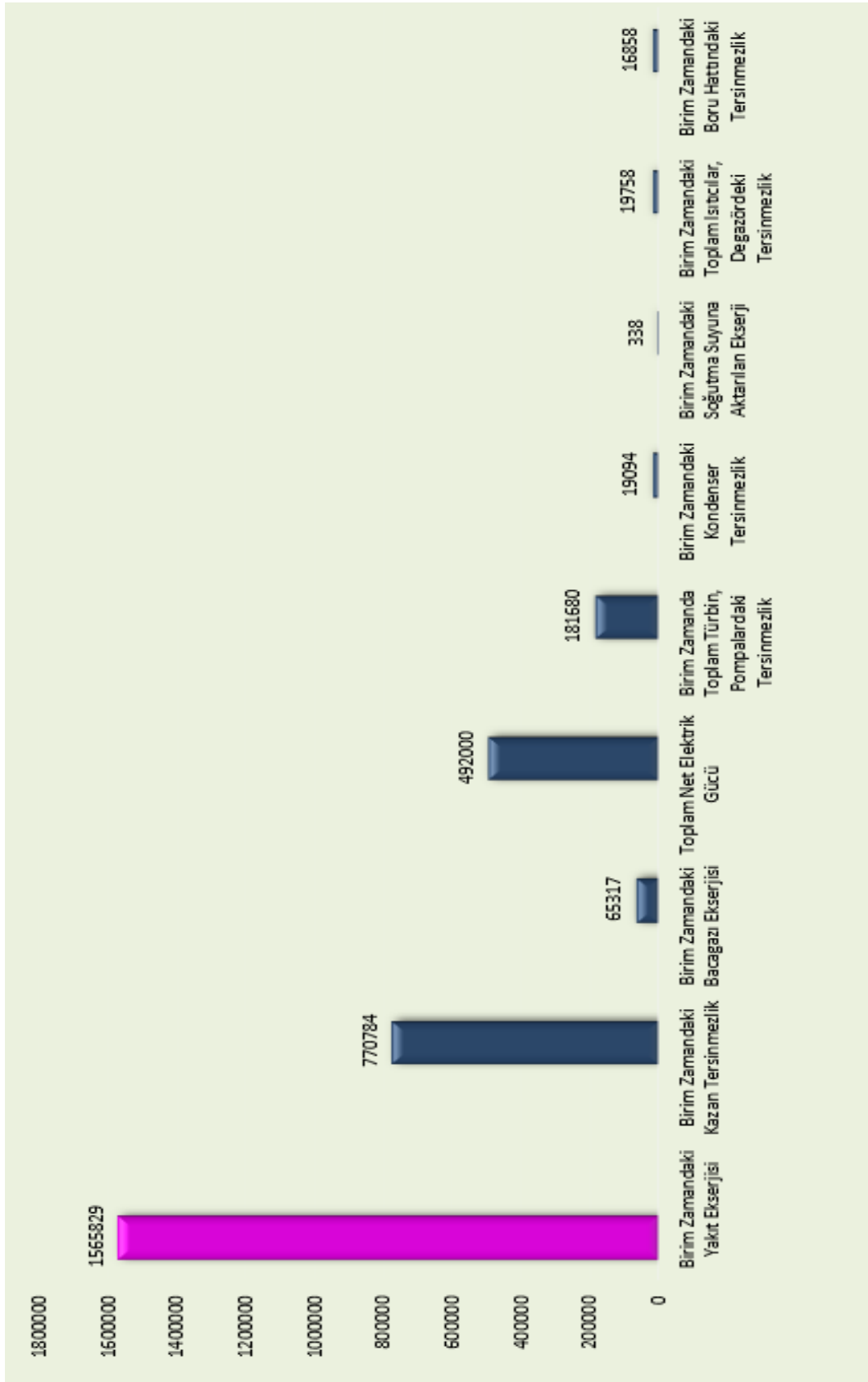
Şekil 9.1.3 Tesisin Sankey Diyagramı

9.2. Ekserji Analizi Sonuçları

Yapılan ekserji analizi sonuçları Çizelge 9.2.1 ve Şekil 9.2.1’de ve yakıt ekserjisine göre % değerleri de Çizelge 9.2.2, Şekil 9.2.2 ve Şekil 9.2.3’te sunulmuştur.

