

**BİR ENTEGRE DEMİR-ÇELİK TESİSİ KUVVET
SANTRALİNDEKİ EKİPMANLARIN ENERJİ VE
EKSERJİ ANALİZLERİNİN YAPILMASI**

**2016
YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ**

Güray YILDIZ

**BİR ENTEGRE DEMİR-ÇELİK TESİSİ KUVVET SANTRALİNDEKİ
EKİPMANLARIN ENERJİ VE EKSERJİ ANALİZLERİNİN YAPILMASI**

Güray YILDIZ

**Karabük Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalında
Yüksek Lisans Tezi
Olarak Hazırlanmıştır**

**KARABÜK
Ocak 2016**

Güray YILDIZ tarafından hazırlanan “BİR ENTEGRE DEMİR-ÇELİK TESİSİ KUVVET SANTRALİNDEKİ EKİPMANLARIN ENERJİ VE EKSERJİ ANALİZLERİNİN YAPILMASI” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Doç. Dr. Mehmet ÖZALP

Tez Danışmanı, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı



Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Makine Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 11/01/2016

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Doç. Dr. Kamil ARSLAN (KBÜ)



Üye : Doç. Dr. Mehmet ÖZALP (KBÜ)



Üye : Yrd. Doç. Dr. Volkan KIRMACI (BRT)



.....// 2016

KBÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile, Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Nevin AYTEMİZ

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.”

Güray YILDIZ

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

BİR ENTEGRE DEMİR-ÇELİK TESİSİ KUVVET SANTRALİNDEKİ EKİPMANLARIN ENERJİ VE EKSERJİ ANALİZLERİNİN YAPILMASI

Güray YILDIZ

Karabük Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı:

Doç. Dr. Mehmet ÖZALP

Ocak 2016, 100 sayfa

Bu çalışmada, Kardemir A.Ş. Enerji Tesisleri Müdürlüğünde bulunan Kuvvet Santralının, 25 bar basınç ve 385 °C sıcaklıktaki buhar özellikleriyle çalışan kısmının enerji, ekserji analizleri yapılarak iyileştirme potansiyeli hesaplanmıştır. Bu tesis esas olarak Yüksek Fırınlar için yakma havasını sağlamak amaçlı kurulmuş olup, mevcut diğer ünitelerin kullandıkları buharı da üretmektedir.

İncelenen santralde, 37 adet düğüm noktası belirlenmiş ve belirlenen bu düğüm noktaları için hazırlanmış akış diyagramına göre hesaplamalar yapılmıştır. Bu hesaplama sonuçlarına göre santraldeki en yüksek enerji ve ekserji kayıplarının SES buhar kazanında olduğu bulunmuştur. SES Buhar kazanındaki toplam ısı ve ekserji kayıpları sırasıyla 4174,21 kW ve 23258,28 kW olarak hesaplanmıştır. Ayrıca, tesisin ekipmanları üzerinde yapılan ekserji verimi hesaplamaları sonucunda, en verimsiz ekipmanın % 49,54 ekserji verimi ile buhar kazanı olduğu bulunmuştur.

Kuvvet Santralindeki sıcaklık ve basınç dūřürme istasyonları yerine karşı basınçlı turbo generatör grubu kurularak 3988,72 kW'lık elektrik enerjisi üretilebileceği tespit edilmiştir.

Anahtar Sözcükler : Enerji, ekserji, turbo blower, buhar kazanı.

Bilim Kodu : 914.1.233

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

MAKING ENERGY AND EXERGY ANALYSIS OF THE EQUIPMENTS WHICH WERE IN POWER PLANT OF AN ENTEGRATED IRON STEEL FACTORY

Güray YILDIZ

Karabuk University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Main Department of Mechanical Engineering

Thesis Advisor:

Assoc. Prof. Dr. Mehmet ÖZALP

January 2016, 100 pages

In this study, improvement potential were calculated by making the energy and exergy analysis for the part of Kardemir Energy Plants Managemets Power Plant which is working with a 25 bar pressure and 385 °C temperature steam properties. This facility was established mainly for the purpose of suppling the combustion air for blast furnaces, also produce steam for other existing units to use.

In the inspected plant, 37 nodes were determined and calculations were made according to the flow diagram which was prepared for these nodes. According to this calculation results, occurring the most energy and exergy losses in the plant were found at steam boiler. It was calculated that the total heat and exergy losses are 4174,21 kW and 23258,28 kW, respectively. Additionally, in the result of the exergy efficiency calculations performed on the equipments of plant, it was found that the

most inefficient equipment is steam boiler with % 49,54 exergy efficiency. It was determined that 3988,72 kW electricity energy be able to generate by installing a backpressure turbo generator group instead of the temperature and pressure reduction stations.

Key Words : Energy, exergy, turbo blower, steam boiler.

Science Code : 914.1.233

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasında bana yol gösteren Sayın Doç. Dr. Mehmet ÖZALP hocama, verdikleri destekten ötürü sonsuz teőekkürlerimi sunarım.

Bugünlere gelebilmemde maddi manevi her türlü konuda bana destek olan annem Necla YILDIZ'a ve babam Mehmet Ali YILDIZ'a, tez çalışması boyunca sağladıkları esneklik ve yardımlarından dolayı Enerji Tesisleri Müdürü Mak. Yük. Müh. Sayın Zafer ŞAHİN'e ve Kuvvet Santrali Baőmühendisi Mak. Müh. Sayın Baran MERTER'e teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL.....	ii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xiii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xvi
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2	4
LİTERATÜR ÇALIŞMASI.....	4
BÖLÜM 3	7
TESİS TANIMI VE EKİPMANLARIN BELİRLENMESİ.....	7
3.1. SİSTEM TANIMI VE PROSES AKIM ŞEMASI	7
3.2. BUHAR KAZANI.....	9
3.3. BUHAR TÜRBİNİ.....	10
3.4. KONDENSER.....	12
3.5. KONDENS POMPASI.....	13
3.6. RS-1 SICAKLIK VE BASINÇ DÜŞÜRME İSTASYONU	14
3.7. ALÇAK BASINÇ İSTASYONU	14
3.8. LAC 50 TÜRBİN POMPA	15
3.9. KAZAN BESLEME SUYU DEPOSU	16
BÖLÜM 4	18

	<u>Sayfa</u>
ENERJİ VE EKSERJİ	18
4.1. ENERJİNİN BİÇİMLERİ	18
4.1.1. Kinetik Enerji.....	19
4.1.2. Potansiyel Enerji.....	19
4.1.3. İç Enerji	20
4.1.4. Mekanik Enerji	20
4.2. TERMODİNAMİĞİN 1. YASASI.....	21
4.3. TERMODİNAMİĞİN 2. YASASI.....	21
4.4. EKSERJİ	22
4.4.1. Kinetik Ekserji.....	23
4.4.2. Potansiyel Ekserji	23
4.4.3. Fiziksel Ekserji	23
4.4.4. Kimyasal Ekserji.....	24
4.5. İKİNCİ YASA VERİMİ	24
BÖLÜM 5	26
ENERJİ KAYIPLARININ BELİRLENMESİ.....	26
5.1. BUHAR KAZANINA GİREN VE ÇIKAN ENERJİ MİKTARININ BELİRLENMESİ	26
5.1.1. Yakıtların Entalpilerinin Belirlenmesi.....	27
5.1.2. Baca Gazı Bileşenlerinin Molar Debilerinin Belirlenmesi.....	27
5.1.2.1. Baca Gazı Molar Debisinin Belirlenmesi	28
5.1.2.2. Oksijen Molar Debisinin Belirlenmesi	28
5.1.2.3. Karbondioksit Molar Debisinin Belirlenmesi.....	29
5.1.2.4. Su Buharı Molar Debisinin Belirlenmesi.....	32
5.1.2.5. Azot Molar Debisinin Belirlenmesi	33
5.1.2.6. Baca Gazı Entalpisinin Belirlenmesi	34
5.1.3. Yakma Hava Entalpisinin Belirlenmesi.....	35
5.1.4. Besleme Suyu Entalpisinin Belirlenmesi.....	36
5.1.5. Daimi Blöf İle Atılan Suyun Entalpisinin Belirlenmesi.....	37
5.1.6. Üretilen Buhar Entalpisinin Belirlenmesi.....	37
5.2. BUHAR KAZANINDAKİ ENERJİ KAYBININ BELİRLENMESİ.....	38

Sayfa

5.3. RS-1 İSTASYONU ENERJİ KAYBININ HESAPLANMASI.....	39
5.4. ALÇAK BASINÇ DÜŞÜRÜCÜ ENERJİ KAYBININ HESAPLANMASI.....	40
5.5. GEC KÖRÜK BUHAR TÜRBİNİ ENERJİ KAYBININ HESAPLANMASI.....	40
5.6. GEC KÖRÜK KONDENSERİ ENERJİ KAYBININ HESAPLANMASI.	41
5.7. GEC KÖRÜK KONDENSER POMPASININ ENERJİ KAYBININ HESAPLANMASI.....	42
5.8. 1 NO'LU SHAANGU KÖRÜK BUHAR TÜRBİNİ ENERJİ KAYBININ HESAPLANMASI.....	43
5.9. 1 NO'LU SHAANGU KÖRÜK KONDENSERİNİN ENERJİ KAYBININ HESAPLANMASI.....	44
5.10. 1 NO'LU SHAANGU KÖRÜK KONDENS POMPASI ENERJİ KAYBININ HESAPLANMASI.....	45
5.11. 4 NO'LU SHAANGU KÖRÜK BUHAR TÜRBİNİ ENERJİ KAYBININ HESAPLANMASI.....	46
5.12. 4 NO'LU SHAANGU KÖRÜK KONDENSERİNİN ENERJİ KAYBININ HESAPLANMASI.....	47
5.13. 4 NO'LU SHAANGU KÖRÜK KONDENS POMPASI ENERJİ KAYBININ HESAPLANMASI.....	48
5.14. KAZAN BESLEME SUYU DEPOSUNUN ENERJİ KAYBININ HESAPLANMASI.....	49
5.15. LAC 50 TÜRBİNİN ENERJİ KAYBININ HESAPLANMASI	50
5.16. LAC 50 POMPANIN ENERJİ KAYBININ HESAPLANMASI.....	51
BÖLÜM 6	52
EKSERJİ KAYIPLARI VE EKSERJİ VERİMLERİNİN HESAPLANMASI.....	52
6.1. BACA GAZI EKSERJİSİNİN BELİRLENMESİ	52
6.2. YAKITLARIN EKSERJİLERİNİN BELİRLENMESİ.....	54
6.2.1. Kok Gazı Ekserjisinin Belirlenmesi	54
6.2.2. Yüksek Fırın Gazı Ekserjisinin Belirlenmesi	56
6.3. BESLEME SUYU EKSERJİSİNİN BELİRLENMESİ.....	57
6.4. YAKMA HAVASI EKSERJİSİNİN BELİRLENMESİ.....	59
6.5. DİĞER DÜĞÜM NOKTALARININ EKSERJİLERİNİN BELİRLENMESİ	63

6.6. EKSERJİ KAYIPLARI VE EKSERJİ VERİMLERİNİN HESAPLANMASI	75
6.6.1. SES Buhar Kazanı Ekserji Kaybı ve Ekserji Veriminin Hesaplanması	75
6.6.2. RS-1 İstasyonu Ekserji Kaybı ve Ekserji Veriminin Hesaplanması.....	76
6.6.3. Alçak Basınç Düşürücü Ekserji Kaybı ve Ekserji Veriminin Hesaplanması	77
6.6.4. GEC Körük Buhar Türbini Ekserji Kaybı ve Ekserji Veriminin Hesaplanması	78
6.6.5. GEC Körük Kondenseri Ekserji Kaybı ve Ekserji Veriminin Hesaplanması	79
6.6.6. GEC Körük Kondenser Pompasının Ekserji Kaybı ve Ekserji Veriminin Hesaplanması	81
6.6.7. 1 No’lu Shaangu Körük Buhar Türbini Ekserji Kaybı ve Ekserji Veriminin Hesaplanması.....	82
6.6.8. 1 No’lu Shaangu Körük Kondenserinin Ekserji Kaybı ve Ekserji Veriminin Hesaplanması.....	83
6.6.9. 1 No’lu Shaangu Körük Kondenser Pompasının Ekserji Kaybı ve Ekserji Veriminin Hesaplanması	84
6.6.10. 4 No’lu Shaangu Körük Buhar Türbini Ekserji Kaybı ve Ekserji Veriminin Hesaplanması.....	85
6.6.11. 4 No’lu Shaangu Körük Kondenserinin Ekserji Kaybı ve Ekserji Veriminin Hesaplanması.....	86
6.6.12. 4 No’lu Shaangu Körük Kondenser Pompasının Ekserji Kaybı ve Ekserji Veriminin Hesaplanması	88
6.6.13. Kazan Besleme Suyu Deposunun Ekserji Kaybı ve Ekserji Veriminin Hesaplanması	89
6.6.14. LAC 50 Türbinin Ekserji Kaybı ve Ekserji Veriminin Hesaplanması .	90
6.6.15. LAC 50 Pompanın Ekserji Kaybı ve Ekserji Veriminin Hesaplanması	91
BÖLÜM 7	93
SONUÇ VE ÖNERİLER	93
KAYNAKLAR	98
ÖZGEÇMİŞ	100

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 3.1. Proses akım şeması	8
Şekil 3.2. SES buhar kazanı	9
Şekil 3.3. Kuvvet santrali türbin sahasının görünümü	10
Şekil 3.4. 1 No'lu Shaangu turbo körük	11
Şekil 3.5. G.E.C. turbo körük	12
Şekil 3.6. 1 No'lu Shaangu turbo körük kondenseri	13
Şekil 3.7. 1 No'lu Shaangu turbo körük kondens pompası	13
Şekil 3.8. RS-1 Sıcaklık ve basınç düşürme istasyonu.....	14
Şekil 3.9. LAC 50 Türbin pompa performans eğrisi	15
Şekil 3.10. LAC 50 türbin pompa	16
Şekil 3.11. Kazan besleme suyu deposu.....	17
Şekil 5.1. Ses buhar kazanı giren - çıkan ürün entalpileri	26
Şekil 5.2. Ses buhar kazanı entalpi dengesi.....	38
Şekil 5.3. RS-1 İstasyonu entalpi dengesi	39
Şekil 5.4. Alçak basınç düşürücüsü entalpi dengesi.....	40
Şekil 5.5. GEC körük buhar türbini entalpi dengesi.....	40
Şekil 5.6. GEC körük türbin kondenseri entalpi dengesi	41
Şekil 5.7. GEC körük kondenser pompası entalpi dengesi	42
Şekil 5.8. 1 No'lu Shaangu buhar türbini entalpi dengesi.....	43
Şekil 5.9. 1 No'lu Shaangu türbin kondenseri entalpi dengesi	44
Şekil 5.10. 1 No'lu Shaangu körük kondenser pompası entalpi dengesi	45
Şekil 5.11. 4 No'lu Shaangu buhar türbini entalpi dengesi.....	46
Şekil 5.12. 4 No'lu Shaangu türbin kondenseri entalpi dengesi	47
Şekil 5.13. 4 No'lu Shaangu körük kondenser pompası entalpi dengesi	48
Şekil 5.14. Kazan besleme suyu deposu entalpi dengesi	49
Şekil 5.15. LAC 50 türbini entalpi dengesi	50
Şekil 5.16. LAC 50 pompanın entalpi dengesi.....	51
Şekil 6.1. Ses buhar kazanı ekserji dengesi.....	75

Sayfa

Şekil 6.2. RS-1 İstasyonu ekserji dengesi	76
Şekil 6.3. Alçak basınç düşürücüsü ekserji dengesi	77
Şekil 6.4. GEC körük buhar türbini ekserji dengesi	78
Şekil 6.5. GEC körük türbin kondenseri ekserji dengesi	79
Şekil 6.6. GEC körük kondenser pompası ekserji dengesi.....	81
Şekil 6.7. 1 No’lu Shaangu buhar türbini ekserji dengesi	82
Şekil 6.8. 1 No’lu Shaangu türbin kondenseri ekserji dengesi.....	83
Şekil 6.9. 1 No’lu Shaangu körük kondenser pompası ekserji dengesi	84
Şekil 6.10. 4 No’lu Shaangu buhar türbini ekserji dengesi	85
Şekil 6.11. 4 No’lu Shaangu türbin kondenseri ekserji dengesi.....	86
Şekil 6.12. 4 No’lu Shaangu körük kondenser pompası ekserji dengesi	88
Şekil 6.13. Kazan besleme suyu deposu ekserji dengesi.....	89
Şekil 6.14. LAC 50 türbini ekserji dengesi	90
Şekil 6.15. LAC 50 pompanın ekserji dengesi	91
Şekil 7.1. Ekipmanların enerji kayıpları.....	94
Şekil 7.2. Ekipmanların ekserji verimleri.....	95

ÇİZELGELER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 4.1. Enerji ve ekserjinin karşılaştırılması.....	22
Çizelge 5.1. Yakıtların bileşenleri, molar oranlar ve volümetrik debileri	29
Çizelge 5.2. Yakıt bileşenlerinin toplam volümetrik debileri	30
Çizelge 5.3. Baca gazı bileşenlerinin izobarik ısı kapasiteleri.....	34
Çizelge 6.1. SES kazan baca gazı bileşenleri molar oranları.....	53
Çizelge 6.2. Nemli havanın bileşenleri için molar oranlar.....	62
Çizelge 6.3. Düğüm noktalarının termodinamik özellikleri.....	74
Çizelge 7.1. Ekipmanların enerji ve ekserji kayıpları ile ekserji verimleri tablosu ...	93

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

- \bar{C}_p : molar özgül ısı kapasite (kJ/kmol K)
 e_x : özgül ekserji (kJ/kg)
 \bar{e}_x : molar özgül ekserji (kJ/kmol)
 E_x : toplam ekserji (kW)
 h : birim kütlenin entalpisi (kJ/kg)
 \dot{H} : toplam kütlenin entalpisi (kW)
 \dot{H}_u : alt ısı değeri (kJ/Nm³)
 \dot{m} : kütleli debi (kg/s)
 M : mol kütlesi (kg/kmol)
 n : mol sayısı (kmol)
 \dot{n} : molar debi (kmol/s)
 P : basınç (kPa veya bar)
 \dot{Q} : birim zamanda ısı geçişi (kW)
 \bar{R} : üniversal gaz sabiti (8.314 kJ/kmol K)
 s : entropi (kJ/kg K)
 T : sıcaklık (°C veya K)
 U : toplam iç enerji
 \dot{V} : hacimsel debi (m³/s)
 y : mol kesri
 \dot{W} : birim zamanda yapılan iş (kW)
 ρ : yoğunluk
 η : verim (%)
 ϕ : bağıl nem (%)
 ω : özgül nem (kg su buharı/kg kuru hava)
 φ : yakıtların kimyasal enerji faktörü
 z : referans yüzeye göre yükseklik (m)

abs : absolute
bg : baca gazı
bsu : besleme suyu
CO₂ : karbondioksit
ç : çıkan
ex : ekserji
g : giren
H₂O : su
i : i maddesi
kok : kok gazı
N₂ : azot
o : referans çevre hali
O₂ : oksijen
top : toplam
tr : tersinir
yfg : yüksek fırın gazı
fiz : fiziksel
kim : kimyasal
kin : kinetik
pot : potansiyel
top : toplam

KISALTMALAR

COP : Coefficient of Performance (Performans Katsayısı)

GEC : General Electric Company (General Elektrik Şirketi)

KE : Kinetik Enerji

PE : Potansiyel Enerji

RS : Reducing Station (Düşürücü İstasyonu)

SES : Slovenské Energetické Strojárne (Slovak Enerji Makine Anonim Şirketi)

THÇ : Ton Ham Çelik

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Dünyadaki enerji kaynaklarının sınırlı olduğunun giderek daha çok farkına varılması, bazı hükümetlerin enerji projelerini yeniden gözden geçirmelerine ve atıkların yok edilmesinde daha zorlayıcı önlemler almasına neden olmuştur. Enerji dönüşüm düzenekleriyle daha yakından ilgilenilmesi ve mevcut durumdaki sınırlı kaynakların daha iyi kullanılması için yeni teknolojiler geliştirilmesi, bilimsel çevrelere olan ilgiyi harekete geçirmiştir (Çengel ve Boles, 2013).

Ülkelerin endüstriyel ve sosyoekonomik yapılarının gelişmesinde enerji faktörü önemli bir yere sahiptir. Gelişmişliğin ve kalkınmanın bir göstergesi olan kişi başı enerji tüketimi önemli bir indikatör olarak görülmektedir. Bir cismin veya bir sistemin iş yapabilme yeteneği “enerji” olarak tanımlanabilir. Dünyada yaşanan enerji krizleri, lüks yaşamdan kaynaklanan enerji ihtiyacının ve sanayileşmenin giderek artması sebebi ile çevre kirliliğinin üst seviyelere ulaşması gibi nedenlerden, yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelim giderek artmaktadır (Yücelay, 2000).

Bu nedenle 20. yüzyılın ikinci yarısında alternatif enerji kaynakları araştırılması ve mevcut enerji kaynaklarının verimli bir şekilde kullanılması çalışmaları yoğun bir şekilde artmıştır (Ertesvag, 2005).

Ülkemizde de 2004 yılında başlayan Enerji Verimliliği Stratejisi kapsamında 2007 yılında çıkarılan Enerji Verimliliği Kanunu ve 2008 yılında çıkarılan yönetmeliklerle enerjinin verimli kullanılması adına önlemler alınmıştır. Türkiye’de bilim politikalarına yön verme amacını güden TÜBİTAK Kurumu da Aralık 2011 yılında hazırladığı Ulusal Enerji Ar-Ge ve Yenilik Stratejisi raporunda enerji verimliliği konusunu ülkemizde üzerinde çalışılması gereken öncelikli alanlardan birisi olarak değerlendirmiştir (TÜBİTAK, 2011).

Ekserji analizi, kütle korunumu ile enerji korunumu ilkelerini termodinamiğin ikinci yasası ile birlikte başta ısı sistemler olmak üzere çeşitli sistemlerin tasarımında ve analizinde kullanılmak üzere uygulanan bir yöntemdir. Enerji maliyetinin çok artması sonucunda enerji tasarrufu önem kazanırken, enerjinin miktarının yanında, kalitesi de önem kazanmıştır. Dolayısıyla enerji birçok tüketim maddesinde olduğu gibi sadece miktar temelinde değil, kalite temelinde de değerlendirilmeye başlanmıştır (Dinçer, 1982).

Ekserji verimi, bir sistemin veya prosesin ideal şartlara ne kadar yaklaştığının bir göstergesidir. Bu nedenle termal sistemlerin enerji ve ekserji verimleri, sistemlerin dizaynında, sistemlerin seçilmesinde ve sistemin çalışma şartlarının belirlenmesinde önemli karar parametreleridir. Ayrıca ekserji analizi yöntemi, bir sistemdeki termodinamik verimsizliklerin ortadan kaldırılarak daha verimli sistem tasarımının nasıl yapılabileceğini ve mevcut şartların doğru tanımlanmasını sağlamaktadır. Ekserji analizi güç santralleri ve bağlı proseslerin yanında, bunların teknolojisini sorgulamak amacıyla da kullanılabilir (Szargut, 1988).