Çizelge 9.2.1 Tesisin Ekserji Bilançosu

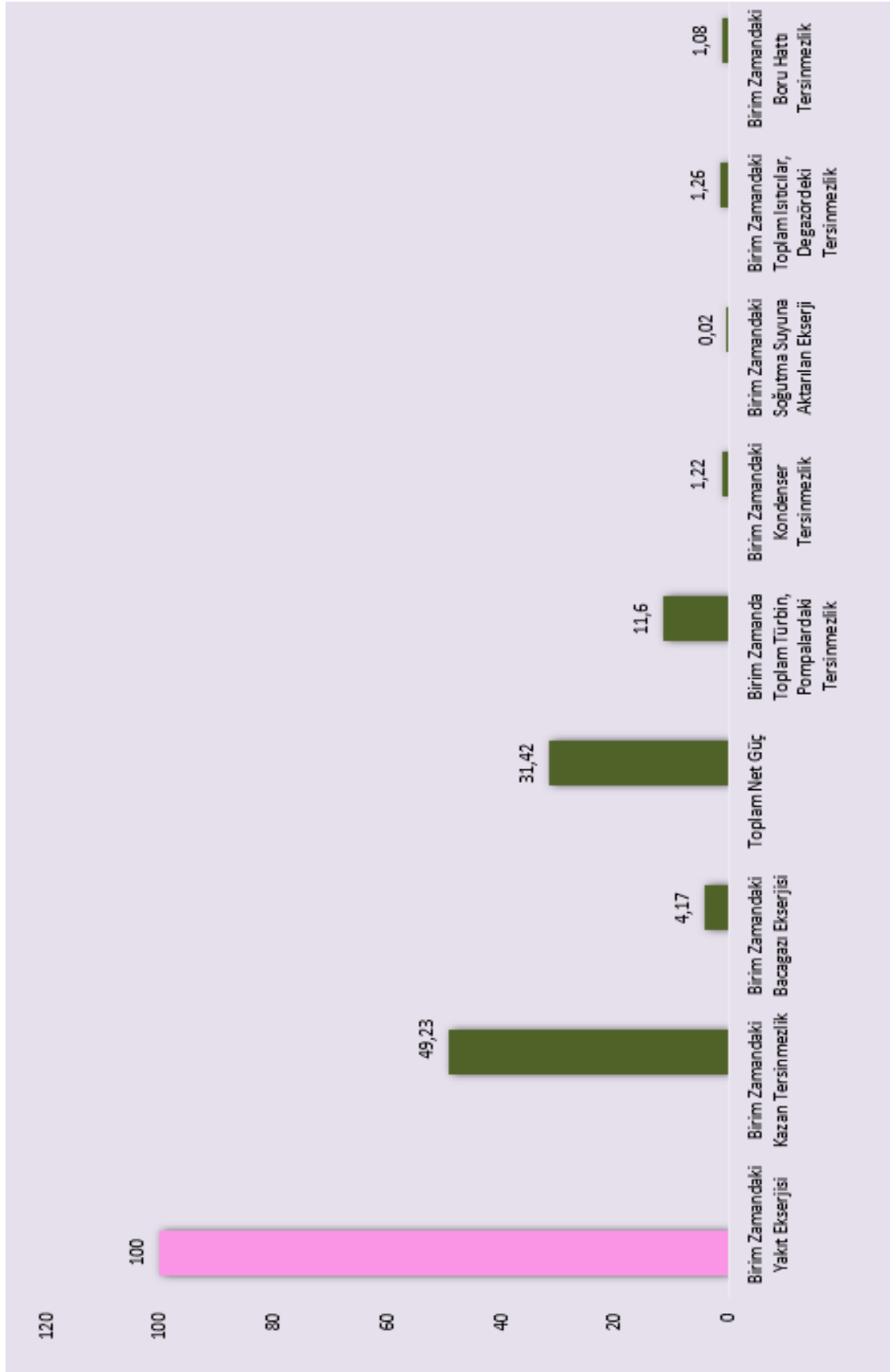
	Giren (kW)	Çıkan (kW)
Birim Zamandaki Yakıt Ekserjisi	1565829	
Birim Zamandaki Kazan Tersinmezlik		770784
Birim Zamandaki Bacagazı Ekserjisi		65317
Toplam Net Elektrik Gücü		492000
Birim Zamanda Toplam Türbin, Pompalardaki Tersinmezlik		181680
Birim Zamandaki Kondenser Tersinmezlik		19094
Birim Zamandaki Soğutma Suyuna Aktarılan Ekserji		338
Birim Zamandaki Toplam Isıtıcılar, Degazördeki Tersinmezlik		19758
Birim Zamandaki Boru Hattındaki Tersinmezlik		16858
Toplam	1565829	1565829