Enerji ve ekserji analizi, termodinamiğin birinci ve ikinci yasasını birlikte ele alan ve enerjinin maksimum kullanımı veya kullanılabilirliğini ifade eden bir analiz şeklidir. Birinci yasaya göre enerji analizi, ikinci yasa göre ise ekserji analizi yapılmaktadır (Çamdalı, 2004).

Enerji ve ekserji analizleri, ısı sistemlerinde kullanılan doğruluğu kanıtlanmış analizlerdir. Enerji analizi, ısı ve iş arasındaki farkı önemsemeyen tüketilen enerji miktarını hesaplayan bir analiz olup mühendislik sistemlerinin dizayn ve analizlerinde yeterli değildir. Bu nedenle, ikinci yasa olarak bilinen ekserji analizi ile termodinamikte önemli bir yeri olan tersinmezliklerden kaynaklanan ekserji kayıpları hesaplanabilmektedir. Böylece bir sistem için enerji yerine ekserji hesapları da yapıldığında enerji kaliteleri arasındaki fark da dikkate alınmış olur. Bu nedenle ekserji analizine dayalı sistem değerlendirmeleri daha uygun bir yaklaşım olmaktadır. Enerji ve ekserji analizinden elde edilen sonuçlara göre, tersinmezliklere bağlı olarak meydana gelen kayıplar tespit edilerek sistemde yapılması gereken iyileştirmeler belirlenebilmektedir (Ünal, 2009).

Enerji ve ekserji analizleri, sistemlerin verimliliğinin tespit edilmesi konusunda başvuru kaynağı olmuştur (Utlu ve Hepbaşlı, 2004).

Entegre demir-çelik tesislerinde bir üretim kriteri olan “Mcal/THÇ” 1 ton ham çelik üretmek için harcanan “megakalori” enerji değerini göstermektedir. Bu değer sürekli küçültülmeye çalışılır. 2004 yılı verilerine göre mertebe olarak; Japon çelik sektörü 1 ton ham çelik üretmek için 3500 Mcal, ülkemiz entegre çelik fabrikaları 5500~6000~7500 Mcal enerji harcamaktadırlar (Şahin, 2006).

Entegre bir demir-çelik fabrikası olan Kardemir A.Ş. tüm üretim proseslerinde; (kok fabrikaları, enerji santrali, yüksek fırınlar ve sinter, haddehane, hava ayırıştırma tesisleri ve su tesisleri) ekserji analizini yapmak/yaptırmak zorundadır (Şahin, 2006).

Bu çalışmada, Kardemir A.Ş. Enerji Tesisleri Müdürlüğü Kuvvet Santralinde 25 bar basınçta, 385 °C sıcaklıkta buhar parametresiyle çalışan, 1 adet gaz yakıtlı buhar kazanı, 3 adet turbo-blower ve kondenserleri, 2 adet sıcaklık ve basınç düşürme istasyonu, 1 adet kazan besleme suyu deposu, 1 adet turbo pompanın, enerji ve ekserji analizleri yapılarak, ısı ve ekserji kayıpları hesaplanmıştır. Yapılan analizler sonucunda iyileştirilmeye açık alanlar tespit edilerek, sistemin enerji ve ekserji verimi yönünden zayıf noktaları için, verim arttırmaya yönelik öneriler sunulmuştur.

BÖLÜM 2

LİTERATÜR ÇALIŞMASI

Bu başlık altında geçmiş yıllarda yapılmış enerji ve ekserji analizi konularıyla ilgili çalışmalar incelenmiştir.

Ekserji kavramı, ilk olarak 1878 yılında J.W.Gibbs tarafından ortaya koyulmuştur (Lee, 2001).

Bodvarsson ve Eggers (1972), yaptıkları çalışmada, ilk ekserji analizini tek ve çift buharlaştırmalı iki farklı sistemden oluşan bir jeotermal güç santralinde uygulamışlar ve santralin tamamı için ekserji verimliliğini hesaplamışlardır.

Ekserji analizi konusundaki çalışmalar ise Gouy ve Stodola ile başlamış, sonraki yıllarda F. Bonsjokovic tarafından geliştirilerek modernize edilmiştir (Szargut,1988).

Chin ve El-Masri (1987), gaz türbini ve çift basınçlı buhar türbinine ekserji analizi yapmışlardır. Hesaplamaları sonucunda buhar türbini parametrelerini gaz türbini egzoz gaz sıcaklığının fonksiyonu olarak yazıp optimum şartları tespit etmişlerdir. Tek basınçlı türbin ile optimize edilmiş çift basınçlı türbini karşılaştırmışlar ve güçte % 3'lük bir artış egzoz gazından ısı transferindeki tersinmezliklerde % 15 ile % 8 arasında azalma olduğunu tespit etmişlerdir.

Tsatsaronis (1993), bir enerji santralına, enerji sistemlerinin optimum tasarımını ve performansını hesaplamak için mühendislik ekonomisinin genel kavramları ile ekserjinin bir araya getirilmesinden oluşan termoekonomik analizi uygulamıştır.

Ertay (1997), Türkiye’de konut sektörü için enerji ve ekserji analizi yapmıştır. Bu çalışmada konut sektörünün diğer sektörlerle karşılaştırıldığında, en düşük ekserji verimliliğine sahip sektör olduğu görülmüştür.

Doldersum (1998), bir rafinerideki enerji ve ekserji kayıplarını hesaplamıştır. Çalışmasında, rafinerideki ekserji kayıplarında % 70 oranında azalma gerçekleşebileceğini ve bu sayede önemli ölçüde yakıt tasarrufu sağlanabileceğini tespit etmiştir.

Kopaç (2000), çalışmasında bir güç santrali üzerinde enerji ve ekserji analizi yaparak en büyük ekserji kaybının atık ısı geri kazanım buhar kazanında gerçekleştiğini göstermiştir.

Rosen (2001), yapmış olduğu çalışmada enerji ve ekserji analizleri uygulayarak kömür ve nükleer yakıtla elektrik üretimini karşılaştırmış, enerji ve ekserji verimlerini, kömür yakıtlı proses için sırasıyla % 37 ve % 36, nükleer proses için ise % 30 ve % 30 olarak hesaplamıştır.

Rosen ve Dincer (2004), yaptıkları çalışmada kömür yakıtlı bir güç santraline enerji ve ekserji analizi uygulamışlardır. Enerji ve ekserji analizini tüm sisteme ve sistemin tüm bileşenlerine ayrı ayrı uygulayarak sonuçları analiz etmişlerdir.

Özçelik (2004), İzmir’de doğalgaz çevrim santraline ekserji analizi uygulamış ve bir blokta oluşan ekserji kaybını % 72,1 olarak hesaplamıştır.

Kanoğlu ve arkadaşları (2005), yaptıkları çalışmada kurulu gücü 120 MW olan bir kojenerasyon termik santralin ekserji analizini yapmışlar ve santralin ekserji verimini % 47 olarak hesaplamışlardır. Santralde en yüksek ekserji kaybının, toplam kaybın % 57’si ile motorlarda, ikinci en büyük ekserji kaybının ise Azottan Arındırma Ünitesinde olduğunu tespit etmişlerdir.

Ebadi ve Gorji-Bandpy (2005) yaptıkları çalışmada, elektrik üretimi yapan bir gaz türbininin ekserji analiziyle, türbin giriş sıcaklığındaki artışın ekserji verimi ve ekserji kayıpları üzerindeki etkisini incelemiştir.

Şahin (2006), kok gazı, yüksek fırın gazı ve kömür kullanan bir kuvvet santralının, enerji kaybı yönünden analizini yapmış ve sisteme iyileştirme önerileri yaparak verimliliğini arttırmayı hedeflemiştir. Bu amaçla tesisteki tüm ünitelerin ayrı ayrı enerji ve ekserjilerini hesaplamıştır. Ayrıca tesiste sıcaklık ve basınç düşürme istasyonlarının kaldırılması ve yerine yeni bir karşı basınçlı türbin-generatör tesis edilmesiyle 6600 kW'lık bir elektrik enerjisi kazanılabileceğini ortaya çıkarmıştır. Bu iyileştirme sonucunda, tesisin 1. kanun ve 2. kanun verimlerinin sırasıyla % 2,27 ve % 2,21 oranında artacağını belirtmiştir.

Özkan (2009), çalışmasında Ereğli Demir ve Çelik Fabrikaları Kuvvet Santralının her bir ünitesi için enerji ve ekserji hesaplamaları yapmış ve hesaplamaları sonucunda sistemin toplam ekserji tahribini 1187,55 MW, iyileştirme potansiyelini ise 800,84 MW olarak bulmuştur.

Mert ve arkadaşları (2012), yaptıkları çalışmada Ereğli Demir Çelik Fabrikasına ait gaz türbinli bir kojenerasyon tesisinin ekserji ve ekonomik analizini yapmışlardır. Tesiste en yüksek ekserji kaybının yanma odasında olduğu ve burada sistemin performansı açısından geliştirme potansiyeli olduğunu, sistemdeki en yüksek verime sahip bileşenin gaz türbini olduğunu ve en az ekserji kaybının gaz türbininde olduğunu belirtmişlerdir.

Coşkun ve arkadaşları (2013), yaptıkları çalışmada Çayırhan Termik Santrali'nde enerji ve ekserji analizleri yapmışlardır. Termik Santral'in ısı ve ikinci yasa verimleri sırasıyla % 38 ve % 53 olarak bulmuşlardır. Termik Santral'de en fazla ekserji kayıplarının sırasıyla; kazan, türbin grupları, kondenser, ısıtıcı grup ve pompa gruplarında meydana geldiğini belirtmişlerdir.

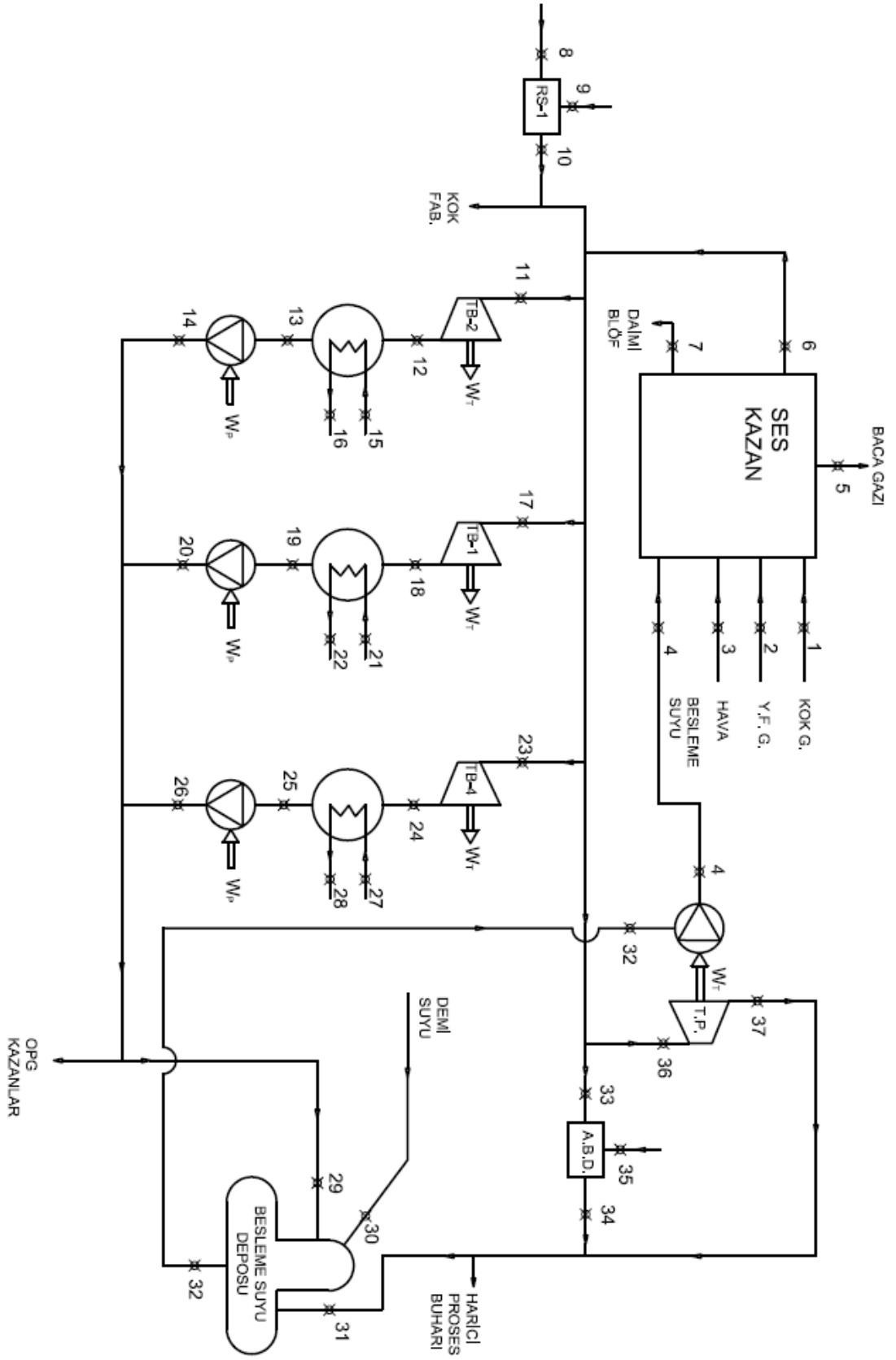
BÖLÜM 3

TESİS TANIMI VE EKİPMANLARIN BELİRLENMESİ

3.1. SİSTEM TANIMI VE PROSES AKIM ŞEMASI

İncelenen tesis, Kardemir A.Ş. Enerji Tesisleri Müdürlüğü bünyesinde çalışan buharlı güç santralidir. Bu tesis esas olarak yüksek fırınlar yakma havasını sağlamak amaçlı kurulmuş olup, mevcut diğer ünitelerin proses amaçlı kullandıkları buharı da üretmektedir.

Bu çalışmada, Enerji Tesisleri Müdürlüğü Kuvvet Santralinin 25 bar basınçta, 385 °C sıcaklıktaki buhar parametresiyle çalışan bölümü incelenmiştir. Kuvvet Santralinde 37 adet düğüm noktası belirlenmiş ve belirlenen düğüm noktaları için hazırlanan akış diyagramına göre hesaplamalar yapılmıştır. Hesaplamalarda, tesisten her bir düğüm noktası için alınan sıcaklık, basınç ve debi değerleri ile enerji, ekserji analizleri yapılmıştır. Tesise ait proses akım şeması Şekil 3.1.'de verilmiştir.



Şekil 3.1. Proses akım şeması.

3.2. BUHAR KAZANI

Buhar kazanı, katı, sıvı ya da gaz yakıtların yakılmasıyla suyun ısıtılarak buharlaştırıldığı ekipmandır.

Kuvvet santralının 25 bar basınçta çalışan kısmında üretim yapan tek buhar kazanı olan SES Buhar Kazanı, gaz yakıtlı tek domlu ve su borulu bir kazan olup, 25 bar basınç ve 385 °C sıcaklık parametreleriyle, 50 t/h debide buhar üretim kapasitesine sahiptir. SES Buhar Kazanı Şekil 3.2.' de görülmektedir.

Kazanda ana yakıt olarak kok gazı yakılmaktadır. Ayrıca yüksek fırın gazı ve konverter gazı da yakılabilmektedir. Ancak güncel durumda konverter gazı yakılmamakta, sadece kok ve yüksek fırın gazları yakılmaktadır. Bu çalışmada da bu iki gazla çalışır durum esas alınarak analiz yapılmıştır.



Şekil 3.2. SES buhar kazanı.

2008 yılında devreye alınan SES buhar kazanı 2 adet gaz brülörüne sahip olup, 1 adet ID (Induced Draft) fan (aspiratör) ve 1 adet FD (Forced Draft) fana (vantilatör) sahiptir.

3.3. BUHAR TÜRBİNİ

Buhar türbini, akışkanın türbin rotoru üzerindeki kanatçıklara çarparak mile hareket vermesiyle mekanik iş elde eden güç ünitesidir. Bu çalışmada incelenen buhar türbinleri, 25 bar basınç ve 385 °C sıcaklık buhar giriş parametrelerine sahiptirler. Bu türbinler rijit haldeki bir kaplin bağlantısı ile kompresör şaftına yada pompa miline bağlanarak güçlerini kompresör yada pompaya aktarmış olurlar. Şekil 3.3.'te, çalışmada enerji ve ekserji analizi yapılan kuvvet santralinin türbin saha fotoğrafı bulunmaktadır.



Şekil 3.3. Kuvvet santrali türbin sahasının görünümü.

Enerji ve ekserji analizi yapılan kuvvet santralinde iki adet aynı tip Shaangu marka turbo körük bulunmaktadır. Bu körükler 1 ve 4 No'lu Yüksek Fırınlar için gerekli olan yakma havasını sağlayan buhar türbini tahrikli aksenal kompresörlerdir. Maksimum 2,5 bar basınç ve 108 000 Nm³/h debide hava üretim kapasitesine sahip olan bu türbinlerin şaft gücü $\dot{W}_{\text{Türbin}} = 3508 \text{ kW}$ olarak alınmıştır. Şekil 3.4.'te 1 No'lu Shaangu turbo körük verilmiştir.



Şekil 3.4. 1 No'lu Shaangu turbo körük.

Demir-Çelik Fabrikasının kurulmasından beri çalışan kuvvet santralinin en eski ekipmanı olan G.E.C. Körük, halen 2 No'lu Yüksek Fırın için gereken yakma havası üretimini yapmaktadır (Şekil 3.5.).



Şekil 3.5. G.E.C. turbo körük.

3.4. KONDENSER

Türbinde iş yapan buhar, kondenserde yoğuşturularak su fazına dönüştürülür. Kuvvet santralinde LAC-50 turbo pompa hariç her buhar türbininin kendisine ait kondenseri bulunmaktadır. Kondenserlerin ikişer adet soğutma suyu girişleri ve çıkışları bulunmaktadır. Kondenserden çıkan soğutma suyu soğutma kulelerinde soğutularak tekrar kondensere gönderilmektedir. Soğutma suyu basıncı ve sıcaklığı mevsimsel olarak, işletme koşullarına göre farklılık göstermektedir. Yapılan enerji ve ekserji hesaplamalarında sıcaklık ve basınç değerleri ortalama $T_{giriş} = 30 \text{ }^{\circ}\text{C}$, $T_{çıkış} = 36 \text{ }^{\circ}\text{C}$, $P_{giriş,mutlak} = 150 \text{ kPa}$, $P_{çıkış,mutlak} = 120 \text{ kPa}$ olarak alınmıştır. Şekil 3.6.'da 1 No'lu Shaangu turbo körük kondenseri verilmiştir.



Şekil 3.6. 1 No'lu Shaangu turbo körük kondenseri.

3.5. KONDENS POMPASI

Kondens pompası, türbinde iş yaptıktan sonra kondensere dökülen çürük buharın yoğuşturulmasıyla elde edilen suyun kazan besleme suyu deposuna basılmasını sağlamaktadır. Şekil 3.7.'de 1 No'lu Shaangu turbo körük kondens pompası verilmiştir. Buhar türbinleri açısından oldukça önemli bir yardımcı ekipman olan kondens pompaları birbirlerine yedeklik yapmaları da göz önünde bulundurularak, her kondenser için en az iki adet olacak şekilde tesis edilmiştir.



Şekil 3.7. 1 No'lu Shaangu turbo körük kondens pompası.

3.6. RS-1 SICAKLIK VE BASINÇ DÜŞÜRME İSTASYONU

Şekil 3.8.'de gösterilen RS-1 sıcaklık ve basınç düşürme istasyonu, 1990'lı yıllarda devreye alınan 65 bar basınç ve 505 °C sıcaklıkta çalışan santralden buhar alarak, 25 bar basınç ve 385 °C sıcaklıktaki buhar parametrelerindeki santralin ihtiyacına göre (buhar balansına göre) buhar beslemesi yapmaktadır. Diğer santralde üretilen 65 bar basınçtaki buhar, elektrik motoru aktüatörlü bir kısılma vanası yardımıyla 25 bar basınca ve püskürtme suyu enjeksiyonu yardımıyla da 505 °C sıcaklıktan 385 °C sıcaklığa düşürülerek, santrale besleme yapılır. Maksimum kapasitesi 100 ton/h olan bu basınç ve sıcaklık düşürücü istasyon, buhar balansına ve ihtiyaca göre değişik yüklerde çalışabilmektedir. Aynı zamanda mevcut otomasyon döngüsü ile gerektiğinde basınç regülasyonu yapmak için de kullanılabilir.



Şekil 3.8. RS-1 Sıcaklık ve basınç düşürme istasyonu.

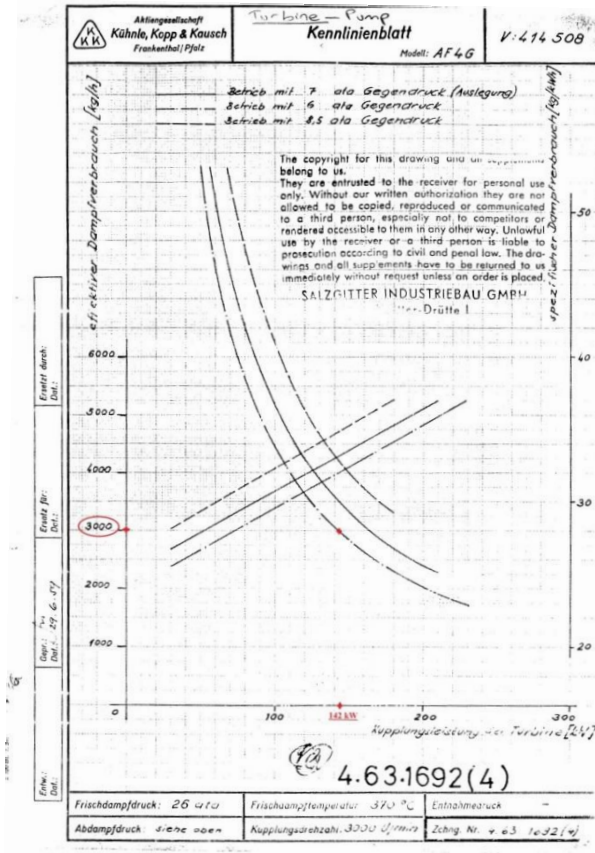
3.7. ALÇAK BASINÇ İSTASYONU

Fabrikanın diğer tesislerindeki işlemler ve ısınma buharı ihtiyacını karşılayan alçak basınç istasyonu, 25 bar basınç ve 385 °C sıcaklıktaki buharı, 4,5 bar basınç ve 280 °C sıcaklığa düşürerek alıcılara besleme sağlar. RS-1 istasyonu ile aynı prensipte

çalışan bu istasyonda, oransal bir vana ile basınç düşürülürken, püskürtme suyu ile de sıcaklık ayarlanır. Ayrıca besleme suyu deposu için gereken ısıtma buharı da bu düşürücü çıkışından sağlanır.