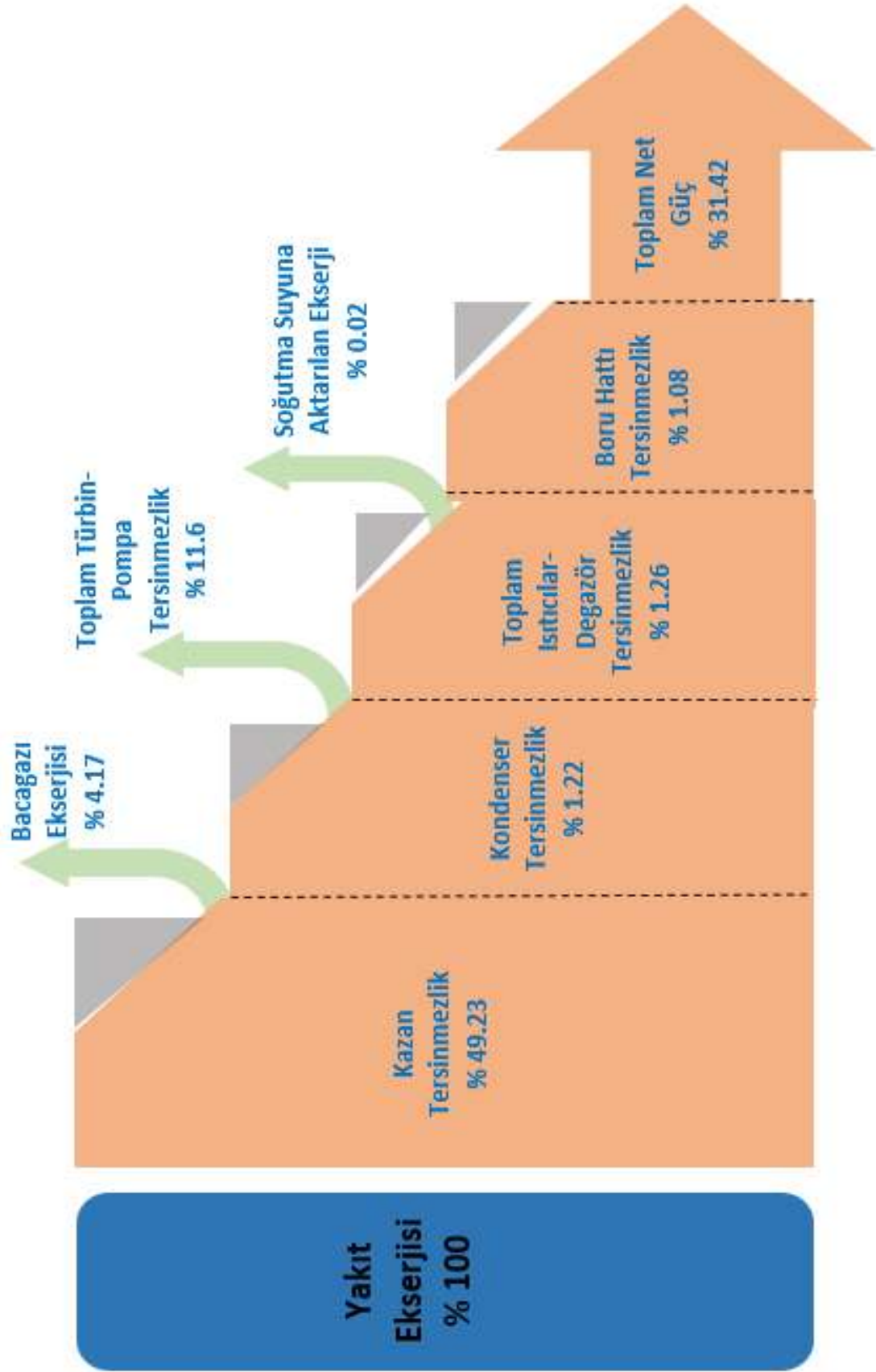
Şekil 9.2.1 Elde Edilen Ekserji ve Yok olan Ekserji Miktarları