3.8. LAC 50 TÜRBİN POMPA

LAC 50 Türbin Pompa kuvvet santralindeki tek türbin pompa olma özelliğinin yanı sıra kazan besleme suyu pompası olarak işletilmektedir. Türbin, dişli, yağ tankı ve soğutucu hepsi bir makinayı oluşturur. Türbinin bir basınç, iki hız safhası vardır. Buhar nozuldun ayrıldıktan sonra tek kenarlı kanatçığa doğru ilerler ve türbini çevirir. Teknik dökümanlarına göre türbin maksimum şaft gücü 231 kW olarak verilmiştir. Fakat türbin maksimum yükte çalışmadığından Şekil 3.9.'da verilen ilgili performans grafiğı incelenerek şaft gücü 142 kW olarak belirlenmiştir. Ayrıca türbin için iki hız safhası (3000rpm ya da 8380 rpm) belirtilmişse de, türbin uzun zamandır yalnızca 3000 rpm hızda işletilmektedir.



Şekil 3.9. LAC 50 Türbin pompa performans eğrisi (Kardemir A.Ş., 1959).

LAC 50 Türbin Şekil 3.10.'da gösterildiği üzere karşı basınçlı bir türbin olup kondenseri bulunmamaktadır. Türbin buhar çıkış hattı alçak basınç düşürücü istasyonunun çıkışına paralel bağlanmış olup, türbin aynı zamanda düşürücü (basınç ve sıcaklık) görevi de yapmış olmaktadır. Türbinde iş yapan 25 bar basınç ve 385 °C sıcaklıktaki buhar, türbin çıkışında 4,5 bar basınç ve 280 °C sıcaklığa düşerek, diğer proseslere gönderilmektedir.

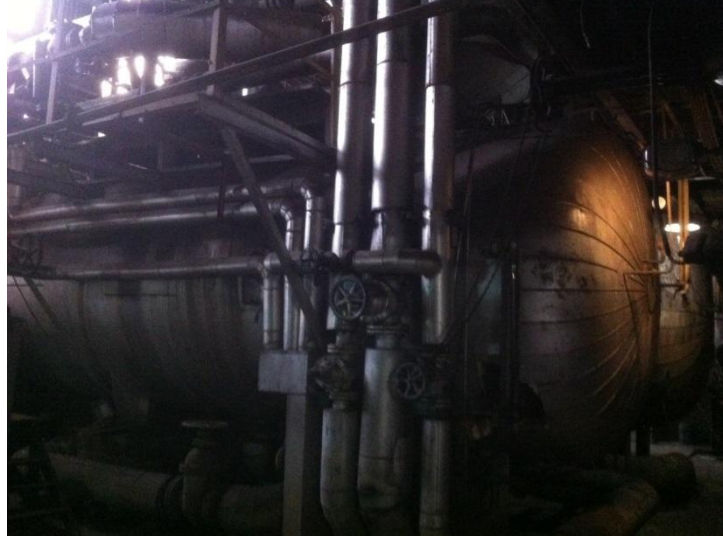
LAC 50 Türbin Pompa, besleme suyu deposundan aldığı kazan besleme suyunu basınçlandırarak (104 °C, 52 bar) kazana gönderir. LAC 50 Türbin Pompaya yedeklik yapan iki adet elektrik motorlu besleme suyu pompası bulunmaktadır. Bu pompalar sadece acil durumlarda çalıştırılmaktadır.



Şekil 3.10. LAC 50 türbin pompa.

3.9. KAZAN BESLEME SUYU DEPOSU

Kazan için gerek besleme suyunun ve kondensat dönüşlerinin toplandığı, ısıtılarak çözünmemiş gazların uzaklaştırıldığı ve geri dönüşü olmayan proses buharı için demineralizasyon tesisinden takviye demineralize suyun alındığı ekipmandır. Kazan besleme suyu deposu Şekil 3.11.'de gösterilmiştir.



Şekil 3.11. Kazan besleme suyu deposu.

Kuvvet Santralinin incelenen kısmında iki adet besleme suyu deposu bulunmaktadır. Bu iki depo birbiriyle paralel olarak çalıştığından, tek bir depoymuş gibi düşünülmüş ve hesaplamalar bu şekilde yapılmıştır.

BÖLÜM 4

ENERJİ VE EKSERJİ

Enerji günlük yaşamımızın önemli bir kısmıdır. Enerji kaynaklarını, enerji dönüşümlerini ve bu dönüşümlerin sonuçlarının iyi değerlendirilmesi gerekmektedir. Enerji; ısı, mekanik, elektrik, kimyasal ve nükleer gibi değişik biçimler alabilir. Sabit kütleli bir sistemden enerji geçişi yada çıkışı iki farklı şekilde ısı ve iş olarak gerçekleşebilir (Çengel ve Boles, 2013).

Termodinamiğin birinci yasası, enerjinin niceliği ile ilgilidir ve enerjinin yoktan var veya vardan yok edilemeyeceğini öne sürmektedir. İkinci yasa, enerjinin niteliği ile ilgilidir. Bir hal değişimi sırasında enerjinin niteliğinin azalması, entropi üretimi ve iş yapma yeteneğinin değerlendirilememesi ile ilgilidir ve sistemleri geliştirmek için çeşitli fırsatlar sunar. Ekserji ise belirli bir çevreye ait bir halde bulunan sistemden elde edilebilecek en fazla yararlı iş olarak tanımlanır (Çengel ve Boles, 2013).

4.1. ENERJİNİN BİÇİMLERİ

Enerji ısı, mekanik, kinetik, potansiyel, elektrik, manyetik, kimyasal, nükleer gibi değişik biçimler alabilir. Bunların tümünün toplamı, sistemin toplam enerjisini oluşturur (Çengel ve Boles, 2013).

Manyetik, elektrik ve yüzey gerilmesiyle ilgili enerjiler sadece bazı durumlarda önem kazanırlar. Bu enerjilerin etkisiz olmaları durumunda, sistemin toplam enerjisi kinetik, potansiyel ve iç enerjilerden oluşur:

Sistemin toplam enerjisi:

$$E = U + KE + PE = U + m \frac{v^2}{2} + mgz \quad (\text{kJ}) \quad (4.1)$$

veya birim kütle için enerji;

$$e = u + ke + pe = u + \frac{v^2}{2} + gz \quad (\text{kJ/kg}) \quad (4.2)$$

eşitlikleri ile ifade edilir (Çengel ve Boles, 2013).

4.1.1. Kinetik Enerji

Sistemin, bir referans noktasına göre hareketinden dolayı sahip olduğu enerjiye kinetik enerji (KE) denir. Sistemin her noktası aynı hızla hareket ettiği zaman, kinetik enerji,

$$KE = m \frac{v^2}{2} \quad (\text{kJ}) \quad (4.3)$$

veya birim kütle için,

$$ke = \frac{v^2}{2} \quad (\text{kJ/kg}) \quad (4.4)$$

eşitlikleri ile ifade edilebilir (Çengel ve Boles, 2013).

4.1.2. Potansiyel Enerji

Sistemin bir yerçekimi alanındaki yüksekliğine bağlı olarak sahip olduğu enerjiye potansiyel enerji (PE) denir. Potansiyel enerji,

$$PE = mgz \quad (\text{kJ}) \quad (4.5)$$

veya birim kütle için,

$$pe = gz \quad (\text{kJ/kg}) \quad (4.6)$$

eşitlikleri ile ifade edilebilir (Çengel ve Boles, 2013).

4.1.3. İç Enerji

İç enerji moleküler yapıya ve moleküllerin hareketlilik düzeyine bağlı olup, kinetik ve potansiyel enerjilerinin toplamı olarak düşünülebilir (Çengel ve Boles, 2013).

Sistemin iç enerjisinin, moleküllerin kinetik enerjisiyle ilişkili olan bölümüne duyulur enerji adı verilir (Çengel ve Boles, 2013).

Katı veya sıvı bir cismin moleküllerine yeterince enerji verilirse, moleküller, aralarındaki kuvveti yenip bağları kopararak sistemi gaza dönüştürebilirler. Bu bir faz değişimidir. Eklenen bu enerjiden dolayı gaz fazındaki sistem, katı veya sıvı fazlarına oranla daha yüksek bir iç enerjiye sahip olur. Sistemin, fazıyla ilgili bu iç enerjisine gizli enerji adı verilir (Çengel ve Boles, 2013).

Bir molekülün atomları arasındaki kuvvetlerle ilgili iç enerjiye kimyasal enerji denir. Nükleer kuvvetler elektronları atom çekirdeğine bağlayan kuvvetlerden çok daha büyüktür (Çengel ve Boles, 2013). Ancak füzyon ve fizyon reaksiyonları sonucu ortaya çıkan enerjiye ise nükleer enerji denir.

4.1.4. Mekanik Enerji

Mekanik enerji ideal türbin gibi mekanik bir cihazla, doğrudan ve tamamen mekanik işe dönüşebilen enerji biçimi olarak tanımlanır. Akış halindeki bir akışkanın birim kütle için mekanik enerjisi,

$$e = \frac{p}{\rho} + \frac{v^2}{2} + gz \quad (4.7)$$

şeklindedir (Çengel ve Boles, 2013).

4.2. TERMODİNAMİĞİN 1. YASASI

Bir sistemin belirli iki hali arasında gerçekleşebilecek tüm adyabatik hal değişimleri sırasında yapılan net iş, sisteme veya hal değişimlerine bağlı olmaksızın aynıdır. Bu ilke Termodinamiğin birinci yasası olarak adlandırılır.

Termodinamiğin birinci yasası temel olarak enerjinin korunumu ilkesinin bir ifadesidir ve enerjinin korunumu olarak da adlandırılır. Herhangi bir hal değişimi sırasında herhangi bir sistemin kütle ve enerji korunumları,

$$\underbrace{E_g - E_ç}_{\text{Isı, iş ve kütle ile gerçekleşen net enerji geçişi}} = \underbrace{\Delta E_{\text{sistem}}}_{\text{Sistemin iç, kinetik, potansiyel vb. enerjilerindeki değişim}} \quad (4.8)$$

veya birim zamanda,

$$\underbrace{\dot{E}_g - \dot{E}_ç}_{\text{Birim zamanda ısı, iş ve kütle ile gerçekleşen enerji geçişi}} = \underbrace{dE_{\text{sistem}}/dt}_{\text{Birim zamanda sistemin iç, kinetik, potansiyel vb. enerjilerindeki değişim}} \quad (4.9)$$

şeklinde tanımlanır (Çengel ve Boles, 2013).

Sürekli akışlı hal değişimi için genel enerji dengesi eşitliği aşağıda verildiği gibi yazılabilir ($\Delta KE = \Delta PE = 0$):

$$Q - W = \sum_ç mh - \sum_g mh \quad (4.10)$$

4.3. TERMODİNAMİĞİN 2. YASASI

Termodinamiğin ikinci yasası, bir sistem için mikroskobik düzensizliğin nicel ölçüsüdür ve entropi olarak tanımlanmaktadır (Çengel ve Boles, 2013).

Herhangi bir hal değişiminde herhangi bir sistem için entropi dengesinin genel şekli aşağıdaki gibidir:

$$\underbrace{S_g - S_\zeta}_{\text{Isı ve kütle ile gerçekleşen entropi geçişi}} + \underbrace{\dot{S}_{\text{üretim}}}_{\text{Entropi üretimi}} = \underbrace{\Delta S_{\text{sistem}}}_{\text{Entropideki değişim}} \quad (4.11)$$

Ya da birim zaman için aşağıda verildiği gibi ifade edilebilir:

$$\underbrace{\dot{S}_g - \dot{S}_\zeta}_{\text{Birim zamanda ısı ve kütle ile gerçekleşen entropi geçişi}} + \underbrace{\dot{S}_{\text{üretim}}}_{\text{Birim zamanda entropi üretimi}} = \underbrace{dS_{\text{sistem}}/dt}_{\text{Birim zamanda entropideki değişim}} \quad (4.12)$$

Sürekli akışlı hal değişimi için genel entropi dengesi eşitliği aşağıda verildiği gibi yazılabilir:

$$\dot{S}_{\text{üretim}} = \sum \dot{m}_g s_\zeta - \sum \dot{m}_g s_g - \sum \frac{\dot{Q}_k}{T_k} \quad (4.13)$$

4.4. EKSERJİ

Belirli bir haldeki bir sistemin yararlı iş potansiyeli, ekserji olarak tanımlanır. Çevresiyle denge halinde olan bir sistemin ekserjisi sıfırdır ve buna ölü hal denir. Ekserji sadece sistemin değil, sistem-çevre birleşiminin bir özelliğidir. Çevreyi değiştirmek, ekserjiyi arttırmanın diğer bir yoludur (Çengel ve Boles, 2013).

Çizelge 4.1. Enerji ve ekserjinin karşılaştırılması (Dincer and Çengel, 2001).

Enerji	Ekserji
<ul style="list-style-type: none"> • Sadece enerji akımına ve maddenin parametrelerine bağlıdır ancak çevresel parametrelere bağlı değildir. • Hareket üretme yeteneğidir. • Sıfırdan farklı değerlere sahiptir. • Tüm proseslerde her zaman korunur ve yoktan var, vardan yok edilemez. • Tüm prosesler için termodinamiğin birinci yasası ile analiz edilir. • Sadece miktarın bir ölçüsüdür. • Tüm prosesler için termodinamiğin ikinci yasası ile sınırlıdır. 	<ul style="list-style-type: none"> • Maddenin parametrelerine, enerji akımına ve çevresel parametrelere bağlıdır. • İş üretme yeteneğidir. • Çevre şartlarında sıfıra eşittir. • Tersinir prosesler için her zaman korunur, tersinmez proseslerde kayıplara uğrar. • Tersinir prosesler için termodinamiğin birinci yasası ile analiz edilir. • Entropi oluşumundan dolayı oluşan kayıpları göz önüne aldığından hem miktarın hem de kalitenin bir ölçüsüdür.

4.4.1. Kinetik Ekserji

Kinetik enerji, mekanik enerjinin bir şeklidir ve bu nedenle tamamen işe çevrilebilir. Bundan dolayı, bir sistemin kinetik enerjisinin iş potansiyeli veya ekserjisi, çevrenin sıcaklığı ve basıncı ne olursa olsun kinetik enerjinin kendisine eşittir. Buna göre;

$$E_x^{\text{kin}} = m \frac{v^2}{2} \quad (4.14)$$

eşitliği yazılabilir (Çengel ve Boles, 2013).

4.4.2. Potansiyel Ekserji

Potansiyel enerji, mekanik enerjinin bir şeklidir ve bu nedenle tamamen işe çevrilebilir. Bundan dolayı, bir sistemin potansiyel enerjisinin ekserjisi, çevrenin sıcaklığı ve basıncı ne olursa olsun potansiyel enerjinin kendisine eşittir. Buna göre;

$$E_x^{\text{pot}} = mgz \quad (4.15)$$

eşitliği yazılabilir.

Burada g yerçekimi ivmesidir ve z sistemin bulunduğu ortamdaki referans düzlemine göre göreceli yüksekliğidir (Çengel ve Boles, 2013).

4.4.3. Fiziksel Ekserji

Fiziksel ekserji, akış halindeki bir madde, çevre ile sadece ısıl etkileşim içeren tersinir fiziksel prosesler ile başlangıç şartlarından, çevre şartlarına getirildiği zaman elde edilen maksimum iş miktarına eşittir (Kotas, 1995).

Buna göre özgül fiziksel ekserji için;

$$ex^{\text{fiz}} = (h - h_0) - T_0(s - s_0) \quad (4.16)$$

eşitliği kullanılabilir.

4.4.4. Kimyasal Ekserji

Sistem sınırlandırılmış ölü duruma geldikten sonra ölü hale geçerken elde edilebilecek ekserji, kimyasal ekserjidir. Kimyasal ekserji hesaplanırken, sistemi oluşturan maddelerin ve çevrenin içeriğinin bilinmesi gereklidir.

Bu çalışmada, ideal gazların molar kimyasal ekserjileri;

$$\bar{e}_x^{kim} = \bar{R}T_0 \sum y_i \ln \left(\frac{y_i}{y} \right) = \sum_i y_i \bar{e}^{kim,i} + \bar{R}T_0 \sum_i y_i \ln y_i \quad (4.17)$$

Suyun molar kimyasal ekserjisi;

$$\bar{e}_x^{kim} = R_{H_2O} \cdot T_0 \cdot \ln \frac{P_{doyma}(T_0)}{P_\infty} \quad (4.18)$$

Gaz yakıtların kimyasal ekserjileri;

$$e_x^{kim} = \varphi \cdot (\dot{H}_u) \quad (4.19)$$

eşitlikleriyle hesaplanmıştır.

4.5. İKİNCİ YASA VERİMİ

İkinci yasa verimi, bir düzeneğin etkinliğinin aynı ilk ve son haller arasındaki tersinir hal değişimi sırasındaki etkinliği ile karşılaştırılmasıdır ve ısı makineleri ile diğer iş üreten düzenekler için aşağıda verildiği gibi yazılabilir:

$$\eta_{II} = \frac{\eta_{Isil}}{\eta_{Isil, tr}} = \frac{W_y}{W_{tr}} \quad (4.20)$$

Soğutma makinaları, ısı pompaları ve diğer iş tüketen düzenekler için ise aşağıda verildiği gibi yazılabilir:

$$\eta_{II} = \frac{COP}{COP_{tr}} = \frac{W_{tr}}{W_y} \quad (4.21)$$

Genel olarak ikinci yasa verimi aşağıda verildiği gibi ifade edilir:

$$\eta_{II} = \frac{\text{Geri kazanılan enerji}}{\text{Sağlanan ekserji}} = 1 - \frac{\text{Ekserji yok oluşu}}{\text{Sağlanan ekserji}} \quad (4.22)$$

BÖLÜM 5

ENERJİ KAYIPLARININ BELİRLENMESİ

Bu bölümde buhar kazanı ve diğer ekipmanlar için giren, çıkan entalpiler ile enerji kayıpları hesaplanmıştır.

İncelediğimiz ekipmanlarındaki enerji kayıpları aşağıdaki eşitlik ile toplam entalpi girişinden, toplam entalpi çıkışı farkının alınması şeklinde hesaplanır.

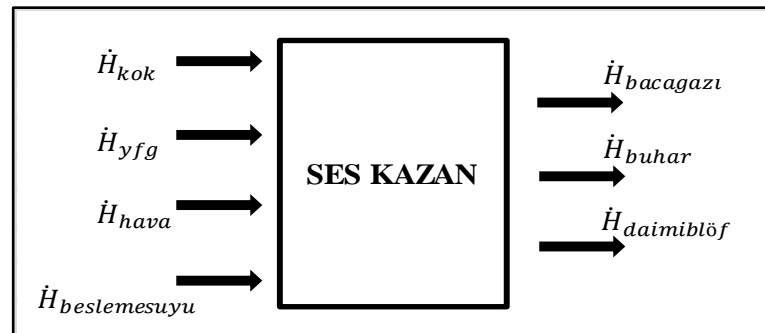
$$\dot{Q} - \dot{W} = \sum \dot{m}_\text{ç} h_\text{ç} - \sum \dot{m}_\text{g} h_\text{g} \quad (5.1)$$

$$\dot{W} = 0, \dot{Q} = -\dot{Q}_{\text{kayıp}} \quad (5.2)$$

$$\dot{Q}_{\text{kayıp}} = \sum \dot{m}_\text{g} h_\text{g} - \sum \dot{m}_\text{ç} h_\text{ç} \quad (5.3)$$

5.1. BUHAR KAZANINA GİREN VE ÇIKAN ENERJİ MİKTARININ BELİRLENMESİ

Şekil 5.1.'de kazana giren ve çıkan ürünlerin entalpileri şematik olarak gösterilmiştir. Kazanda meydana gelen enerji kaybının hesaplanabilmesi için bu ürünlerin her birinin ayrı ayrı entalpileri hesaplanmıştır.



Şekil 5.1. Ses buhar kazanı giren - çıkan ürün entalpileri.

5.1.1. Yakıtların Entalpilerinin Belirlenmesi

Kok gazının yanma entalpisi;

$$\dot{H}_{\text{kok}} = 16555 \cdot 0,6 = 9933 \text{ kW}$$

Yüksek Fırın gazının yanma entalpisi;

$$\dot{H}_{\text{yfg}} = 3111 \cdot 10,64 = 33101,04 \text{ kW}$$

olarak bulunur.

Kazanda yakılan yakıtlardan elde edilen toplam entalpi;

$$\dot{H}_{\text{top}} = \dot{H}_{\text{kok}} + \dot{H}_{\text{yfg}} \quad (5.4)$$

$$\dot{H}_{\text{top}} = 9933 + 33101,04 = 43034,04 \text{ kW}$$

olarak hesaplanır.

5.1.2. Baca Gazı Bileşenlerinin Molar Debilerinin Belirlenmesi

Baca gazı entalpisi belirlenirken kullanılan eşitlikler aşağıdadır:

$$\dot{H}_{\text{bg}} = \dot{n}_{\text{bg}} \cdot \underbrace{(\bar{h} - \bar{h}_o)}_{?} \quad (\dot{n}_{\text{bg}} = 0,92 \text{ kmol/s}) \quad (5.5)$$

$$\bar{C}_{p,\text{bg}} = (\bar{h} - \bar{h}_o) / (T - T_o) \rightarrow (\bar{h} - \bar{h}_o) = \bar{C}_{p,\text{bg}} \cdot (T - T_o) \quad (5.6)$$

$$\bar{C}_{p,\text{bg}} = (y_{O_2} \cdot \bar{C}_{p,O_2}) + (y_{CO_2} \cdot \bar{C}_{p,CO_2}) + (y_{H_2O} \cdot \bar{C}_{p,H_2O}) + (y_{N_2} \cdot \bar{C}_{p,N_2}) \quad (5.7)$$

Bu eşitliklere göre baca gazı entalpisinin hesaplanabilmesi için, baca gazı bileşenlerinin molar debilerinin hesaplanmaları gerekir.

5.1.2.1. Baca Gazı Molar Debisinin Belirlenmesi

Baca gazı bileşenlerinin molar debilerinin belirlenebilmesi için öncelikle toplam baca gazı molar debisinin belirlenmesi gerekmektedir:

$$P_{bg} \cdot \dot{V}_{bg} = \dot{n}_{bg} \cdot \bar{R} \cdot T_{bg} \quad (5.8)$$

$$P_{bg} = 110,03 \text{ kPa}$$

$$\dot{V}_{bg} = 30 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$T_{bg} = 430,15 \text{ K}$$

$$\bar{R} = 8,314 \text{ kJ/kmol K}$$

Bu termodinamik özellikler dikkate alındığında baca gazı molar debisi:

$$\dot{n}_{bg} = \frac{110,03 \cdot 30}{8,314 \cdot 430,15}$$

$$\dot{n}_{bg} = 0,92 \text{ kmol/s}$$

olarak hesaplanabilir.