Çizelge 9.2.2 Tesisin Yakıt Ekserjisine Göre Ekserji Bilançosu % Değerleri

	%	%
Birim Zamandaki Yakıt Ekserjisi	100	
Birim Zamandaki Kazan Tersinmezlik		49.23
Birim Zamandaki Bacagazı Ekserjisi		4.17
Toplam Net Elektrik Gücü (Genel Ekserji Verimi)		31.42
Birim Zamanda Toplam Türbin, Pompalardaki Tersinmezlik		11.60
Birim Zamandaki Kondenser Tersinmezlik		1.22
Birim Zamandaki Soğutma Suyuna Aktarılan Ekserji		0.02
Birim Zamandaki Toplam Isıtıcılar, Degazördeki Tersinmezlik		1.26
Birim Zamandaki Boru Hattı Tersinmezlik		1.08
Toplam	100	100



Şekil 9.2.2 Yakıt Ekserjisine Göre % Ekserji Dağılımı



Şekil 9.2.3 Grassman Diyagramı

Çizelge 9.2.1’den görüldüğü gibi 1565829 kW yakıt ekserjisinden santralden 492000 kWe net elektrik gücü elde edilmiştir. Bu elektrik eldesi için kazanda 770784 kW kadar tersinmezlik (yok olan ekserji) belirlenmiştir. Kazanda oluşan bu tersinmezlik, yanma ve enerji kayıplarından dolayı oluşmuştur. Ayrıca, kazandan çevreye atılan yanma ürünlerinin ekserjisi de 65317 kW olarak hesaplanmıştır. Türbin ve pompalardaki toplam tersinmezlik değeri de 181680 kW dır. Bulunan bu tersinmezlik, hidrolik, ısı ve mekanik kayıplardan meydana gelmiştir. Enerji analizine göre oldukça büyük bir değer olan kondenserde soğutma suyuna geçen enerjinin ekserjisinin çok küçük olduğu göze çarpmaktadır. Bu sonucun çok düşük olmasının nedeni soğutma suyunun sıcaklığının çok düşük olarak çevreye verilmesidir.

Çizelge 9.2.2, Şekil 9.2.2 ve Şekil 9.2.3’te yakıt ekserjisine göre santralin değişik elemanlarındaki % değerleri incelendiğinde; en büyük % tersinmezliğin kazanda olduğu görülmektedir ve toplam (% 49.23 kazan, % 4.17 bacagazı) % 53.4 değerindedir. Santralde kullanılan yakıttan % 31.42 net elektrik gücü (genel ekserji verimi) sağlanmıştır. Tüm türbin ve pompalardaki toplam tersinmezlik değeri de % 11.6 olarak belirlenmiştir. Enerji analizi hesaplarında kondenserde soğutma suyuna geçen enerjinin büyük olduğu, fakat ekserji analizi hesaplarına göre bakıldığında bu değer ihmal edilebilir seviyelerde (% 0.02) olduğu görülmektedir. Kazana uygulanan ekserji analizi sonucunda kazanın ekserji verimi % 46.6 olarak hesaplanmıştır. Bu sonuçlardan da görüldüğü gibi, termal sistemlerin performanslarının artırılması çalışmalarında kesinlikle 2. Yasa analizlerinin kullanılmasının gerekliliği ortaya çıkmaktadır.

BÖLÜM 10

SONUÇ VE ÖNERİLER

Yaşamımızı devam ettirmemiz için enerji yönetimi çok önemlidir. Giderek artan enerji ihtiyacı sebebiyle ülkemizde birçok yatırımlar olmaktadır. Sınırlı sayıda bulunan kaynakları en verimli şekilde kullanmak gerekmektedir. Bu yüzden kaynakların doğru kullanılması ve ekipmanlardan maksimum enerji üretebilmek çok önemlidir.

Enerjiye bu kadar çok ihtiyaç duyarken sadece tek amacımız enerji üretmek değil aynı zamanda çevreye zarar vermeyecek şekilde enerji üretmek olmalıdır.

Bu çalışmada her bir elemanın enerji ve ekserji analizi yapılmıştır, ekipmanların ne kadar verimli çalıştığı ve kayıpların hangi ünitelerde fazla olduğu görülmüştür. Yakıt enerjisine göre elde edilen sonuçlarda (enerji analizine göre); genel enerji verimliliği %33.65, soğutma suyuna geçen enerji % 48.5 kazandaki toplam enerji kaybı (% 3.9 kazan, % 5.5 baca gazı) % 9.4 ve kazan verimi % 90.6 olarak bulunmuş ve birinci kanun analizine göre enerji kaybının en fazla olduğu yer soğutma suyuna aktarılan enerji olduğu görülmüştür. İkinci kanun (ekserji) analizine göre de genel ekserji verimliliği %31.42, soğutma suyuna geçen ekserji % 0.02, kazandaki toplam tersinmezlik (yok olan ekserji) % 53.4 ve kazanın ekserji verimi % 46.6 olarak bulunmuş ve ekserji kaybının (tersinmezliğin) en fazla kazanda olduğu görülmüştür.

Yukarda verilen sonuçlardan da anlaşıldığı gibi termik santrallerin sadece elektrik üretimi baz alınarak tasarlanmaması gerektiği anlaşılmaktadır. İlave olarak, bölgesel ısıtma ve konutların sıcak su kullanımını da sağlamaları durumunda performans değerleri yaklaşık 2 katına ulaşabilecektir. Böyle bir tasarımlar gerçekleştirilirse, hem çevreye atılacak gazların ve kullanılan yakıt miktarlarında azalma olacak, bunun sonucu olarak da çevre kirliliği ve yakıttaki dışa bağımlılığımız azalacaktır. Mevcut santrallerde yoğuşmalı kondenser (ısı pompası) kullanılmasıyla yüksek sıcaklıktaki soğutucu akışkan sıcaklığından yararlanılması daha etkin olacaktır. Ayrıca, baca gazlarından da ek enerji olarak yararlanması da düşünülebilir. Sistem

performansını artırmak için yapılan iyileştirmeler de maliyet de çok önemlidir. Bu yüzden iyileştirmelerde termo-ekonomik analizlerinin de yapılması oldukça önemlidir.



KAYNAKLAR

- Amir V and Mehdi S** (2012) The Effect of Ambient Temperature to Power Plant Efficiency. *2nd International Conference on Mechanical, Production and Automobile Engineering*, 28-29 Nisan 2012, Singapore, 248-252.
- Bejan A, Tsatsaronis G and Moran M** (1996) Thermal Design and Optimization. ISBN: 0-471-58467-3, John Wiley, Canada, 542 pp.
- Ehsan A and Yılmazoğlu M Z** (2011) Design And Exergy Analysis of a Thermal Power Plant Using Different Types of Turkish Lignite. *International Journal of Thermodynamics*, 14:125-133.
- Ganapaty T, Alagumrthi N, Gakhar R P and Murugesan K** (2009) Exergy Analysis of Operating Lignite Fired Thermal Power Plant. *Journal of Engineering Science and Technology Review*, 2(1), 123-130.
- Gulhana S J and Thakur A K** (2013) Exergy Analysis of Boiler in Cogeneration Thermal Power Plant. *American Journal of Engineering Research*, 2:385-392.
- Heper Y** (2001) *Buhar Santralları Teorisi ve Uygulaması*. 4. Baskı, ISBN: 975-7064-35-1, Metu Press, Ankara, 481 s.
- Kopaç M** (2000) Bir Enerji Santralına Enerji ve Ekserji Analizinin Uygulanması. *Isı Bilim ve Tekniği Dergisi*, 20:3-4.
- Kopaç M, Topuz A ve Hilalci A** (2005) Çatalağzı Güç Santralına Enerji ve Ekserji Analizinin Uygulanması. *15. Ulusal Isı Bilimi ve Tekniği Kongresi*, 7-9 Eylül 2005, Trabzon, 906-911.
- Kopaç M ve Hilalci A** (2007) Effect of ambient temperature on the efficiency of the regenerative and reheat Çatalağzı power plant in Turkey, *Applied Thermal Engineering*, 27(1), 1377-1385.