5.1.2.2. Oksijen Molar Debisinin Belirlenmesi

Baca gazında bulunan oksijen oranı kazan yanma veriminin takibi açısından oldukça önem kazanmakta ve tesisteki tüm kazanlarda bu oran oksijen analizörleriyle anlık olarak ölçülmekte olup, operatörün takibi için kumanda bilgisayarında okunabilmektedir.

Kazan 50 t/h debide üretim yaparken baca gazı içerisindeki oksijen oranı % 2 olarak okunmuştur.

Buna göre ;

$$\frac{\dot{V}_{O_2}}{\dot{V}_{bg}} = \frac{\dot{n}_{O_2}}{\dot{n}_{bg}} = \frac{\dot{n}_{O_2}}{0,92} = 0,02$$

$$\dot{n}_{O_2} = 0,02 \cdot 0,92 = 0,018 \text{ kmol/s}$$

olarak hesaplanabilir.

5.1.2.3. Karbondioksit Molar Debisinin Belirlenmesi

Yakıt bileşenlerinin her birinin, nemli hava ile olan yanma reaksiyonlarından, giren ve çıkan kütle eşitliği sağlanarak, baca gazı içerisindeki karbondioksit miktarı hesaplanır. Çizelge 5.1.'de yakıtların bileşenleri, bileşenlerin molar oranları ve volümetrik debileri verilmiştir.

Çizelge 5.1. Yakıtların bileşenleri, molar oranlar ve volümetrik debileri.

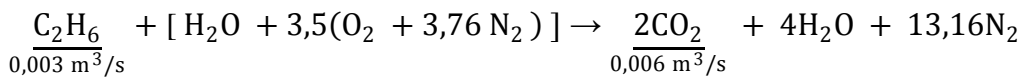
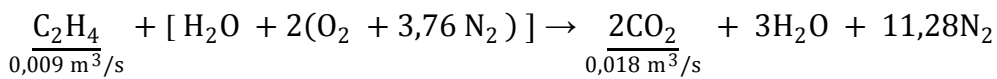
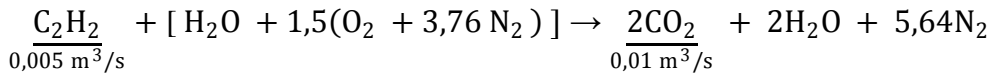
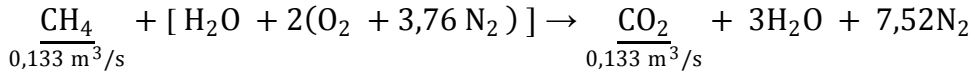
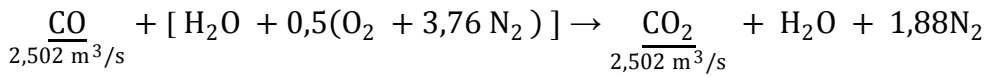
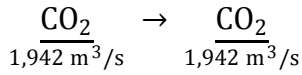
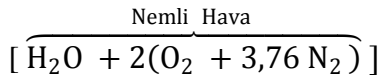
Yakıt Cinsi	Bileşenler		Molar Oranlar (%)	Volümetrik Debi (m ³ /s)
Kok Gazı Pabs=104,025 kPa v=0,60 m ³ /s	Oksijen	O ₂	0,36	0,002
	Hidrojen	H ₂	57,58	0,345
	Azot	N ₂	7,14	0,043
	Karbonmonoksit	CO	6,95	0,042
	Karbondioksit	CO ₂	3,02	0,018
	Metan	CH ₄	22,18	0,133
	Etan	C ₂ H ₆	0,49	0,003
	Asetilen	C ₂ H ₂	0,82	0,005
	Etilen	C ₂ H ₄	1,46	0,009
Yüksek Fırın Gazı Pabs=103,325 kPa v=10,64 m ³ /s	Hidrojen	H ₂	1,74	0,185
	Azot	N ₂	57,06	6,071
	Karbonmonoksit	CO	23,12	2,460
	Karbondioksit	CO ₂	18,08	1,924

Çizelge 5.1.'deki verilerden yola çıkarak yakıt bileşenlerinin toplam volümetrik debileri Çizelge 5.2.' de verilmiştir.

Çizelge 5.2. Yakıt bileşenlerinin toplam volümetrik debileri.

Bileşenler		Toplam Volümetrik Debi (m ³ /s)
Hidrojen	H ₂	0,531
Azot	N ₂	6,114
Karbonmonoksit	CO	2,502
Karbondioksit	CO ₂	1,942
Metan	CH ₄	0,133
Etan	C ₂ H ₆	0,003
Asetilen	C ₂ H ₂	0,005
Etilen	C ₂ H ₄	0,009

Buna göre yakıt bileşenlerinin her birinin, nemli hava ile olan yanma reaksiyonları aşağıdaki gibidir:



Yakıt bileşenlerinin nemli hava ile yanma reaksiyonları yukarıda verilmiştir. Bu denklemlere göre yakıtın yanması sonucu oluşan Karbondioksit (CO₂) miktarları aşağıda verilmiştir:

1. Denklemden, 1 kmol (1,942 m³/s) Karbondioksit (CO₂) girişi olmuş, 1 kmol (1,942 m³/s) Karbondioksit (CO₂) çıkışı olmuştur.

2. Denklemden, 1 kmol (2,502 m³/s) Karbonmonoksit (CO) nemli hava ile yakılarak, 1 kmol (2,502 m³/s) Karbondioksit (CO₂) oluşmuştur.

3. Denklemden, 1 kmol (0,133 m³/s) Metan (CH₄) nemli hava ile yakılarak, 1 kmol (0,133 m³/s) Karbondioksit (CO₂) oluşmuştur.

4. Denklemden, 1 kmol (0,005 m³/s) Asetilen (C₂H₂) nemli hava ile yakılarak, 2 kmol (0,01 m³/s) Karbondioksit (CO₂) oluşmuştur.

5. Denklemden, 1 kmol (0,009 m³/s) Etilen (C₂H₄) nemli hava ile yakılarak, 2 kmol (0,018 m³/s) Karbondioksit (CO₂) oluşmuştur.

6. Denklemden, 1 kmol (0,003 m³/s) Etan (C₂H₆) nemli hava ile yakılarak, 2 kmol (0,006 m³/s) Karbondioksit (CO₂) oluşmuştur.

Yanma reaksiyonları sonucunda oluşan toplam Karbondioksit (CO₂) hacimsel debisi;

$$\dot{V}_{CO_2} = 4,611 \text{ m}^3/\text{s} \text{ 'dir.}$$

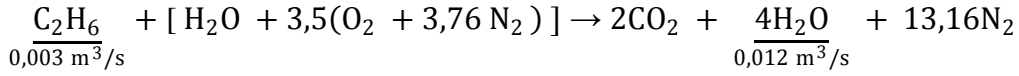
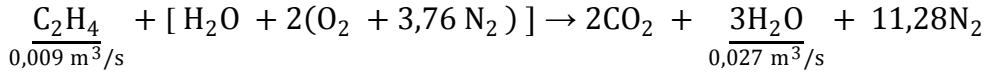
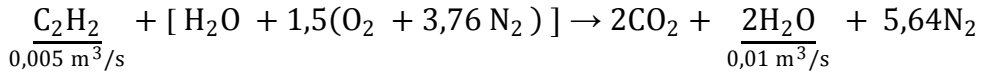
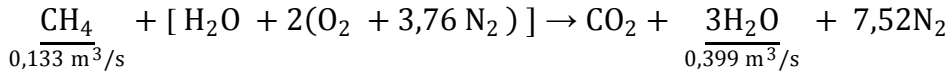
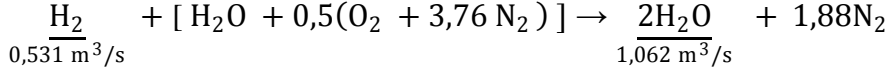
Karbondioksit (CO₂) molar debisi;

N.Ş.A. 22,4 m ³	1 kmol
4,611 m ³ /s	X
<hr/>	

$$\dot{n}_{CO_2} = 0,2058 \text{ kmol/s olarak hesaplanabilir.}$$

5.1.2.4. Su Buharı Molar Debisinin Belirlenmesi

Yakıt bileşenlerinin her birinin, nemli hava ile olan yanma reaksiyonlarından, giren ve çıkan kütle eşitliği sağlanarak, baca gazı içerisindeki su buharı miktarı hesaplanır.



Yakıt bileşenlerinin nemli hava ile yanma reaksiyonları yukarıda verilmiştir. Bu denklemlere göre yakıtın yanması sonucu oluşan Su buharı (H₂O) miktarları aşağıda verilmiştir:

1. Denklemden, 1 kmol (0,531 m³/s) Hidrojen (H₂) girişi ve 2 kmol (1,062 m³/s) su buharı (H₂O) çıkışı olmuştur.
2. Denklemden, 1 kmol (0,133 m³/s) Metan (CH₄) nemli hava ile yakılarak, 3 kmol (0,399 m³/s) su buharı (H₂O) oluşmuştur.
3. Denklemden, 1 kmol (0,005 m³/s) Asetilen (C₂H₂) nemli hava ile yakılarak, 2 kmol (0,01 m³/s) su buharı (H₂O) oluşmuştur.

4. Denklemdede, 1 kmol (0,009 m³/s) Etilen (C₂H₄) nemli hava ile yakılarak, 3 kmol (0,027 m³/s) su buharı (H₂O) oluşmuştur.

5. Denklemdede, 1 kmol (0,003 m³/s) Etan (C₂H₆) nemli hava ile yakılarak, 4 kmol (0,012 m³/s) su buharı (H₂O) oluşmuştur.

Yanma reaksiyonları sonucunda oluşan toplam Su Buharı (H₂O) hacimsel debisi;

$$\dot{V}_{H_2O} = 1,51 \text{ m}^3/\text{s} \text{ 'dir.}$$

Su buharının (H₂O) molar debisi;

N.Ş.A. 22,4 m ³	1 kmol
1,51 m ³ /s	X
<hr/>	

$$\dot{n}_{H_2O} = 0,0674 \text{ kmol/s}$$

olarak hesaplanabilir.

5.1.2.5. Azot Molar Debisinin Belirlenmesi

Baca gazının toplam mol miktarından, hesaplanan diğer yanma ürünlerinin toplam mol miktarını çıkardığımızda, baca gazındaki azotun toplam mol miktarını elde etmiş oluruz.

$$\underbrace{\dot{n}_{O_2}}_{0,018 \text{ kmol/s}} + \underbrace{\dot{n}_{CO_2}}_{0,2058 \text{ kmol/s}} + \underbrace{\dot{n}_{H_2O}}_{0,0674 \text{ kmol/s}} + \underbrace{\dot{n}_{N_2}}_{?} = \dot{n}_{bg} = 0,92 \text{ kmol/s}$$

$$\rightarrow \dot{n}_{N_2} = 0,63 \text{ kmol/s}$$

olarak bulunur.

5.1.2.6. Baca Gazı Entalpisinin Belirlenmesi

Baca gazı entalpsi hesaplanırken, baca gazı bileşenlerinin 157 °C sıcaklıktaki özgül ısı kapasiteleri termodinamik tablolardan çekilmiş ve aşağıdaki eşitlik ile hesaplanmıştır.

$$\dot{H}_{bg} = \dot{n}_{bg} \cdot \underbrace{(\bar{h} - \bar{h}_o)}_{?} \quad (\dot{n}_{bg} = 0,92 \text{ kmol/s}) \quad (5.9)$$

$$\bar{C}_{p,bg} = (\bar{h} - \bar{h}_o) / (T - T_o) \rightarrow (\bar{h} - \bar{h}_o) = \bar{C}_{p,bg} \cdot (T - T_o) \quad (5.10)$$

$$\bar{C}_{p,bg} = (y_{O_2} \cdot \bar{C}_{p,O_2}) + (y_{CO_2} \cdot \bar{C}_{p,CO_2}) + (y_{H_2O} \cdot \bar{C}_{p,H_2O}) + (y_{N_2} \cdot \bar{C}_{p,N_2}) \quad (5.11)$$

Çizelge 5.3. Baca gazı bileşenlerinin izobarik ısı kapasiteleri.

Baca Gazı Bileşenleri	İzobarik Isıl Kapasiteler (kJ/kmol)
CO ₂	40,61
H ₂ O	33,68
N ₂	29,48
O ₂	28,91

Çizelge 5.3.'teki baca gazı bileşenlerinin termodinamik tablolardan bulunan izobarik ısı kapasiteleri, eşitlikte yerine konularak baca gazı ısı kapasitesi bulunur:

$$\bar{C}_{p,bg} = 0,02 \cdot 28,91 + 0,224 \cdot 40,61 + 0,073 \cdot 33,68 + 0,686 \cdot 29,48$$

$$\bar{C}_{p,bg} = 32,34934 \text{ kJ/kmol K}$$

Aşağıdaki denklemde ise entalpi farkı hesaplanmıştır.

$$(\bar{h} - \bar{h}_o) = \bar{C}_{p,bg} \cdot (T - T_o) \quad (5.12)$$

$$(\bar{h} - \bar{h}_o) = 32,34934 \cdot (157 - 25)$$

$$(\bar{h} - \bar{h}_o) = 4270,113 \text{ kJ/kmol}$$

Baca gazı entalpisi aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanabilir:

$$\dot{H}_{bg} = \dot{n}_{bg} \cdot (\bar{h} - \bar{h}_o) \quad (5.13)$$

$$\dot{H}_{bg} = 0,92 \cdot 4270,113$$

$$\dot{H}_{bg} = 3941,3 \text{ kW}$$

5.1.3. Yakma Havası Entalpisinin Belirlenmesi

Buhar kazanı için yakma havası sağlayan bir adet FD fan bulunmaktadır. Kazan performans testi esnasında her iki brülörün hava girişlerindeki debimetrelerden okunan nemli yakma havası debi değeri saatlik 35000 Nm³'tür. Fan bu havayı atmosfer şartlarından (25°C sıcaklık ve 1 atm basınç) emerek kazana basmaktadır. Fan emişindeki debinin sıcaklık düzeltilmesi yapılarak belirlenmesi gerekmektedir.

Birim zamanda kazana gönderilen nemli hava miktarı;

$$\dot{V}_{hava} = 35000/3600$$

$$\dot{V}_{hava} = 9,72 \text{ Nm}^3/\text{s}$$

olarak hesaplanır.

Buna göre;

$$\text{m}^3/\text{s} = \text{N m}^3/\text{s} \cdot \underbrace{\left(\frac{273,15 + T_o}{273,15}\right)}_{\text{Sıcaklık düzeltmesi}} \cdot \underbrace{\left(\frac{101,325}{101,325 + P_o}\right)}_{\text{Basınç düzeltmesi}}$$

$T_o = 25 \text{ }^\circ\text{C}$, $P_o = 0 \text{ kPa}$ için;

$$\text{m}^3/\text{s} = 9,72 \cdot \left(\frac{273,15 + 25}{273,15} \right) \cdot \left(\frac{101,325}{101,325 + 0} \right)$$

$$\dot{V}_{\text{hava}} = 10,61 \text{ m}^3/\text{s}$$

olarak belirlenir.

$$\dot{m}_{\text{hava}} = \dot{V}_{\text{hava}} \cdot \rho_{\text{hava}} \quad (5.14)$$

$$\dot{m}_{\text{hava}} = 10,61 \cdot 1,2$$

$$\dot{m}_{\text{hava}} = 12,73 \text{ kg/s}$$

Kazana giren hava atmosfer şartlarından emilmektedir. 25 °C sıcaklık ve 101,325 kPa mutlak basınçtaki havanın özgül entalpisi termodinamik tablolardan 298,33 kJ/kg olarak bulunur. Yakma havasının toplam entalpisi, debiyle çarpıldığında;

$$\dot{H}_{\text{hava}} = \underbrace{\dot{m}_{\text{hava}}}_{12,73 \text{ kg/s}} \cdot \underbrace{h_{\text{hava}}}_{298,33 \text{ kJ/kg}} \quad (5.15)$$

$$\dot{H}_{\text{hava}} = 12,73 \cdot 298,33$$

$$\dot{H}_{\text{hava}} = 3797,74 \text{ kW}$$

olarak bulunur.

5.1.4. Besleme Suyu Entalpisinin Belirlenmesi

Kazan 50 t/h debide buhar üretim, yaparken, yaklaşık 2 t/h debide kazan suyu blöf ettiği düşünülürse 52 t/h besleme suyuna ihtiyaç duyacaktır. Kazana giren besleme suyu 104 °C sıcaklık ve 53 bar mutlak basınçtaadır. Bu sıcaklık ve basınçtaki suyun

özgül entalpisi, termodinamik tablolardan 439,83 kJ/kg olarak bulunur. Buna göre besleme suyu entalpisi, debi ile özgül entalpisi çarpılarak:

$$\dot{H}_{\text{bsu}} = \dot{m}_{\text{bsu}} \cdot h_{\text{bsu}} \quad (5.16)$$

$$\dot{H}_{\text{bsu}} = 14,44 \cdot 439,33$$

$$\dot{H}_{\text{bsu}} = 6343,93 \text{ kW}$$

olarak hesaplanır.

5.1.5. Daimi Blöf İle Atılan Suyun Entalpisinin Belirlenmesi

Kazan 50 t/h debide buhar üretimi yaparken, kazan dom bölgesinde biriken safsızlıkları sistemden uzaklaştırmak amacıyla yaklaşık 2 t/h debide kazan suyu blöf ettirilmektedir. Daimi blöf ile atılan su, kazanın dom bölgesinden geldiği için, 228 °C sıcaklık ve 27 bar mutlak basınçtaadır. Bu sıcaklık ve basınçtaki suyun özgül entalpisi, termodinamik tablolardan 980,85 kJ/kg olarak bulunur. Buna göre daimi blöf entalpisi, debi ile özgül entalpisi çarpılarak:

$$\dot{H}_{\text{blöf}} = \dot{m}_{\text{blöf}} \cdot h_{\text{blöf}} = 0,56 \cdot 980,85 \quad (5.17)$$

$$\dot{H}_{\text{blöf}} = 549,28 \text{ kW}$$

olarak hesaplanır.

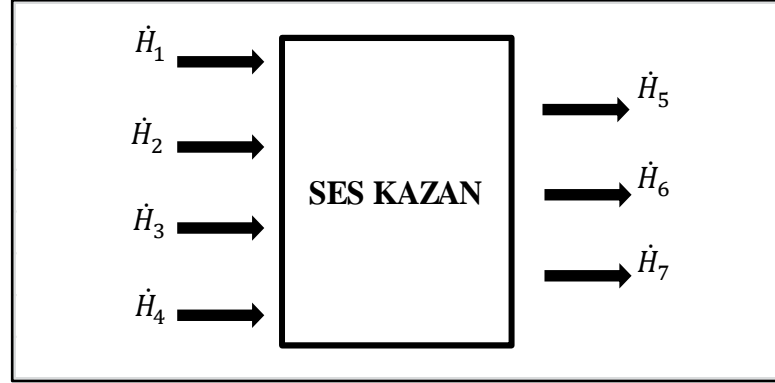
5.1.6. Üretilen Buhar Entalpisinin Belirlenmesi

Kazan 385°C sıcaklık ve 25 bar basınçta 50 ton/h debide buhar üretmektedir. Bu sıcaklık ve basınçtaki buharın özgül entalpisi, termodinamik tablolardan 3204,53 kJ/kg olarak bulunur. Buna göre üretilen buharın entalpisi, debi ile özgül entalpisi çarpıldığında aşağıdaki gibi bulunur:

$$\dot{H}_{\text{buhar}} = \dot{m}_{\text{buhar}} \cdot h_{\text{buhar}} = 13,89 \cdot 3204,53 \quad (5.18)$$

$$\dot{H}_{\text{buhar}} = 44510,92 \text{ kW}$$

5.2. BUHAR KAZANINDAKİ ENERJİ KAYBININ BELİRLENMESİ



Şekil 5.2. Ses buhar kazanı entalpi dengesi.

Şekil 5.2’de gösterilen entalpiler esas alınarak, enerji kaybı denklem 5.19 ile hesaplanır:

$$\dot{Q} - \dot{W} = \sum \dot{m}_c h_c - \sum \dot{m}_g h_g \quad (5.19)$$

$$\dot{W} = 0, \dot{Q} = -\dot{Q}_{\text{kayıp}}$$

$$\dot{Q}_{\text{kayıp}} = \sum \dot{m}_g h_g - \sum \dot{m}_c h_c$$

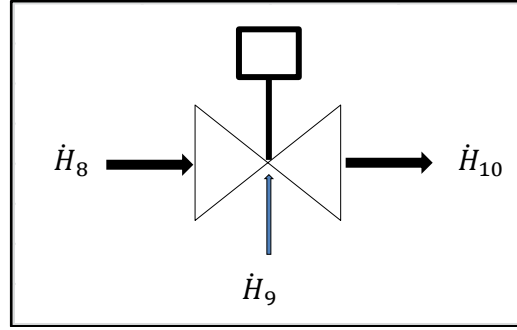
$$\dot{Q}_{\text{kayıp}} = [(\dot{m}_1 \cdot h_1) + (\dot{m}_2 \cdot h_2) + (\dot{m}_3 \cdot h_3) + (\dot{m}_4 \cdot h_4)] - [(\dot{m}_5 \cdot h_5) + (\dot{m}_6 \cdot h_6) + (\dot{m}_7 \cdot h_7)]$$

$$\dot{Q}_{\text{kayıp}} = \overbrace{(\dot{H}_{\text{kok}} + \dot{H}_{\text{yfg}} + \dot{H}_{\text{hava}} + \dot{H}_{\text{bsu}})}^{\dot{H}_{\text{giren}}} - \overbrace{(\dot{H}_{\text{bg}} + \dot{H}_{\text{buhar}} + \dot{H}_{\text{blöf}})}^{\dot{H}_{\text{çıkan}}}$$

$$\dot{Q}_{\text{kayıp}} = (9933 + 33101,04 + 3797,74 + 6343,93) - (3941,3 + 44510,92 + 549,28)$$

$$\dot{Q}_{\text{kayıp}} = 4174,21 \text{ kW}$$

5.3. RS-1 İSTASYONU ENERJİ KAYBININ HESAPLANMASI



Şekil 5.3. RS-1 İstasyonu entalpi dengesi.

Şekil 5.3'te gösterilen entalpiler esas alınarak, enerji kaybı aşağıdaki şekilde hesaplanır:

$$\dot{Q} - \dot{W} = \sum \dot{m}_c h_c - \sum \dot{m}_g h_g$$

$$\dot{W} = 0, \dot{Q} = -\dot{Q}_{\text{kayıp}}$$

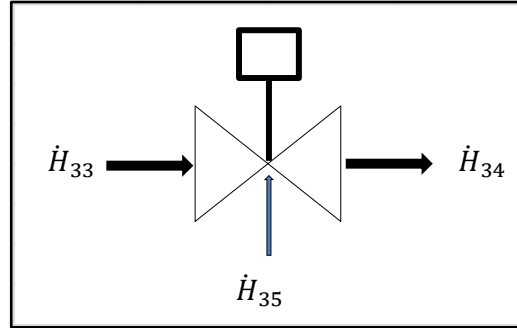
$$\dot{Q}_{\text{kayıp}} = \sum \dot{m}_g h_g - \sum \dot{m}_c h_c$$

$$\dot{Q}_{\text{kayıp}} = \overbrace{(\dot{m}_8 h_8 + \dot{m}_9 h_9)}^{\dot{H}_8 + \dot{H}_9} - \overbrace{(\dot{m}_{10} h_{10})}^{\dot{H}_{10}}$$

$$\dot{Q}_{\text{kayıp}} = (11,57 \cdot 3427,98 + 0,93 \cdot 638,69) - (12,5 \cdot 3204,53)$$

$$\dot{Q}_{\text{kayıp}} = 199,09 \text{ kW}$$

5.4. ALÇAK BASINÇ DÜŞÜRÜCÜ ENERJİ KAYBININ HESAPLANMASI



Şekil 5.4. Alçak basınç düşürücüsü entalpi dengesi.

Şekil 5.4'te gösterilen entalpiler esas alınarak, enerji kaybı aşağıdaki şekilde hesaplanır:

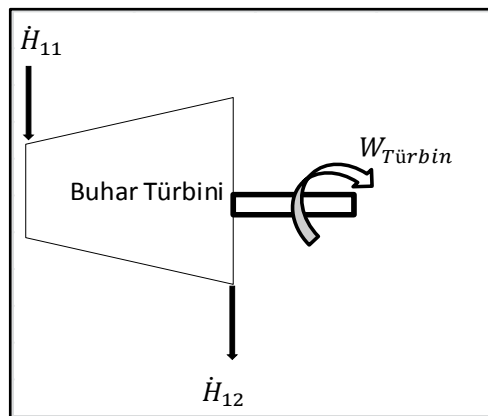
$$\dot{Q}_{\text{kayıp}} = \sum \dot{m}_g h_g - \sum \dot{m}_ç h_ç$$

$$\dot{Q}_{\text{kayıp}} = (\dot{m}_{33} h_{33} + \dot{m}_{35} h_{35}) - (\dot{m}_{34} h_{34})$$

$$\dot{Q}_{\text{kayıp}} = (6,95 \cdot 3204,53 + 0,28 \cdot 636,18) - (7,22 \cdot 3021,85)$$

$$\dot{Q}_{\text{kayıp}} = 631,86 \text{ kW}$$

5.5. GEC KÖRÜK BUHAR TÜRBİNİ ENERJİ KAYBININ HESAPLANMASI



Şekil 5.5. GEC körük buhar türbini entalpi dengesi.

Şekil 5.5'te gösterilen entalpiler esas alınarak, enerji kaybı aşağıdaki şekilde hesaplanır:

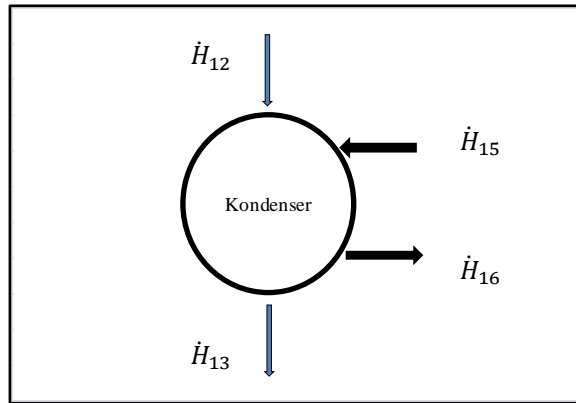
$$\dot{Q}_{\text{kayıp}} + W_{\text{Türbin}} = \sum \dot{m}_g h_g - \sum \dot{m}_ç h_ç$$

$$\dot{Q}_{\text{kayıp}} = (\dot{m}_{11} h_{11}) - (\dot{m}_{12} h_{12} + W_{\text{Türbin}})$$

$$\dot{Q}_{\text{kayıp}} = (2,78 \cdot 3204,53) - (2,78 \cdot 2577,19 + 1528,68)$$

$$\dot{Q}_{\text{kayıp}} = 215,33 \text{ kW}$$

5.6. GEC KÖRÜK KONDENSERİ ENERJİ KAYBININ HESAPLANMASI



Şekil 5.6. GEC körük türbin kondenseri entalpi dengesi.

Şekil 5.6'da gösterilen entalpiler esas alınarak, enerji kaybı aşağıdaki şekilde hesaplanır:

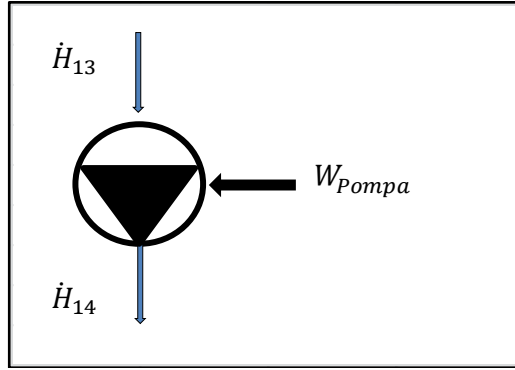
$$\dot{Q}_{\text{kayıp}} = \sum \dot{m}_g h_g - \sum \dot{m}_ç h_ç$$

$$\dot{Q}_{\text{kayıp}} = (\dot{m}_{12} h_{12} + \dot{m}_{15} h_{15}) - (\dot{m}_{13} h_{13} + \dot{m}_{16} h_{16})$$

$$\dot{Q}_{\text{kayıp}} = (2,78 \cdot 2577,19 + 166,67 \cdot 125,88) - (2,78 \cdot 175,92 + 166,67 \cdot 150,93)$$

$$\dot{Q}_{\text{kayıp}} = 2500,48 \text{ kW}$$

5.7. GEC KÖRÜK KONDENSER POMPASININ ENERJİ KAYBININ HESAPLANMASI



Şekil 5.7. GEC körük kondenser pompası entalpi dengesi.

Şekil 5.7’de gösterilen entalpiler esas alınarak, enerji kaybı aşağıdaki şekilde hesaplanır:

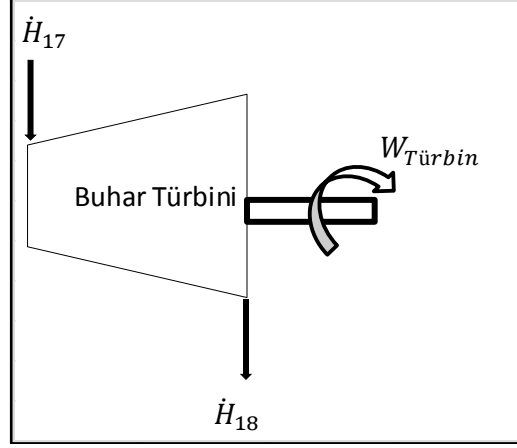
$$\dot{Q}_{\text{kayıp}} - W_{\text{Pompa}} = \sum \dot{m}_g h_g - \sum \dot{m}_ç h_ç$$

$$\dot{Q}_{\text{kayıp}} = (\dot{m}_{13} h_{13} + W_{\text{Pompa}}) - (\dot{m}_{14} h_{14})$$

$$\dot{Q}_{\text{kayıp}} = (2,78 \cdot 175,92 + 3) - (2,78 \cdot 176,22)$$

$$\dot{Q}_{\text{kayıp}} = 2,17 \text{ kW}$$

5.8. 1 NO'LU SHAANGU KÖRÜK BUHAR TÜRBİNİ ENERJİ KAYBININ HESAPLANMASI



Şekil 5.8. 1 No'lu Shaangu buhar türbini entalpi dengesi.

Şekil 5.8'de gösterilen entalpiler esas alınarak, enerji kaybı aşağıda hesaplanmıştır:

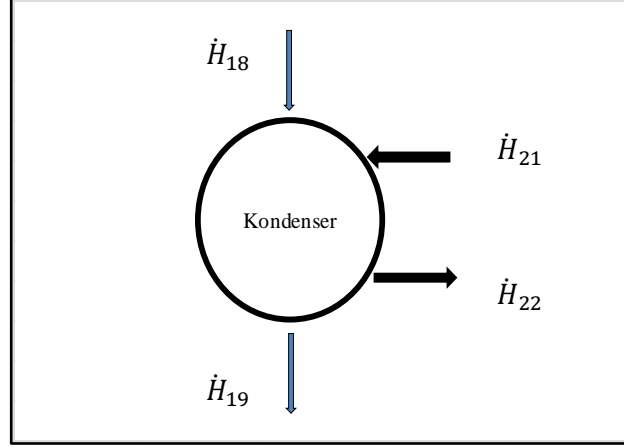
$$\dot{Q}_{kayıp} + W_{Türbin} = \sum \dot{m}_g h_g - \sum \dot{m}_ç h_ç$$

$$\dot{Q}_{kayıp} = (\dot{m}_{17} h_{17}) - (\dot{m}_{18} h_{18} + W_{Türbin})$$

$$\dot{Q}_{kayıp} = (6,94 \cdot 3204,53) - (6,94 \cdot 2577,19 + 3508)$$

$$\dot{Q}_{kayıp} = 845,74 \text{ kW}$$

5.9. 1 NO'LU SHAANGU KÖRÜK KONDENSERİNİN ENERJİ KAYBININ HESAPLANMASI



Şekil 5.9. 1 No'lu Shaangu türbin kondenseri entalpi dengesi.

Şekil 5.9'da gösterilen entalpiler esas alınarak, enerji kaybı aşağıdaki şekilde hesaplanır:

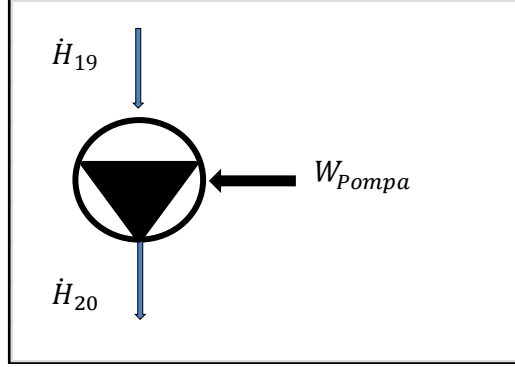
$$\dot{Q}_{\text{kayıp}} = \sum \dot{m}_g h_g - \sum \dot{m}_\varphi h_\varphi$$

$$\dot{Q}_{\text{kayıp}} = (\dot{m}_{18} h_{18} + \dot{m}_{21} h_{21}) - (\dot{m}_{19} h_{19} + \dot{m}_{22} h_{22})$$

$$\dot{Q}_{\text{kayıp}} = (6,94 \cdot 2577,19 + 625 \cdot 125,88) - (6,94 \cdot 175,92 + 625 \cdot 150,93)$$

$$\dot{Q}_{\text{kayıp}} = 1008,56 \text{ kW}$$

5.10. 1 NO'LU SHAANGU KÖRÜK KONDENS POMPASI ENERJİ KAYBININ HESAPLANMASI



Şekil 5.10. 1 No'lu Shaangu körük kondenser pompası entalpi dengesi.

Şekil 5.10'da gösterilen entalpiler esas alınarak, enerji kaybı aşağıdaki şekilde hesaplanır:

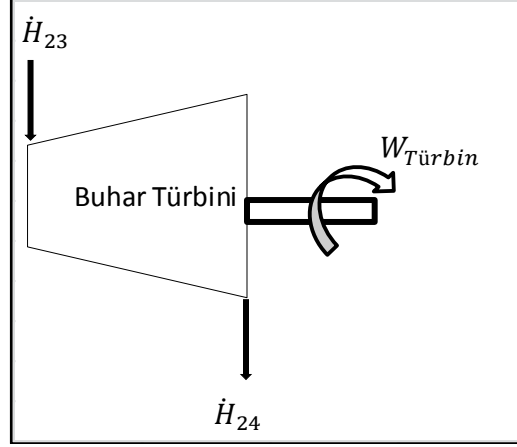
$$\dot{Q}_{\text{kayıp}} - W_{\text{Pompa}} = \sum \dot{m}_g h_g - \sum \dot{m}_c h_c$$

$$\dot{Q}_{\text{kayıp}} = (\dot{m}_{19} h_{19} + W_{\text{Pompa}}) - (\dot{m}_{20} h_{20})$$

$$\dot{Q}_{\text{kayıp}} = (6,94 \cdot 175,92 + 22) - (6,94 \cdot 176,65)$$

$$\dot{Q}_{\text{kayıp}} = 16,93 \text{ kW}$$

5.11. 4 NO'LU SHAANGU KÖRÜK BUHAR TÜRBİNİ ENERJİ KAYBININ HESAPLANMASI



Şekil 5.11. 4 No'lu Shaangu buhar türbini entalpi dengesi.

Şekil 5.11'de gösterilen entalpiler esas alınarak, enerji kaybı aşağıdaki şekilde hesaplanır:

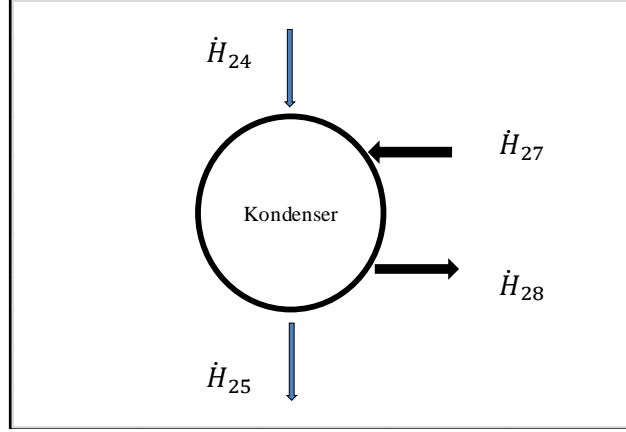
$$\dot{Q}_{\text{kayıp}} + W_{\text{Türbin}} = \sum \dot{m}_g h_g - \sum \dot{m}_ç h_ç$$

$$\dot{Q}_{\text{kayıp}} = (\dot{m}_{23} h_{23}) - (\dot{m}_{24} h_{24} + W_{\text{Türbin}})$$

$$\dot{Q}_{\text{kayıp}} = (6,94 \cdot 3204,53) - (6,94 \cdot 2577,19 + 3508)$$

$$\dot{Q}_{\text{kayıp}} = 845,74 \text{ kW}$$

5.12. 4 NO'LU SHAANGU KÖRÜK KONDENSERİNİN ENERJİ KAYBININ HESAPLANMASI



Şekil 5.12. 4 No'lu Shaangu türbin kondenseri entalpi dengesi.

Şekil 5.12'de gösterilen entalpiler esas alınarak, enerji kaybı aşağıdaki şekilde hesaplanır:

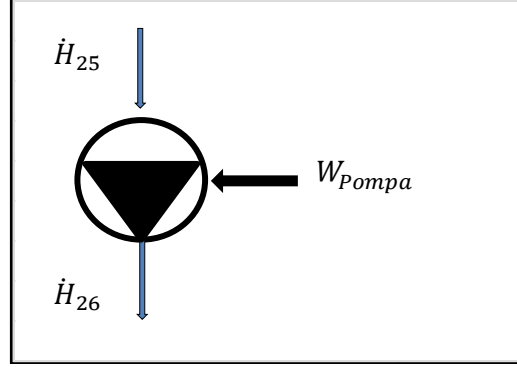
$$\dot{Q}_{\text{kayıp}} = \sum \dot{m}_g h_g - \sum \dot{m}_\varphi h_\varphi$$

$$\dot{Q}_{\text{kayıp}} = (\dot{m}_{24} h_{24} + \dot{m}_{27} h_{27}) - (\dot{m}_{25} h_{25} + \dot{m}_{28} h_{28})$$

$$\dot{Q}_{\text{kayıp}} = (6,94 \cdot 2577,19 + 625 \cdot 125,88) - (6,94 \cdot 175,92 + 625 \cdot 150,93)$$

$$\dot{Q}_{\text{kayıp}} = 1008,56 \text{ kW}$$

5.13. 4 NO'LU SHAANGU KÖRÜK KONDENS POMPASI ENERJİ KAYBININ HESAPLANMASI



Şekil 5.13. 4 No'lu Shaangu körük kondenser pompası entalpi dengesi.

Şekil 5.13'te gösterilen entalpiler esas alınarak, enerji kaybı aşağıdaki şekilde hesaplanır:

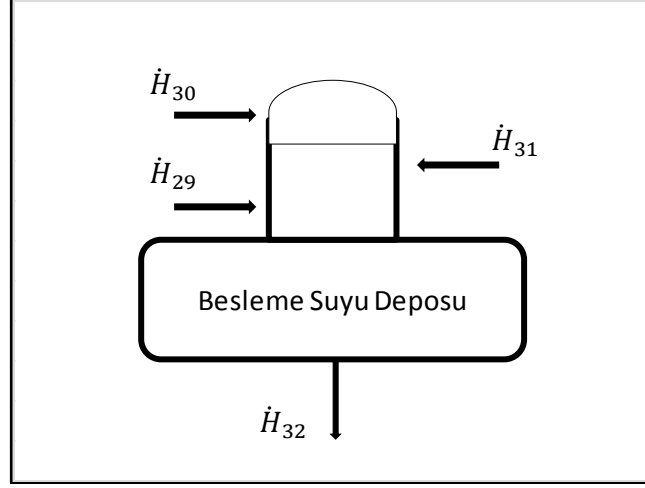
$$\dot{Q}_{\text{kayıp}} - W_{\text{Pompa}} = \sum \dot{m}_g h_g - \sum \dot{m}_c h_c$$

$$\dot{Q}_{\text{kayıp}} = (\dot{m}_{25} h_{25} + W_{\text{Pompa}}) - (\dot{m}_{26} h_{26})$$

$$\dot{Q}_{\text{kayıp}} = (6,94 \cdot 175,92 + 22) - (6,94 \cdot 176,65)$$

$$\dot{Q}_{\text{kayıp}} = 16,93 \text{ kW}$$

5.14. KAZAN BESLEME SUYU DEPOSUNUN ENERJİ KAYBININ HESAPLANMASI



Şekil 5.14. Kazan besleme suyu deposu entalpi dengesi.

Şekil 5.14'te gösterilen entalpiler esas alınarak, enerji kaybı aşağıdaki şekilde hesaplanır:

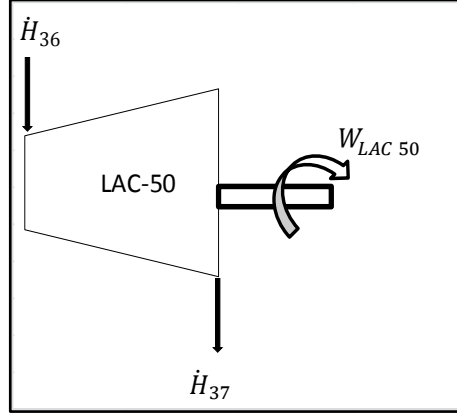
$$\dot{Q}_{\text{kayıp}} = \sum \dot{m}_g h_g - \sum \dot{m}_ç h_ç$$

$$\dot{Q}_{\text{kayıp}} = (\dot{m}_{29} h_{29} + \dot{m}_{30} h_{30} + \dot{m}_{31} h_{31}) - (\dot{m}_{32} h_{32})$$

$$\dot{Q}_{\text{kayıp}} = (10,28 \cdot 176,65 + 2,5 \cdot 84,39 + 1,67 \cdot 3021,85) - (14,44 \cdot 436,03)$$

$$\dot{Q}_{\text{kayıp}} = 777,15 \text{ kW}$$

5.15. LAC 50 TÜRBİNİN ENERJİ KAYBININ HESAPLANMASI



Şekil 5.15. LAC 50 türbini entalpi dengesi.

Şekil 5.15'te gösterilen entalpiler esas alınarak, enerji kaybı aşağıdaki şekilde hesaplanır:

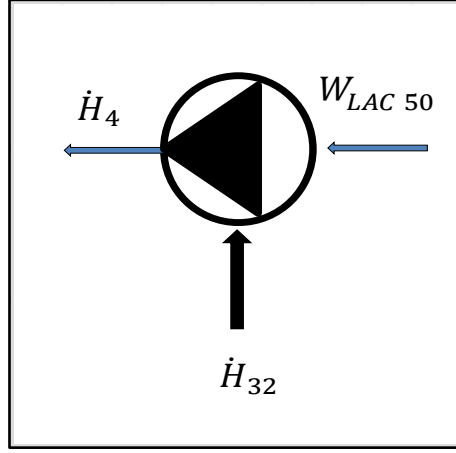
$$\dot{Q}_{\text{kayıp}} + W_{LAC\ 50} = \sum \dot{m}_g h_g - \sum \dot{m}_\varphi h_\varphi$$

$$\dot{Q}_{\text{kayıp}} = (\dot{m}_{36} h_{36}) - (\dot{m}_{37} h_{37} + W_{LAC\ 50})$$

$$\dot{Q}_{\text{kayıp}} = (0,83 \cdot 3204,53) - (0,83 \cdot 3021,85 + 142)$$

$$\dot{Q}_{\text{kayıp}} = 9,62 \text{ kW}$$

5.16. LAC 50 POMPANIN ENERJİ KAYBININ HESAPLANMASI



Şekil 5.16. LAC 50 pompanın entalpi dengesi.

Şekil 5.16’da gösterilen entalpiler esas alınarak, enerji kaybı aşağıdaki şekilde hesaplanır:

$$\dot{Q}_{\text{kayıp}} - W_{\text{LAC 50}} = \sum \dot{m}_g h_g - \sum \dot{m}_ç h_ç$$

$$\dot{Q}_{\text{kayıp}} = (\dot{m}_{32} h_{32} + W_{\text{LAC 50}}) - (\dot{m}_4 h_4)$$

$$\dot{Q}_{\text{kayıp}} = (14,44 \cdot 436,03 + 142) - (14,44 \cdot 439,83)$$

$$\dot{Q}_{\text{kayıp}} = 87,13 \text{ kW}$$

BÖLÜM 6

EKSERJİ KAYIPLARI VE EKSERJİ VERİMLERİNİN HESAPLANMASI

Bu bölümde buhar kazanı, diğer ekipmanlar ile önceden belirlenen düğüm noktalarının fiziksel ve kimyasal ekserjileri hesaplanarak, bu hesaplamalar sonucu ana ekipmanların ekserji kayıpları ve ekserjik verimleri hesaplanmıştır.

Öncelikle buhar kazanına giren ve çıkan ekserjiler hesaplanmış, sonrasında diğer düğüm noktalarının toplam ekserjileri hesaplanarak, sırasıyla ekipmanların ekserji kayıpları ve verimleri incelenmiştir.

6.1. BACA GAZI EKSERJİSİNİN BELİRLENMESİ

Sıcaklığı 157 °C, mutlak basıncı 110,03 kPa ve hacimsel debisi 30 m³ olan baca gazının ekserjisi, eşitlik 6.1 ile hesaplanmıştır.

$$\dot{E}x_{bg}^{top} = (\bar{e}x_{bg}^{kim} + \bar{e}x_{bg}^{fiz}) \cdot \dot{n}_{bg} \quad (6.1)$$

Baca gazının kimyasal ekserjisi ($\bar{e}x_{bg}^{kim}$) aşağıda verilen molar ekserji eşitliğine göre hesaplanmıştır.

$$\bar{e}x_{bg}^{kim} = \bar{R}T_0 \sum y_i \ln \left(\frac{y_i}{y} \right) = \sum_i y_i \bar{e}^{kim,i} + \bar{R}T_0 \sum_i y_i \ln y_i \quad (6.2)$$

Baca gazı bileşenlerinin standart molar kimyasal ekserjileri, termodinamik tablolardan bulunmuş ve Çizelge 6.1.'de verilmiştir (Kotas,1995).