- Şahin Z, Kopaç M ve Aydın NÖ** (2011) The investigation of increasing of the efficiency in the power plant with gas-solid fuels by exergy analysis”, *J. Of Thermal Science and Technology*,31(1),85-107.
- Topal Hİ, Kopaç M, Eyriboyun M** (2017) Çatalağzı Termik Elektrik Santrali ile Bölgesel Isıtma Yapılabilirliğin Enerji Analizi.” *Journal of Thermal Science and Technology*, **37(1)**, 139-146.
- Kumar R, Raju R and Kumar R** (2013) Effect of Parameters in Once-Through Boiler for Controlling Reheat Steam Temperature in Supercritical Power Plants. *Research Journal of Engineering Sciences*,2(1),27-34.
- Kotaş T J** (1985) *The Exergy Method of Thermal Power Plant Analysis*. ISBN: 0-408-01350-8, Anchor Brendon Ltd, Tiptree, Essex, 296 pp.
- Moran M J and Shapiro H N** (2006) *Fundamentals of Engineering Thermodynamics*. 5th edition, ISBN: 13 978-0-470-03037-0, John Wiley, Chichester, e-book, 831 pp.
- Osueke C O, Onokwai A O and Adeoye A O** (2015) Energy and Exergy Analysis of a 75 MW Steam Power Plant in Sapele (Nigeria). *International Journal of Innovative Research in Advanced Engineering*, 2:169-179.
- Pilankar K D and Kale R** (2016) Energy and Exergy Analysis of Steam and Power Generation Plant. *International Journal of Engineering Research&Tecnology*,5:344-350.
- Rai A K, Pandey M and Baradar P** (2017) Super Critical Thermal Power Plant Boiler Efficiency Calculation Using Imported Coal. *International Journal for Research in Applied Science & Engineering Technology*,5:709-717.
- Regulagadda P, Dinçer I and Naterer G F** (2010) Exergy Analysis of a Thermal Power Plant with Measured Boiler and Turbine Losses. *Applied Thermal Engineering*, 970-976.
- Rude N K, Aamir H S and Ahmad M A** (2018) Case Study Of Supercritical Boiler Technology. *International Research Journal Of Engineering And Technology*,5:2614-2617.
- Şahin Z, Kopaç M, Aydın N Ö** (2011) The investigation of increasing of the efficiency in the power plant with gas-solid fuels by exergy analysis, *J. of Thermal Science and Technology*, 31(1),85-107.

- Tekel E** (2006) Termik Santrallerin Enerji ve Ekserji Analizi. *Yüksek Lisans Tezi*, Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Denizli, 99 s.
- Ünal F ve Özkan D B** (2014) Tunçbilek Termik Santralinin Enerji ve Ekserji Analizi. *Tesisat Mühendisliği*, 143:5-15
- Ünal F** (2009) Bir Termik Santralin Ekserji Analizi. *Yüksek Lisans Tezi*, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul, 91 s.
- Yazıcı H ve Selbaş R** (2011) Bir Buharlı Güç Santralının Enerji ve Ekserji Analizi. *Teknik – Online Dergi*, 10:117-135.
- Yazıcı H** (2006) Buhar Türbinlerinin Termoeconomik Optimizasyonu. *Yüksek Lisans Tezi*, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Eğitimi Anabilim Dalı, Isparta, 103 s.



ÖZGEÇMİŞ

Başak Bayram, 23.12.1986 yılında Zonguldak'ta doğdu. 2004 yılında Zonguldak Atatürk Anadolu Lisesini, 2010 yılında Zonguldak Karaelmas Üniversitesini bitirdi. 14 Ekim 2010 yılından beri Eren Enerji Elektrik Üretim A.Ş. de Kömür İşletme Mühendisi olarak çalışmaktadır.

İLETİŞİM BİLGİLERİ:

Tel: (+90) 536 395 95 56

E-posta: basakatali@hotmail.com