Çizelge 6.1. SES kazan baca gazı bileşenleri molar oranları.

Baca gazı bileşenleri	Molar debi (kmol/s)	Molar oranı (%)	Standart molar kimyasal ekserjisi \bar{e}^{kim} (kJ/kmol)
CO ₂	0,2058	0,224	20140
H ₂ O	0,0674	0,073	11710
N ₂	0,631	0,686	720
O ₂	0,018	0,020	3970
Toplam	0,92	1,0	

Çizelge 6.1.'deki değerleri eşitlikte yerine koyduğumuzda, baca gazının kimyasal ekserjisi :

$$\bar{e}_{\text{bg}}^{\text{kim}} = [(0,224 \cdot 20140) + (0,073 \cdot 11710) + (0,686 \cdot 720) + (0,02 \cdot 3970)] + 8,314 \cdot 298,15 \cdot [0,224 \cdot \ln(0,224) + 0,073 \cdot \ln(0,073) + 0,686 \cdot \ln(0,686) + 0,02 \cdot \ln(0,02)]$$

$$\bar{e}_{\text{bg}}^{\text{kim}} = 3800,365 \text{ kJ/kmol}$$

olarak bulunur.

Baca gazının fiziksel ekserjisi ($\bar{e}_{\text{bg}}^{\text{fiz}}$) aşağıda verilen molar ekserji eşitliğine göre hesaplanmıştır.

$$\bar{e}_{\text{bg}}^{\text{fiz}} = \bar{c}_{\text{p,bg}} \cdot \left[(T - T_0) - T_0 \ln\left(\frac{T}{T_0}\right) \right] + \bar{R}T_0 \ln\left(\frac{P}{P_0}\right) \quad (6.3)$$

$$\bar{e}_{\text{bg}}^{\text{fiz}} = 32,349 \left[(430,15 - 298,15) - 298,15 \cdot \ln\left(\frac{430,15}{298,15}\right) \right] + 8,314 \cdot 298,15 \cdot \ln\left(\frac{110,03}{101,325}\right)$$

$$\bar{e}_{\text{bg}}^{\text{fiz}} = 939,181 \text{ kJ/kmol}$$

Baca gazının toplam ekserjisi;

$$\dot{E}_{\text{bg}}^{\text{top}} = (\bar{e}_{\text{bg}}^{\text{kim}} + \bar{e}_{\text{bg}}^{\text{fiz}}) \cdot \dot{n}_{\text{bg}}$$

$$\dot{E}x_{bg}^{top} = (3800,365 + 939,181) \cdot 0,92$$

$$\dot{E}x_{bg}^{top} = 4374,6 \text{ kW}$$

olarak bulunur.

Bulduğumuz değer incelediğimiz sistemde 5 Numaralı düğüm noktasının ekserji değeridir.

6.2. YAKITLARIN EKSERJİLERİNİN BELİRLENMESİ

6.2.1. Kok Gazı Ekserjisinin Belirlenmesi

Eşitlik 6.4 ile kok gazının toplam ekserjisi, eşitlik 6.5 ile kok gazının özgül kimyasal ekserjisi hesaplanmıştır.

$$Ex_{kok}^{top} = (ex_{kok}^{kim} + ex_{kok}^{fiz}) \cdot \underbrace{\dot{V}_{kok}}_{0,6 \text{ m}^3/\text{s}} \quad (6.4)$$

$$ex_{kok}^{kim} = \varphi_{kok} \cdot \underbrace{(\dot{H}_u)_{kok}}_{16555 \text{ kJ/Nm}^3} \quad (6.5)$$

Yakıtların kimyasal enerji faktörü φ_{kok} , kok gazı için 1,05 olarak alınmıştır (Kotas, 1995).

Buna göre;

$$ex_{kok}^{kim} = 1,05 \cdot 16555$$

$$ex_{kok}^{kim} = 17382,75 \text{ kJ/Nm}^3$$

olarak bulunur.

$$\bar{e}x_{\text{kok}}^{\text{fiz}} = \bar{c}_{p,\text{kok}} \cdot \left[(T - T_0) - T_0 \ln\left(\frac{T}{T_0}\right) \right] + \bar{R}T_0 \ln\left(\frac{P}{P_0}\right)$$

Bu eşitlikteki yakıtın özgül ısı değeri ($\bar{c}_{p,\text{kok}}$), aşağıdaki sıcaklığa bağlı denklem 6.6 ile hesaplanmıştır. Eşitlikteki a, b, c ve d çarpanları termodinamik tablolardan alınmıştır.

$$\bar{c}_{p,\text{kok}} = a + b \cdot T + c \cdot T^2 + d \cdot T^3 \quad (6.6)$$

$$\bar{c}_{p,\text{kok}} = 9,957 + \frac{3,39 \cdot 300,15}{10^4} + \frac{1,29 \cdot 300,15^2}{10^6} - \frac{3,89 \cdot 300,15^3}{10^{10}}$$

$$\bar{c}_{p,\text{kok}} = 10,164 \text{ kJ/kmolK}$$

$$\bar{e}x_{\text{kok}}^{\text{fiz}} = 10,164 \cdot \left[(300,15 - 298,15) - 298,15 \cdot \ln\left(\frac{300,15}{298,15}\right) \right] + 8,314 \cdot 298,15 \ln\left(\frac{104,025}{101,325}\right)$$

$$\bar{e}x_{\text{kok}}^{\text{fiz}} = 65,26 \text{ kJ/kmol}$$

$$ex_{\text{kok}}^{\text{fiz}} = \bar{e}x_{\text{kok}}^{\text{fiz}} \cdot \frac{\rho_{\text{kok}}}{M_{\text{kok}}}$$

$$ex_{\text{kok}}^{\text{fiz}} = 65,26 \cdot \frac{0,486}{10,786}$$

$$ex_{\text{kok}}^{\text{fiz}} = 2,94 \text{ kJ/Nm}^3$$

Kok gazının toplam ekserjisi,

$$Ex_{\text{kok}}^{\text{top}} = (ex_{\text{kok}}^{\text{kim}} + ex_{\text{kok}}^{\text{fiz}}) \cdot \underbrace{\dot{V}_{\text{kok}}}_{0,6 \text{ m}^3/\text{s}} = (17382,75 + 2,94) \cdot 0,6$$

$$Ex_{\text{kok}}^{\text{top}} = 10431,41 \text{ kW}$$

olarak bulunur.

6.2.2. Yüksek Fırın Gazı Ekserjisinin Belirlenmesi

$$EX_{yfg}^{top} = (ex_{yfg}^{kim} + ex_{yfg}^{fiz}) \cdot \underbrace{\dot{V}_{yfg}}_{10,64 \text{ m}^3/\text{s}}$$

$$ex_{yfg}^{kim} = \varphi_{yfg} \cdot \underbrace{(\dot{H}_u)_{yfg}}_{3111 \text{ kJ/Nm}^3}$$

Yakıtların kimyasal enerji faktörü φ_{yfg} , yüksek fırın gazı için 0,98 olarak alınmıştır (Kotas, 1995).

Buna göre;

$$ex_{yfg}^{kim} = 0,98 \cdot 3111$$

$$ex_{yfg}^{kim} = 3048,78 \text{ kJ/Nm}^3$$

olarak bulunur.

$$\bar{e}x_{yfg}^{fiz} = \bar{C}_{p,yfg} \cdot \left[(T - T_0) - T_0 \ln \left(\frac{T}{T_0} \right) \right] + \bar{R}T_0 \ln \left(\frac{P}{P_0} \right)$$

Bu eşitlikteki yakıtın özgül ısı değeri ($\bar{C}_{p,yfg}$), aşağıdaki sıcaklığa bağlı denklem ile hesaplanmıştır. Eşitlikteki a, b, c ve d çarpanları termodinamik tablolardan alınmıştır.

$$\bar{C}_{p,yfg} = a + b \cdot T + c \cdot T^2 + d \cdot T^3$$

$$\bar{C}_{p,yfg} = 1,166 + \frac{9,58 \cdot 288,15}{10^6} + \frac{1 \cdot 288,15^2}{10^7} - \frac{5,37 \cdot 288,15^3}{10^{11}}$$

$$\bar{C}_{p,yfg} = 1,176 \text{ kJ/kmolK}$$

$$\bar{e}_{x_{yfg}}^{fiz} = 1,176 \cdot \left[(288,15 - 298,15) - 298,15 \ln \left(\frac{288,15}{298,15} \right) \right] + 8,314 \cdot 298,15 \cdot \ln \left(\frac{103,325}{101,325} \right)$$

$$\bar{e}_{x_{yfg}}^{fiz} = 48,65 \text{ kJ/kmol}$$

$$e_{x_{yfg}}^{fiz} = \bar{e}_{x_{yfg}}^{fiz} \cdot \frac{\rho_{yfg}}{M_{yfg}}$$

$$e_{x_{yfg}}^{fiz} = 48,65 \cdot \frac{1,359}{30,44}$$

$$e_{x_{yfg}}^{fiz} = 2,17 \text{ kJ/Nm}^3$$

Yüksek fırın gazının toplam ekserjisi,

$$Ex_{yfg}^{top} = (e_{x_{yfg}}^{kim} + e_{x_{yfg}}^{fiz}) \cdot \underbrace{\dot{V}_{yfg}}_{10,64 \text{ m}^3/\text{s}}$$

$$Ex_{yfg}^{top} = (3048,78 + 2,17) \cdot 10,64$$

$$Ex_{yfg}^{top} = 32462,11 \text{ kW}$$

olarak bulunur.

6.3. BESLEME SUYU EKSERJİSİNİN BELİRLENMESİ

Turbo pompanın, kazan besleme suyu deposundan emerek, 52 bar ölçülen basınçta ve 104 °C sıcaklıkta kazana bastığı besleme suyunun ekserjisi aşağıdaki eşitlik ile hesaplanmıştır.

$$Ex_{bsu}^{top} = (e_{bsu}^{kim} + e_{bsu}^{fiz}) \cdot \underbrace{\dot{m}_{bsu}}_{14,44 \text{ kg/s}} \quad (6.7)$$

$$ex_{bsu}^{kim} = \frac{\bar{e}x_{bsu}^{kim}}{M_{su}} \quad (6.8)$$

$$\bar{e}x_{bsu}^{kim} = R_{H_2O} \cdot T_0 \cdot \ln \frac{P_{doyma(T_0)}}{P_\infty} \quad (6.9)$$

Termodinamik tablolardan (25 °C sıcaklıktaki su için);

$$P_{doyma(T_0)} = 3,169 \text{ kPa (Çengel, 2013) (Suyun doyma basıncı)}$$

$$P_\infty = 0,88 \text{ kPa (Kotas, 1995) (Suyun atmosfer şartlarındaki standart kısmi basıncı)}$$

olarak bulunur.

$$\bar{e}x_{bsu}^{kim} = 8,314 \cdot 298,15 \cdot \ln \frac{3,169}{0,88}$$

$$\bar{e}x_{bsu}^{kim} = 3175,98 \text{ kJ/kmol}$$

Besleme suyunun özgül kimyasal ekserji değeri, suyun molar ağırlığına bölünerek birim kütle kimyasal ekserji (ex_{bsu}^{kim}) değeri bulunur.

$$ex_{H_2O}^{kim} = \frac{\bar{e}x_{H_2O}^{kim}}{M_{su}}$$

$$ex_{bsu}^{kim} = \frac{3175,98}{18}$$

$$ex_{bsu}^{kim} = 176,44 \text{ kJ/kg}$$

Besleme suyunun özgül fiziksel ekserjisi;

$$ex_{bsu}^{fiz} = (h - h_0) - T_0(s - s_0) \quad (6.10)$$

$$ex_{bsu}^{fiz} = (439,83 - 104,86) - 298,15(1,35 - 0,367)$$

$$ex_{bsu}^{fiz} = 41,89 \text{ kJ/kg}$$

olarak bulunur.

Besleme suyunun toplam ekserjisi;

$$Ex_{bsu}^{top} = (ex_{bsu}^{kim} + ex_{bsu}^{fiz}) \cdot \underbrace{\dot{m}_{bsu}}_{14,44 \text{ kg/s}}$$

$$Ex_{bsu}^{top} = (176,44 + 41,89) \cdot 14,44$$

$$Ex_{bsu}^{top} = 3152,62 \text{ kW}$$

olarak bulunur.

6.4. YAKMA HAVASI EKSERJİSİNİN BELİRLENMESİ

Buhar kazanı için yakma havası sağlayan bir adet FD fan bulunmaktadır. Kazan performans testi esnasında her iki brülörün hava girişlerindeki debimetrelerden okunan nemli yakma havası debi değeri saatlik 35000 Nm³'tür. Fan bu havayı atmosfer şartlarından (25 °C, 1 atm) emerek kazana basmaktadır. Fan emişindeki debinin sıcaklık düzeltilmesi yapılarak belirlenmesi gerekmektedir.

Birim zamanda kazana gönderilen nemli hava miktarı;

$$\dot{V}_{hava} = 35000/3600$$

$$\dot{V}_{hava} = 9,72 \text{ Nm}^3/\text{s}$$

olarak hesaplanır. Buna göre;

$$\dot{m}^3/s = N \dot{m}^3/s \cdot \underbrace{\left(\frac{273,15 + T_0}{273,15} \right)}_{\text{Sıcaklık düzeltmesi}} \cdot \underbrace{\left(\frac{101,325}{101,325 + P_0} \right)}_{\text{Basınç düzeltmesi}}$$

$T_0 = 25 \text{ }^\circ\text{C}$, $P_0 = 0 \text{ kPa}$ için;

$$\dot{m}^3/s = 9,72 \cdot \left(\frac{273,15 + 25}{273,15} \right) \cdot \left(\frac{101,325}{101,325 + 0} \right)$$

$$\dot{V}_{\text{hava}} = 10,61 \text{ m}^3/\text{s}$$

olarak belirlenir.

$$\dot{m}_{\text{hava}} = \dot{V}_{\text{hava}} \cdot \rho_{\text{hava}}$$

$$\dot{m}_{\text{hava}} = 10,61 \cdot 1,2$$

$$\dot{m}_{\text{hava}} = 12,73 \text{ kg/s}$$

Kazana beslenen hava atmosfer şartlarında emildiği için nemli hava olacaktır ve nemli hava miktarı (\dot{m}_{hava}), kuru hava ($\dot{m}_{\text{kuruhava}}$) ve su buharı ($\dot{m}_{\text{subuharı}}$) miktarlarının toplamına eşit olacaktır.

$$\dot{m}_{\text{hava}} = \dot{m}_{\text{kuruhava}} + \dot{m}_{\text{subuharı}} \quad (6.11)$$

Kuru hava ve su buharı miktarları psikometrik diagramdan belirlenebilir. Psikometrik diagramdan, kuru termometre sıcaklığı $25 \text{ }^\circ\text{C}$ ve yaş termometre sıcaklığı $18 \text{ }^\circ\text{C}$ olarak ölçülen bir gün için, bağıl nem (ϕ) % 50 ve özgül nem (ω) $0,01 \text{ kg su buharı / kg kuru hava}$ olarak bulunur.

Özgül nem değeri kullanılarak kuru hava ve su buharı miktarları;

$$\omega = \frac{\dot{m}_{\text{subuharı}}}{\dot{m}_{\text{kuruhava}}}$$

$$\dot{m}_{\text{subuharı}} = 0,01 \times \dot{m}_{\text{kuruhava}}$$

$$\dot{m}_{\text{hava}} = \dot{m}_{\text{kuruhava}} + \dot{m}_{\text{subuharı}}$$

$$\dot{m}_{\text{hava}} = \dot{m}_{\text{kuruhava}} + (0,01 \cdot \dot{m}_{\text{kuruhava}})$$

$$12,73 = 1,01 \cdot \dot{m}_{\text{kuruhava}}$$

$$\dot{m}_{\text{kuruhava}} = 12,6 \text{ kg/s} , \dot{m}_{\text{subuharı}} = 0,13 \text{ kg/s}$$

olarak bulunur.

Yakma havasının ekserjinin bulunması için gerekli olan kuru hava ve su buharının molar debileri şu şekilde hesaplanmıştır:

$$\dot{n}_{\text{kuruhava}} = \frac{\overbrace{\dot{m}_{\text{kuruhava}}^{12,6 \text{ kg/s}}}}{\underbrace{M_{\text{kuruhava}}}_{28,97 \text{ kg/kmol}}}$$

$$\dot{n}_{\text{kuruhava}} = 0,435 \text{ kmol/s}$$

Su buharının molar debisi, su buharının kısmi basıncı hesaplandıktan sonra mükemmel gaz kabulü ile yakma havası içerisindeki su buharının mol sayısına göre bulunmuştur.

25 °C sıcaklıktaki suyun doyma basıncı ($P_{\text{doyma}, 25 \text{ °C}}$) 3,169 kPa' dır.

$$P_{\text{subuharı}} = \phi \cdot P_{\text{doyma}, 25 \text{ °C}}$$

$$P_{\text{subuharı}} = 0,50 \cdot 3,169$$

$$P_{\text{subuharı}} = 1,58 \text{ kPa}$$

Mükemmel gaz kabulü ile havanın içerisindeki su buharının mol miktarı;

$$\frac{\dot{n}_{\text{subuharı}}}{\dot{n}_{\text{kuruhava}} + \dot{n}_{\text{subuharı}}} = \frac{\overbrace{P_{\text{subuharı}}^{1,58 \text{ kPa}}}}{\underbrace{P_{\text{atm}}}_{101,325 \text{ kPa}}}$$

$$\dot{n}_{\text{subuharı}} = 0,0069 \text{ kmol/s}$$

olarak bulunur.

Yakma havası içerisindeki kuru hava ve su buharı molar debileri, nemli hava kimyasal denkleminde yerine yazılırsa;

$$\overbrace{\{\dot{n}_{\text{subuharı}} \text{H}_2\text{O} + \dot{n}_{\text{kuruhava}} (\text{O}_2 + 3,76 \text{N}_2)\}}^{\text{nemli hava}}$$

$$\{0,0069\text{H}_2\text{O} + 0,435(\text{O}_2 + 3,76 \text{N}_2)\}$$

denklemini elde edilir.

Yakma havasının kimyasal ekserjisi aşağıda hesaplanmıştır.

$$\bar{e}_{\text{hava}}^{\text{kim}} = \bar{R}T_0 \sum y_i \ln \left(\frac{y_i}{y} \right) = \sum_i y_i \bar{e}^{\text{kim},i} + \bar{R}T_0 \sum_i y_i \ln y_i \quad (6.12)$$

Çizelge 6.2. Nemli havanın bileşenleri için molar oranlar.

Nemli hava bileşenleri	Molar debi (kmol/s)	Molar oranı (%)	Standart molar kimyasal ekserjisi \bar{e}^{kim} (kJ/kmol)
H ₂ O	0,0069	0,003	11710
O ₂	0,435	0,209	3970
N ₂	1,636	0,787	720
Toplam	2,08	1,00	

$$\bar{e}x_{\text{hava}}^{\text{kim}} = [(0,003 \cdot 11710) + (0,209 \cdot 3970) + (0,787 \cdot 720)] + 8,314 \cdot 298,15 \cdot [0,003 \cdot \ln(0,003) + 0,209 \cdot \ln(0,209) + 0,787 \cdot \ln(0,787)]$$

$$\bar{e}x_{\text{hava}}^{\text{kim}} = 110,02 \text{ kJ/kmol}$$

Kazana giren yakma havası atmosfer sıcaklığı ve basıncında olduğundan dolayı fiziksel ekserjisi sıfır olacaktır. Yakma havası toplam ekserjisi kimyasal ekserjisine eşit olacaktır. Buna göre;

$$Ex_{\text{hava}}^{\text{top}} = \left(\underbrace{\bar{e}x_{\text{hava}}^{\text{kim}}}_{110,02 \text{ kJ/kmol}} + \underbrace{\bar{e}x_{\text{hava}}^{\text{fiz}}}_0 \right) \cdot \underbrace{\dot{n}_{\text{hava}}}_{0,435 \text{ kmol /s}}$$

$$Ex_{\text{hava}}^{\text{top}} = 47,86 \text{ kW}$$

olarak hesaplanır.

6.5. DİĞER DÜĞÜM NOKTALARININ EKSERJİLERİNİN BELİRLENMESİ

i noktası için;

$$Ex_i^{\text{top}} = (ex_i^{\text{fiz}} + ex_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{kim}}) \cdot \dot{m}_i \quad (6.13)$$

Düğüm noktalarının özgül fiziksel ekserjileri;

$$ex_i^{\text{fiz}} = (h_i - h_0) - T_0 (s_i - s_0) \quad (6.14)$$

eşitliği ile hesaplanmıştır.

Suyun özgül kimyasal ekserjisi;

$$ex_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{kim}} = \frac{\bar{e}x_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{kim}}}{M_{\text{su}}}$$

$$\bar{e}x_{H_2O}^{kim} = R_{H_2O} \cdot T_0 \cdot \ln \frac{P_{doyma}(T_0)}{P_\infty}$$

Termodinamik tablolardan;

$$\rightarrow P_{doyma}(T_0) = 3,169 \text{ kPa (Çengel, 2013)}$$

$$\rightarrow P_\infty = 0,88 \text{ kPa (Kotas, 1995)}$$

olarak bulunur.

$$\bar{e}x_{H_2O}^{kim} = 8,314 \cdot 298,15 \cdot \ln \frac{3,169}{0,88}$$

$$\bar{e}x_{H_2O}^{kim} = 3175,98 \text{ kJ/kmol}$$

Suyun özgül kimyasal ekserji değeri, suyun molar ağırlığına bölünerek birim kütle kimyasal ekserji ($ex_{H_2O}^{kim}$) değeri bulunur.

$$ex_{H_2O}^{kim} = \frac{\bar{e}x_{H_2O}^{kim}}{M_{su}}$$

$$ex_{H_2O}^{kim} = \frac{3175,98}{18}$$

$$ex_{H_2O}^{kim} = 176,44 \text{ kJ/kg}$$

$$ex_{H_2O}^{kim} = 176,44 \text{ kJ/kg}$$

olarak hesaplanmıştır.

Buna göre diğer düğüm noktalarının ekserjileri eşitlik 6.15 ile hesaplanabilir:

$$Ex_i^{top} = [((h_i - h_o) - T_o (s_i - s_o)) + ex_{H_2O}^{kim}] \times \dot{m}_i \quad (6.15)$$

6. Dügüm noktası için;

$$Ex_6^{top} = [((h_6 - h_o) - T_o (s_6 - s_o)) + ex_{H_2O}^{kim}] \times \dot{m}_6$$

$$Ex_6^{top} = [((3204,53 - 104,857) - 298,15(6,95 - 0,367)) + 176,44] \times 13,89$$

$$Ex_6^{top} = 18242,93 \text{ kW}$$

7. Dügüm noktası için;

$$Ex_7^{top} = [((h_7 - h_o) - T_o (s_7 - s_o)) + ex_{H_2O}^{kim}] \times \dot{m}_7$$

$$Ex_7^{top} = [((980,85 - 104,857) - 298,15(2,59 - 0,367)) + 176,44] \times 0,56$$

$$Ex_7^{top} = 218,20 \text{ kW}$$

8. Dügüm noktası için;

$$Ex_8^{top} = [((h_8 - h_o) - T_o (s_8 - s_o)) + ex_{H_2O}^{kim}] \times \dot{m}_8$$

$$Ex_8^{top} = [((3427,98 - 104,857) - 298,15(6,85 - 0,367)) + 176,44] \times 11,57$$

$$Ex_8^{top} = 18126,15 \text{ kW}$$

9. Dügüm noktası için;

$$Ex_9^{top} = [((h_9 - h_o) - T_o (s_9 - s_o)) + ex_{H_2O}^{kim}] \times \dot{m}_9$$

$$Ex_9^{top} = [((638,69 - 104,857) - 298,15(1,83 - 0,367)) + 176,44] \times 0,93$$

$$Ex_9^{top} = 254,89 \text{ kW}$$

10. Dügüm noktası için;

$$Ex_{10}^{top} = [(h_{10} - h_o) - T_o (s_{10} - s_o)] + ex_{H_2O}^{kim} \times \dot{m}_{10}$$

$$Ex_{10}^{top} = [(3204,53 - 104,857) - 298,15(6,95 - 0,367)] + 176,44 \times 12,50$$

$$Ex_{10}^{top} = 16417,32 \text{ kW}$$

11. Dügüm noktası için;

$$Ex_{11}^{top} = [(h_{11} - h_o) - T_o (s_{11} - s_o)] + ex_{H_2O}^{kim} \times \dot{m}_{11}$$

$$Ex_{11}^{top} = [(3204,53 - 104,857) - 298,15(6,95 - 0,367)] + 176,44 \times 2,78$$

$$Ex_{11}^{top} = 3651,21 \text{ kW}$$

12. Dügüm noktası için;

$$Ex_{12}^{top} = [(h_{12} - h_o) - T_o (s_{12} - s_o)] + ex_{H_2O}^{kim} \times \dot{m}_{12}$$

$$Ex_{12}^{top} = [(2577,19 - 104,857) - 298,15(8,23 - 0,367)] + 176,44 \times 2,78$$

$$Ex_{12}^{top} = 846,27 \text{ kW}$$

13. Dügüm noktası için;

$$Ex_{13}^{top} = [(h_{13} - h_o) - T_o (s_{13} - s_o)] + ex_{H_2O}^{kim} \times \dot{m}_{13}$$

$$Ex_{13}^{top} = [(175,92 - 104,857) - 298,15(0,60 - 0,367)] + 176,44 \times 2,78$$

$$Ex_{13}^{top} = 494,92 \text{ kW}$$

14. Dügüm noktası için;

$$Ex_{14}^{top} = [(h_{14} - h_o) - T_o (s_{14} - s_o)] + ex_{H_2O}^{kim} \times \dot{m}_{14}$$

$$Ex_{14}^{top} = [(176,22 - 104,857) - 298,15(0,60 - 0,367)] + 176,44 \times 2,78$$

$$Ex_{14}^{top} = 495,75 \text{ kW}$$

15. Dügüm noktası için;

$$Ex_{15}^{top} = [(h_{15} - h_o) - T_o (s_{15} - s_o)] + ex_{H_2O}^{kim} \times \dot{m}_{15}$$

$$Ex_{15}^{top} = [(125,88 - 104,857) - 298,15(0,44 - 0,367)] + 176,44 \times 166,67$$

$$Ex_{15}^{top} = 29431,68 \text{ kW}$$

16. Dügüm noktası için;

$$Ex_{16}^{top} = [(h_{16} - h_o) - T_o (s_{16} - s_o)] + ex_{H_2O}^{kim} \times \dot{m}_{16}$$

$$Ex_{16}^{top} = [(150,93 - 104,857) - 298,15(0,52 - 0,367)] + 176,44 \times 166,67$$

$$Ex_{16}^{top} = 29551,84 \text{ kW}$$

17. Dügüm noktası için;

$$Ex_{17}^{top} = [(h_{17} - h_o) - T_o (s_{17} - s_o)] + ex_{H_2O}^{kim} \times \dot{m}_{17}$$

$$Ex_{17}^{top} = [(3204,53 - 104,857) - 298,15(6,95 - 0,367)] + 176,44 \times 6,94$$

$$Ex_{17}^{top} = 9114,90 \text{ kW}$$

18. Dügüm noktası için;

$$Ex_{18}^{top} = [((h_{18} - h_o) - T_o (s_{18} - s_o)) + ex_{H_2O}^{kim}] \times \dot{m}_{18}$$

$$Ex_{18}^{top} = [((2577,19 - 104,857) - 298,15(8,23 - 0,367)) + 176,44] \times 6,94$$

$$Ex_{18}^{top} = 2112,63 \text{ kW}$$

19. Dügüm noktası için;

$$Ex_{19}^{top} = [((h_{19} - h_o) - T_o (s_{19} - s_o)) + ex_{H_2O}^{kim}] \times \dot{m}_{19}$$

$$Ex_{19}^{top} = [((175,92 - 104,857) - 298,15(0,6 - 0,367)) + 176,44] \times 6,94$$

$$Ex_{19}^{top} = 1235,51 \text{ kW}$$

20. Dügüm noktası için;

$$Ex_{20}^{top} = [((h_{20} - h_o) - T_o (s_{20} - s_o)) + ex_{H_2O}^{kim}] \times \dot{m}_{20}$$

$$Ex_{20}^{top} = [((176,65 - 104,857) - 298,15(0,6 - 0,367)) + 176,44] \times 6,94$$

$$Ex_{20}^{top} = 1240,58 \text{ kW}$$

21. Dügüm noktası için;

$$Ex_{21}^{top} = [((h_{21} - h_o) - T_o (s_{21} - s_o)) + ex_{H_2O}^{kim}] \times \dot{m}_{21}$$

$$Ex_{21}^{top} = [((125,88 - 104,857) - 298,15(0,44 - 0,367)) + 176,44] \times 625$$

$$Ex_{21}^{top} = 110366,59 \text{ kW}$$

22. Dügüm noktası için;

$$Ex_{22}^{top} = [(h_{22} - h_o) - T_o (s_{22} - s_o)] + ex_{H_2O}^{kim} \times \dot{m}_{22}$$

$$Ex_{22}^{top} = [(150,93 - 104,857) - 298,15(0,52 - 0,367)] + 176,44 \times 625$$

$$Ex_{22}^{top} = 110817,19 \text{ kW}$$

23. Dügüm noktası için;

$$Ex_{23}^{top} = [(h_{23} - h_o) - T_o (s_{23} - s_o)] + ex_{H_2O}^{kim} \times \dot{m}_{23}$$

$$Ex_{23}^{top} = [(3204,53 - 104,857) - 298,15(6,95 - 0,367)] + 176,44 \times 6,94$$

$$Ex_{23}^{top} = 9114,90 \text{ kW}$$

24. Dügüm noktası için;

$$Ex_{24}^{top} = [(h_{24} - h_o) - T_o (s_{24} - s_o)] + ex_{H_2O}^{kim} \times \dot{m}_{24}$$

$$Ex_{24}^{top} = [(2577,19 - 104,857) - 298,15(8,23 - 0,367)] + 176,44 \times 6,94$$

$$Ex_{24}^{top} = 2112,63 \text{ kW}$$

25. Dügüm noktası için;

$$Ex_{25}^{top} = [(h_{25} - h_o) - T_o (s_{25} - s_o)] + ex_{H_2O}^{kim} \times \dot{m}_{25}$$

$$Ex_{25}^{top} = [(175,92 - 104,857) - 298,15(0,60 - 0,367)] + 176,44 \times 6,94$$

$$Ex_{25}^{top} = 1235,51 \text{ kW}$$

26. Dügüm noktası için;

$$Ex_{26}^{top} = [((h_{26} - h_o) - T_o (s_{26} - s_o)) + ex_{H_2O}^{kim}] \times \dot{m}_{26}$$

$$Ex_{26}^{top} = [((176,65 - 104,857) - 298,15(0,60 - 0,367)) + 176,44] \times 6,94$$

$$Ex_{26}^{top} = 1240,58 \text{ kW}$$

27. Dügüm noktası için;

$$Ex_{27}^{top} = [((h_{27} - h_o) - T_o (s_{27} - s_o)) + ex_{H_2O}^{kim}] \times \dot{m}_{27}$$

$$Ex_{27}^{top} = [((125,88 - 104,857) - 298,15(0,44 - 0,367)) + 176,44] \times 625$$

$$Ex_{27}^{top} = 110366,59 \text{ kW}$$

28. Dügüm noktası için;

$$Ex_{28}^{top} = [((h_{28} - h_o) - T_o (s_{28} - s_o)) + ex_{H_2O}^{kim}] \times \dot{m}_{28}$$

$$Ex_{28}^{top} = [((150,93 - 104,857) - 298,15(0,52 - 0,367)) + 176,44] \times 625$$

$$Ex_{28}^{top} = 110817,19 \text{ kW}$$

29. Dügüm noktası için;

$$Ex_{29}^{top} = [((h_{29} - h_o) - T_o (s_{29} - s_o)) + ex_{H_2O}^{kim}] \times \dot{m}_{29}$$

$$Ex_{29}^{top} = [((176,65 - 104,857) - 298,15(0,60 - 0,367)) + 176,44] \times 10,28$$

$$Ex_{29}^{top} = 1837,63 \text{ kW}$$

30. Dügüm noktası için;

$$Ex_{30}^{top} = [(h_{30} - h_o) - T_o (s_{30} - s_o)] + ex_{H_2O}^{kim} \times \dot{m}_{30}$$

$$Ex_{30}^{top} = [(84,39 - 104,857) - 298,15(0,30 - 0,367)] + 176,44 \times 2,78$$

$$Ex_{30}^{top} = 492,11 \text{ kW}$$

31. Dügüm noktası için;

$$Ex_{31}^{top} = [(h_{31} - h_o) - T_o (s_{31} - s_o)] + ex_{H_2O}^{kim} \times \dot{m}_{31}$$

$$Ex_{31}^{top} = [(3021,85 - 104,857) - 298,15(7,34 - 0,367)] + 176,44 \times 1,39$$

$$Ex_{31}^{top} = 1410,05 \text{ kW}$$

32. Dügüm noktası için;

$$Ex_{32}^{top} = [(h_{32} - h_o) - T_o (s_{32} - s_o)] + ex_{H_2O}^{kim} \times \dot{m}_{32}$$

$$Ex_{32}^{top} = [(436,03 - 104,857) - 298,15(1,35 - 0,367)] + 176,44 \times 14,44$$

$$Ex_{32}^{top} = 3097,75 \text{ kW}$$

33. Dügüm noktası için;

$$Ex_{33}^{top} = [(h_{33} - h_o) - T_o (s_{33} - s_o)] + ex_{H_2O}^{kim} \times \dot{m}_{33}$$

$$Ex_{33}^{top} = [(3204,53 - 104,857) - 298,15(6,95 - 0,367)] + 176,44 \times 6,95$$

$$Ex_{33}^{top} = 9128,03 \text{ kW}$$

34. Dügüm noktası için;

$$Ex_{34}^{top} = [(h_{34} - h_o) - T_o (s_{34} - s_o)] + ex_{H_2O}^{kim} \times \dot{m}_{34}$$

$$Ex_{34}^{top} = [(3021,85 - 104,857) - 298,15(7,34 - 0,367)] + 176,44 \times 7,22$$

$$Ex_{34}^{top} = 7324,16 \text{ kW}$$

35. Dügüm noktası için;

$$Ex_{35}^{top} = [(h_{35} - h_o) - T_o (s_{35} - s_o)] + ex_{H_2O}^{kim} \times \dot{m}_{35}$$

$$Ex_{35}^{top} = [(636,18 - 104,857) - 298,15(1,84 - 0,367)] + 176,44 \times 0,28$$

$$Ex_{35}^{top} = 75,2 \text{ kW}$$

36. Dügüm noktası için;

$$Ex_{36}^{top} = [(h_{36} - h_o) - T_o (s_{36} - s_o)] + ex_{H_2O}^{kim} \times \dot{m}_{36}$$

$$Ex_{36}^{top} = [(3204,53 - 104,857) - 298,15(6,95 - 0,367)] + 176,44 \times 0,83$$

$$Ex_{36}^{top} = 1090,11 \text{ kW}$$

37. Dügüm noktası için;

$$Ex_{37}^{top} = [(h_{37} - h_o) - T_o (s_{37} - s_o)] + ex_{H_2O}^{kim} \times \dot{m}_{37}$$

$$Ex_{37}^{top} = [(3021,85 - 104,857) - 298,15(7,34 - 0,367)] + 176,44 \times 0,83$$

$$Ex_{37}^{top} = 841,97 \text{ kW}$$

olarak bulunur.

Düğüm noktaları için yapılan hesaplamalar sonucunda elde edilen ekserjiler Çizelge 6.3.'te verilmiştir.

Çizelge 6.3. Düğüm noktalarının termodinamik özellikleri.

Düğüm Noktası	AKIŞKAN TÜRÜ	ENTALPİ (h)	ENTROPİ (s)	EKSERJİ (Ex)	DEBİ (m)
		kJ/kg - kJ/Nm ³	kJ/kg.K	kW	m ³ /s - kg/s
1	GAZ	16555	–	10431,41	0,60 m ³ /s
2	GAZ	3111	–	32462,11	10,64 m ³ /s
3	HAVA	298,33	–	47,86	10,61 m ³ /s
4	SU	439,83	1,35	3152,62	14,44
5	BACA GAZI	–	–	4374,60	30 m ³ /s
6	BUHAR	3204,53	6,95	18242,93	13,89
7	SU	980,85	2,59	218,20	0,56
8	BUHAR	3427,98	6,85	18126,15	11,57
9	SU	638,69	1,83	254,89	0,93
10	BUHAR	3204,53	6,95	16417,32	12,50
11	BUHAR	3204,53	6,95	3651,21	2,78
12	BUHAR	2577,19	8,23	846,27	2,78
13	SU	175,92	0,60	494,92	2,78
14	SU	176,22	0,60	495,75	2,78
15	SU	125,88	0,44	29431,68	166,67
16	SU	150,93	0,52	29551,84	166,67
17	BUHAR	3204,53	6,95	9114,90	6,94
18	BUHAR	2577,19	8,23	2112,63	6,94
19	SU	175,92	0,60	1235,51	6,94
20	SU	176,65	0,60	1240,58	6,94
21	SU	125,88	0,44	110366,59	625
22	SU	150,93	0,52	110817,19	625
23	BUHAR	3204,53	6,95	9114,90	6,94
24	BUHAR	2577,19	8,23	2112,63	6,94
25	SU	175,92	0,60	1235,51	6,94
26	SU	176,65	0,60	1240,58	6,94
27	SU	125,88	0,44	110366,59	625
28	SU	150,93	0,52	110817,19	625
29	SU	176,65	0,60	1837,63	10,28
30	SU	84,39	0,30	442,54	2,50
31	BUHAR	3021,85	7,34	1694,09	1,67
32	SU	436,03	1,35	3097,75	14,44
33	BUHAR	3204,53	6,95	9128,03	6,95
34	BUHAR	3021,85	7,34	7324,16	7,22
35	SU	636,18	1,84	75,20	0,28
36	BUHAR	3204,53	6,95	1090,11	0,83
37	BUHAR	3021,85	7,34	841,97	0,83

6.6. EKSERJİ KAYIPLARI VE EKSERJİ VERİMLERİNİN HESAPLANMASI

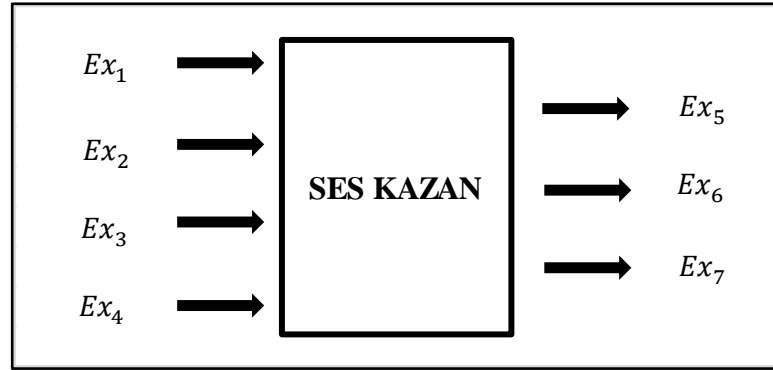
İncelenen sistem ekipmanlarındaki ekserji kayıpları aşağıdaki eşitlik ile hesaplanır.

$$EX_{\text{kayıp}} = EX_g - EX_{\text{ç}} \quad (6.16)$$

Sistemden çıkan ekserjinin giren ekserjiye oranı ise ekipmanın ekserji verimini verir.

$$\eta_{\text{ex}} = \frac{EX_{\text{ç}}}{EX_g} \quad (6.17)$$

6.6.1. SES Buhar Kazanı Ekserji Kaybı ve Ekserji Veriminin Hesaplanması



Şekil 6.1. Ses buhar kazanı ekserji dengesi.

Şekil 6.1' de gösterilen ekserjiler esas alınarak buhar kazanındaki ekserji kaybı;

$$EX_{\text{kayıp}} = EX_g - EX_{\text{ç}}$$

$$EX_g = EX_1 + EX_2 + EX_3 + EX_4$$

$$EX_{\text{ç}} = EX_5 + EX_6 + EX_7$$

$$EX_{\text{kayıp}} = (10431,41 + 32462,11 + 47,86 + 3152,62) - (4374,6 + 18242,93 + 218,2)$$

$$Ex_{\text{kayıp}} = 23258,28 \text{ kW}$$

olarak hesaplanır.

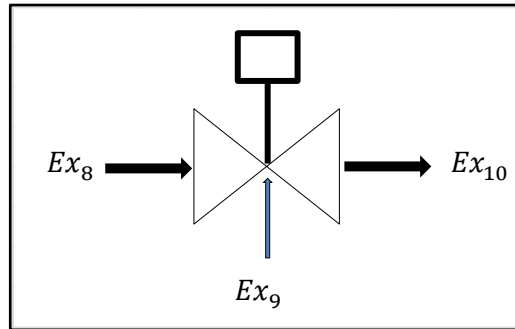
SES Buhar Kazan'ın ekserji verimi;

$$\eta_{\text{ex}} = \frac{Ex_{\text{ç}}}{Ex_{\text{g}}} = \frac{22835,72}{46094} = 0,4954$$

$$\eta_{\text{ex}} = \% 49,54$$

olarak hesaplanır.

6.6.2. RS-1 İstasyonu Ekserji Kaybı ve Ekserji Veriminin Hesaplanması



Şekil 6.2. RS-1 İstasyonu ekserji dengesi.

Şekil 6.2'de gösterilen ekserjiler esas alınarak sıcaklık ve basınç düşürme istasyonundaki ekserji kaybı;

$$Ex_{\text{kayıp}} = Ex_{\text{g}} - Ex_{\text{ç}}$$

$$Ex_{\text{g}} = Ex_8 + Ex_9$$

$$Ex_{\text{ç}} = Ex_{10}$$

$$Ex_{kayıp} = (18126,15 + 254,89) - (16417,32)$$

$$Ex_{kayıp} = 1963,72 \text{ kW}$$

olarak hesaplanır.

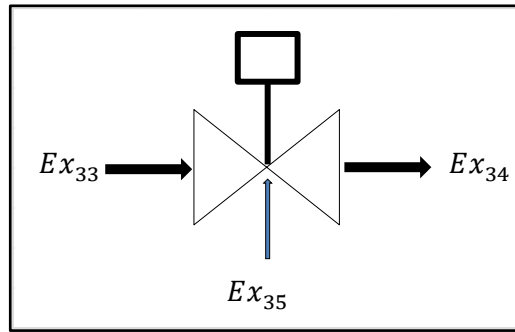
Sıcaklık ve basınç düşürme istasyonu ekserji verimi;

$$\eta_{ex} = \frac{Ex_{\zeta}}{Ex_g} = \frac{16417,32}{18381,04} = 0,8932$$

$$\eta_{ex} = \% 89,32$$

olarak hesaplanır.

6.6.3. Alçak Basınç Düşürücü Ekserji Kaybı ve Ekserji Veriminin Hesaplanması



Şekil 6.3. Alçak basınç düşürücüsü ekserji dengesi.

Şekil 6.3'te gösterilen ekserjiler esas alınarak alçak basınç düşürücü istasyonu ekserji kaybı;

$$Ex_{kayıp} = Ex_g - Ex_{\zeta}$$

$$Ex_g = Ex_{33} + Ex_{35}$$

$$Ex_{\zeta} = Ex_{34}$$

$$Ex_{kayıp} = (9128,03 + 75,2) - (7324,16)$$

$$Ex_{kayıp} = 1879,07 \text{ kW}$$

olarak hesaplanır.

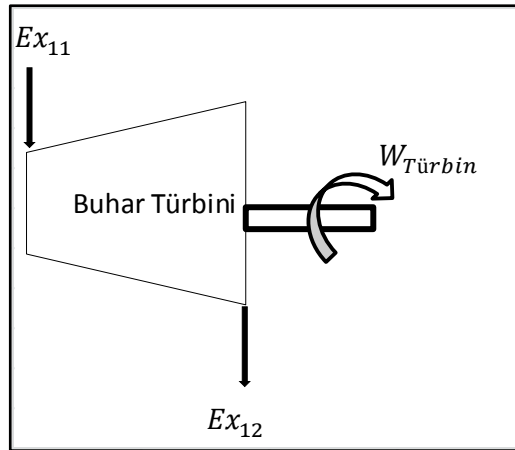
Alçak basınç düşürücü istasyonu ekserji verimi;

$$\eta_{ex} = \frac{Ex_{\zeta}}{Ex_g} = \frac{7324,16}{9203,23} = 0,7958$$

$$\eta_{ex} = \% 79,58$$

olarak hesaplanır.

6.6.4. GEC Körük Buhar Türbini Ekserji Kaybı ve Ekserji Veriminin Hesaplanması



Şekil 6.4. GEC körük buhar türbini ekserji dengesi.

Şekil 6.4'te gösterilen ekserjiler esas alınarak GEC Körük türbinindeki ekserji kaybı;

$$Ex_{kayıp} = Ex_g - Ex_{\zeta}$$

$$Ex_g = Ex_{11}$$

$$Ex_{\zeta} = Ex_{12} + W_{Türbin}$$

$$Ex_{kayıp} = (3651,21) - (846,27 + 1528,68)$$

$$Ex_{kayıp} = 1276,26 \text{ kW}$$

olarak hesaplanır.

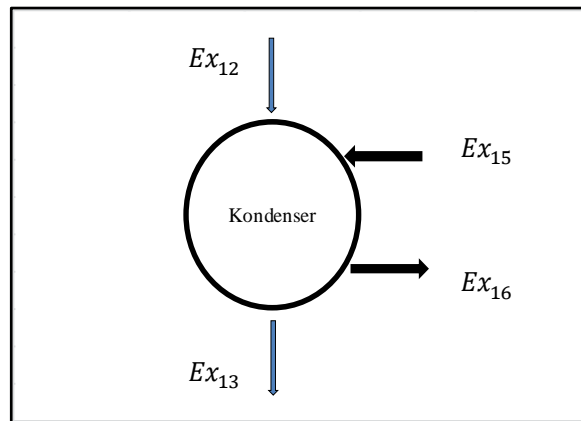
GEC Körük türbininin ekserji verimi;

$$\eta_{ex} = \frac{Ex_{\zeta}}{Ex_g} = \frac{2374,95}{3651,21} = 0,6505$$

$$\eta_{ex} = \% 65,05$$

olarak hesaplanır.

6.6.5. GEC Körük Kondenseri Ekserji Kaybı ve Ekserji Veriminin Hesaplanması



Şekil 6.5. GEC körük türbin kondenseri ekserji dengesi.

Şekil 6.5'te gösterilen ekserjiler esas alınarak GEC körük türbin kondenserindeki ekserji kaybı;

$$EX_{\text{kayıp}} = EX_g - EX_{\text{ç}}$$

$$EX_g = EX_{12} + EX_{15}$$

$$EX_{\text{ç}} = EX_{13} + EX_{16}$$

$$EX_{\text{kayıp}} = (846,27 + 29431,68) - (494,92 + 29551,84)$$

$$EX_{\text{kayıp}} = 231,19 \text{ kW}$$

olarak hesaplanır.

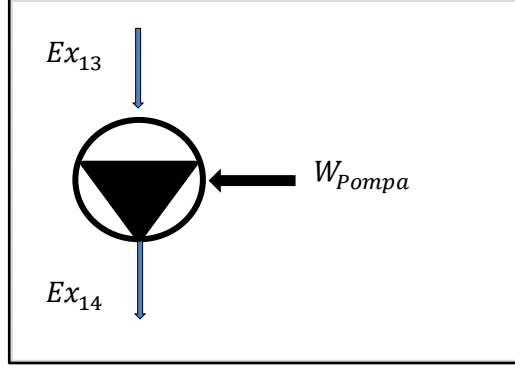
Türbin kondenserinin ekserji verimi;

$$\eta_{\text{ex}} = \frac{EX_{\text{ç}}}{EX_g} = \frac{30046,76}{30277,95} = 0,9924$$

$$\eta_{\text{ex}} = \% 99,24$$

olarak hesaplanır.

6.6.6. GEC Körük Kondenser Pompasının Ekserji Kaybı ve Ekserji Veriminin Hesaplanması



Şekil 6.6. GEC körük kondenser pompası ekserji dengesi.

Şekil 6.6’da gösterilen ekserjiler esas alınarak GEC körük kondenser pompası ekserji kaybı;

$$Ex_{kayıp} = Ex_g - Ex_ç$$

$$Ex_g = Ex_{13} + W_{pompa}$$

$$Ex_ç = Ex_{14}$$

$$Ex_{kayıp} = (494,92 + 3) - (495,75)$$

$$Ex_{kayıp} = 2,17 \text{ kW}$$

olarak hesaplanır.

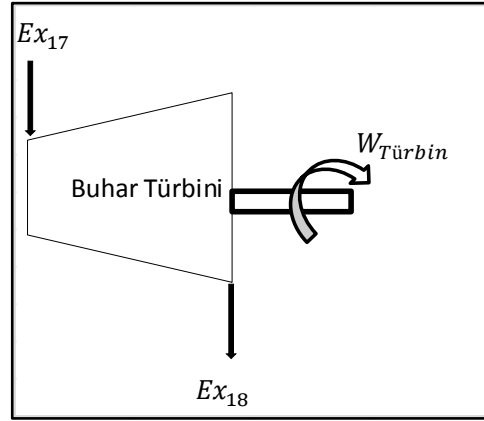
GEC Körük kondenser pompasının ekserji verimi;

$$\eta_{ex} = \frac{Ex_ç}{Ex_g} = \frac{495,75}{497,92} = 0,9956$$

$$\eta_{ex} = \% 99,56$$

olarak hesaplanır.

6.6.7. 1 No'lu Shaangu Körük Buhar Türbini Ekserji Kaybı ve Ekserji Veriminin Hesaplanması



Şekil 6.7. 1 No'lu Shaangu buhar türbini ekserji dengesi.

Şekil 6.7'de gösterilen ekserjiler esas alınarak 1 No'lu Shaangu körük türbinindeki ekserji kaybı;

$$EX_{kayıp} = EX_g - EX_ç$$

$$EX_g = EX_{17}$$

$$EX_ç = EX_{18} + W_{Türbin}$$

$$EX_{kayıp} = (9114,9) - (2112,63 + 3508)$$

$$EX_{kayıp} = 3494,27 \text{ kW}$$

olarak hesaplanır.

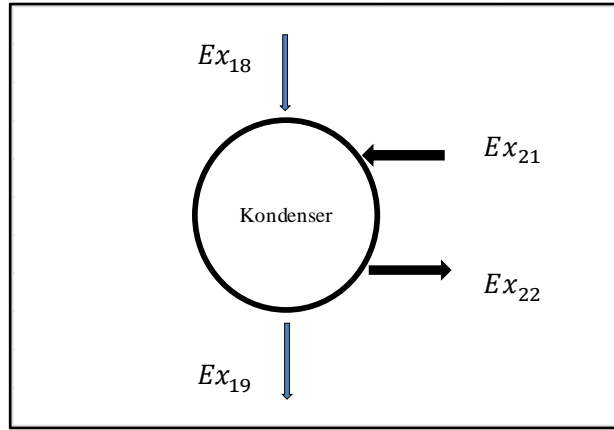
1 No'lu Shaangu körük türbini ekserji verimi;

$$\eta_{ex} = \frac{Ex_{\zeta}}{Ex_g} = \frac{5620,63}{9114,90} = 0,6166$$

$$\eta_{ex} = \% 61,66$$

olarak hesaplanır.

6.6.8. 1 No'lu Shaangu Körük Kondenserinin Ekserji Kaybı ve Ekserji Veriminin Hesaplanması



Şekil 6.8. 1 No'lu Shaangu türbin kondenseri ekserji dengesi.

Şekil 6.8'de gösterilen ekserjiler esas alınarak 1 No'lu Shaangu körük türbin kondenserindeki ekserji kaybı;

$$EX_{kayıp} = EX_g - EX_{\zeta}$$

$$EX_g = EX_{18} + EX_{21}$$

$$EX_{\zeta} = EX_{19} + EX_{22}$$

$$EX_{kayıp} = (2112,63 + 110366,59) - (1235,51 + 110817,19)$$

$$Ex_{kayıp} = 426,52 \text{ kW}$$

olarak hesaplanır.

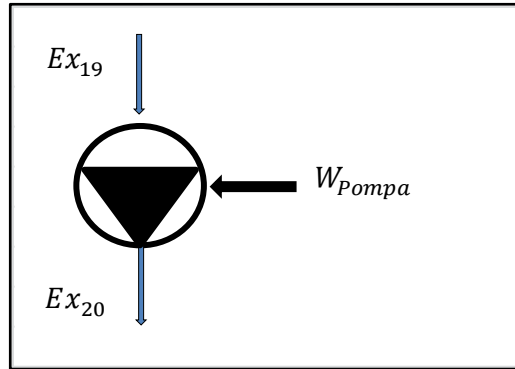
Türbin kondenserinin ekserji verimi;

$$\eta_{ex} = \frac{Ex_{\zeta}}{Ex_g} = \frac{112052,70}{112479,22} = 0,9962$$

$$\eta_{ex} = \% 99,62$$

olarak hesaplanır.

6.6.9. 1 No'lu Shaangu Körük Kondenser Pompasının Ekserji Kaybı ve Ekserji Veriminin Hesaplanması



Şekil 6.9. 1 No'lu Shaangu körük kondenser pompası ekserji dengesi.

Şekil 6.9'da gösterilen ekserjiler esas alınarak 1 No'lu Shaangu körük kondenser pompası ekserji kaybı;

$$Ex_{kayıp} = Ex_g - Ex_{\zeta}$$

$$Ex_g = Ex_{19} + W_{Pompa}$$

$$Ex_{\zeta} = Ex_{20}$$

$$Ex_{kayıp} = (1235,51 + 22) - (1240,58)$$

$$Ex_{kayıp} = 19,93 \text{ kW}$$

olarak hesaplanır.

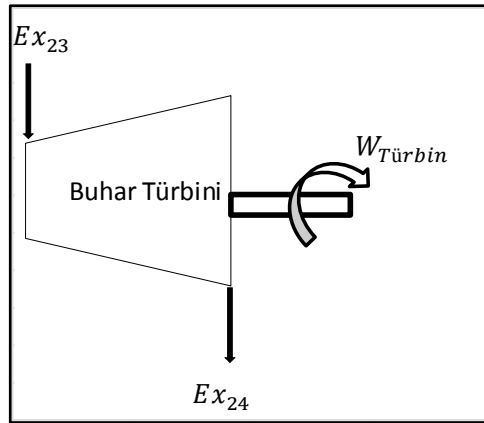
1 No'lu Shaangu körük kondenser pompası ekserji verimi;

$$\eta_{ex} = \frac{Ex_{\zeta}}{Ex_g} = \frac{1240,58}{1260,51} = 0,9842$$

$$\eta_{ex} = \% 98,42$$

olarak hesaplanır.

6.6.10. 4 No'lu Shaangu Körük Buhar Türbini Ekserji Kaybı ve Ekserji Veriminin Hesaplanması



Şekil 6.10. 4 No'lu Shaangu buhar türbini ekserji dengesi.

Şekil 6.10'da gösterilen ekserjiler esas alınarak 4 No'lu Shaangu körük türbinindeki ekserji kaybı;

$$Ex_{kayıp} = Ex_g - Ex_{\zeta}$$

$$Ex_g = Ex_{23}$$

$$Ex_{\zeta} = Ex_{24} + W_{Türbin}$$

$$Ex_{kayıp} = (9114,9) - (2112,63 + 3508)$$

$$Ex_{kayıp} = 3494,27 \text{ kW}$$

olarak hesaplanır.

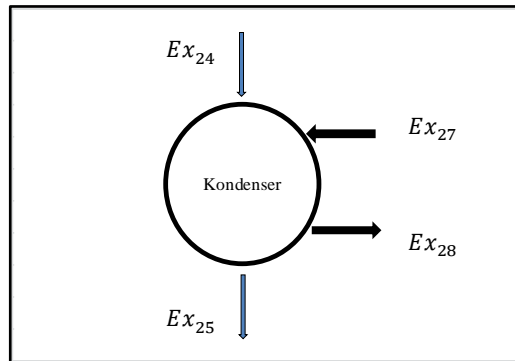
4 No'lu Shaangu körük türbini ekserji verimi;

$$\eta_{ex} = \frac{Ex_{\zeta}}{Ex_g} = \frac{5620,63}{9114,90} = 0,6166$$

$$\eta_{ex} = \% 61,66$$

olarak hesaplanır.

6.6.11. 4 No'lu Shaangu Körük Kondenserinin Ekserji Kaybı ve Ekserji Veriminin Hesaplanması



Şekil 6.11. 4 No'lu Shaangu türbin kondenseri ekserji dengesi.

Şekil 6.11'de gösterilen ekserjiler esas alınarak 4 No'lu Shaangu körük türbin kondenserindeki ekserji kaybı;

$$EX_{\text{kayıp}} = EX_g - EX_{\zeta}$$

$$EX_g = EX_{24} + EX_{27}$$

$$EX_{\zeta} = EX_{25} + EX_{28}$$

$$EX_{\text{kayıp}} = (2112,63 + 110366,59) - (1235,51 + 110817,19)$$

$$EX_{\text{kayıp}} = 426,52 \text{ kW}$$

olarak hesaplanır.

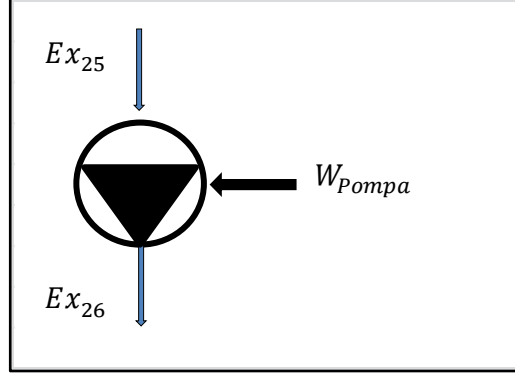
Türbin kondenserinin ekserji verimi;

$$\eta_{\text{ex}} = \frac{EX_{\zeta}}{EX_g} = \frac{112052,70}{112479,22} = 0,9962$$

$$\eta_{\text{ex}} = \% 99,62$$

olarak hesaplanır.

6.6.12. 4 No'lu Shaangu Körük Kondenser Pompasının Ekserji Kaybı ve Ekserji Veriminin Hesaplanması



Şekil 6.12. 4 No'lu Shaangu körük kondenser pompası ekserji dengesi.

Şekil 6.12'de gösterilen ekserjiler esas alınarak 4 No'lu Shaangu körük kondenser pompası ekserji kaybı;

$$EX_{kayıp} = EX_g - EX_$$

$$EX_g = EX_{25} + W_{pompa}$$

$$EX_ = EX_{26}$$

$$EX_{kayıp} = (1235,51 + 22) - (1240,58) = 19,93 \text{ kW}$$

olarak hesaplanır.

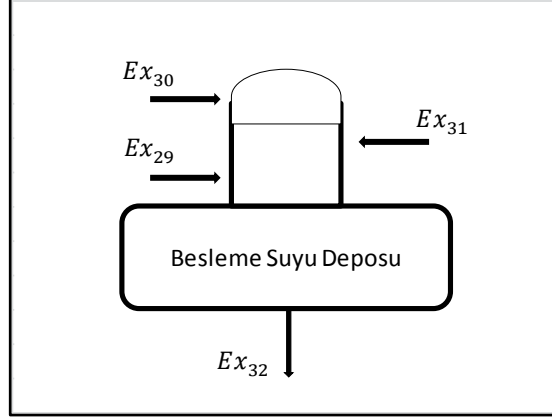
4 No'lu Shaangu körük kondenser pompası ekserji verimi;

$$\eta_{ex} = \frac{EX_}{EX_g} = \frac{1240,58}{1260,51} = 0,9842$$

$$\eta_{ex} = \% 98,42$$

olarak hesaplanır.

6.6.13. Kazan Besleme Suyu Deposunun Ekserji Kaybı ve Ekserji Veriminin Hesaplanması



Şekil 6.13. Kazan besleme suyu deposu ekserji dengesi.

Şekil 6.13'te gösterilen ekserjiler esas alınarak besleme suyu deposu ekserji kaybı;

$$EX_{\text{kayıp}} = EX_g - EX_{\text{ç}}$$

$$EX_g = EX_{29} + EX_{30} + EX_{31}$$

$$EX_{\text{ç}} = EX_{32}$$

$$EX_{\text{kayıp}} = (1837,63 + 442,54 + 1694,09) - (3097,75) = 876,52 \text{ kW}$$

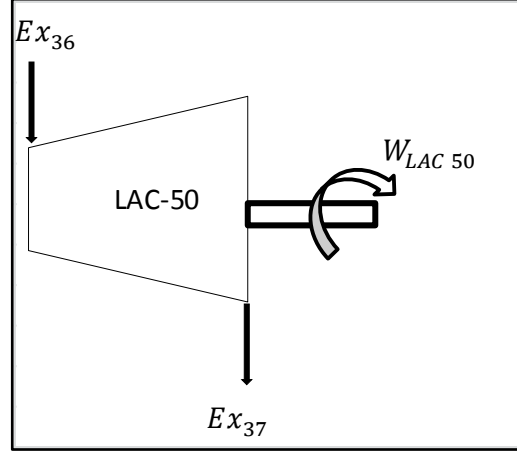
olarak hesaplanır.

Besleme suyu deposu ekserji verimi;

$$\eta_{\text{ex}} = \frac{EX_{\text{ç}}}{EX_g} = \frac{3097,75}{3974,27} = 0,7795$$

$\eta_{ex} = \% 77,95$ olarak hesaplanır.

6.6.14. LAC 50 Türbinin Ekserji Kaybı ve Ekserji Veriminin Hesaplanması



Şekil 6.14. LAC 50 türbini ekserji dengesi.

Şekil 6.14'te gösterilen ekserjiler esas alınarak LAC 50 Türbini ekserji kaybı;

$$EX_{kayıp} = EX_g - EX_{\zeta}$$

$$EX_g = EX_{36}$$

$$EX_{\zeta} = EX_{37} + W_{LAC 50}$$

$$EX_{kayıp} = (1090,11) - (841,97 + 142) = 106,14 \text{ kW}$$

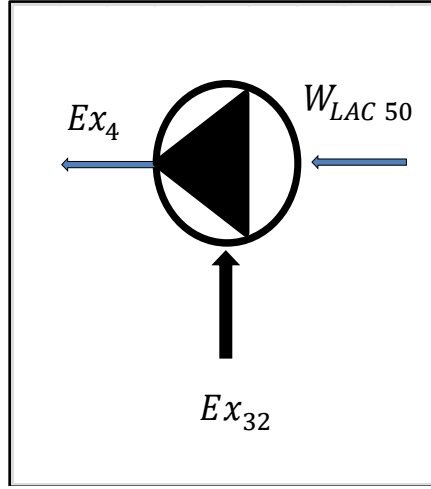
olarak hesaplanır.

LAC 50 Türbini ekserji verimi;

$$\eta_{ex} = \frac{EX_{\zeta}}{EX_g} = \frac{983,97}{1090,11} = 0,9026$$

$\eta_{ex} = \% 90,26$ olarak hesaplanır.

6.6.15. LAC 50 Pompanın Ekserji Kaybı ve Ekserji Veriminin Hesaplanması



Şekil 6.15. LAC 50 pompanın ekserji dengesi.

Şekil 6.15'te gösterilen ekserjiler esas alınarak LAC 50 Pompa ekserji kaybı;

$$EX_{\text{kayıp}} = EX_g - EX_{\text{ç}}$$

$$EX_g = EX_{32} + W_{\text{LAC 50}}$$

$$EX_{\text{ç}} = EX_4$$

$$EX_{\text{kayıp}} = (3097,75 + 142) - (3152,62)$$

$$EX_{\text{kayıp}} = 87,13 \text{ kW}$$

olarak hesaplanır.

LAC 50 Pompa ekserji verimi;

$$\eta_{\text{ex}} = \frac{EX_{\text{ç}}}{EX_g} = \frac{3152,62}{3239,75} = 0,9731$$

$$\eta_{\text{ex}} = \% 97,31$$

olarak hesaplanır.

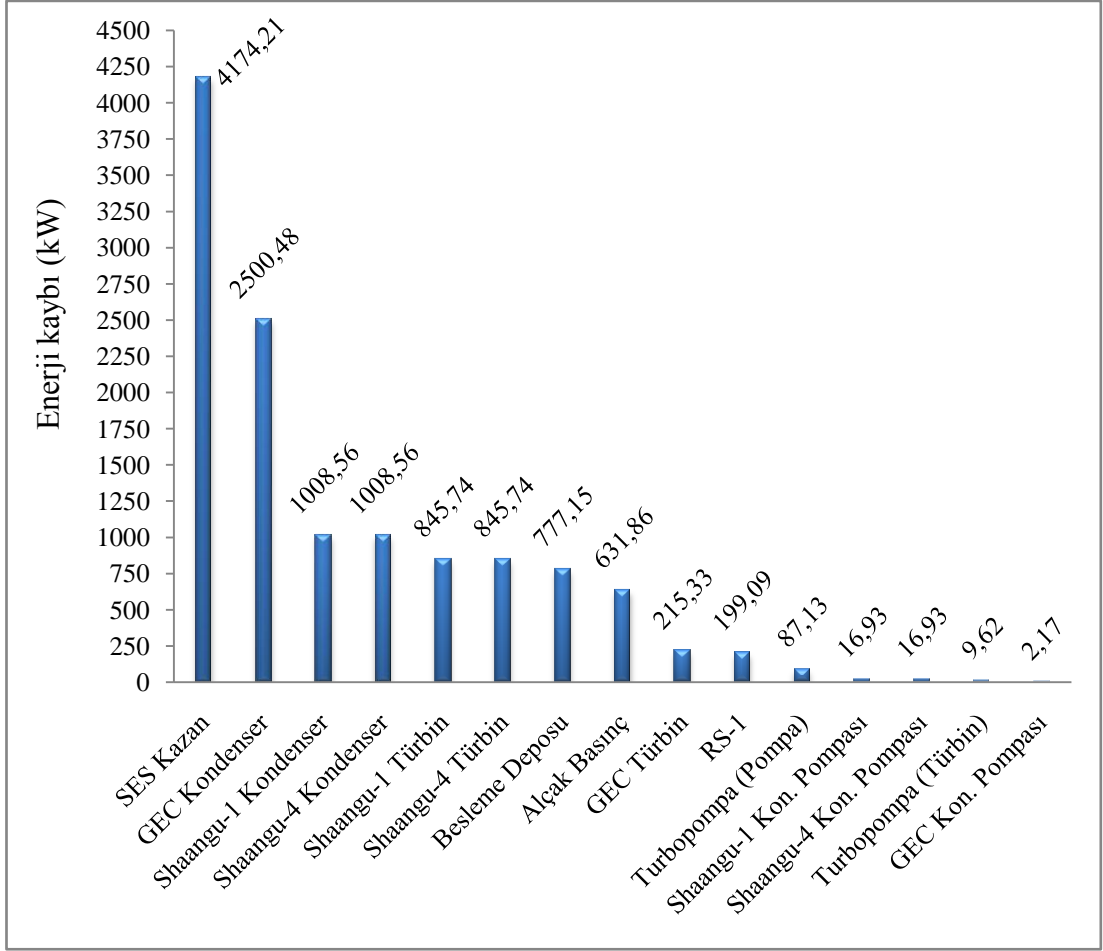
BÖLÜM 7

SONUÇ VE ÖNERİLER

Yapılan bu çalışmada KARDEMİR A.Ş. Kuvvet Santralinde bulunan ekipmanlara ait enerji ve ekserji kayıpları ile ekserji verimleri hesaplanmıştır (Çizelge 7.1). Bu hesaplamalar sonucu tesisteki en yüksek enerji ve ekserji kayıplarının SES Buhar Kazanında olduğu ortaya çıkmaktadır. SES Buhar kazanındaki toplam ısı kaybı 4174,21 kW, ekserji kaybı ise 23258,28 kW olarak hesaplanmıştır (Çizelge 7.1). Bunun yanı sıra tesisin ana ekipmanları üzerinde yapılan ekserji verimi hesaplamaları sonucunda, en verimsiz ekipmanın % 49,54 ekserji verimi ile SES Buhar Kazanı olduğu görülmektedir (Şekil 7.1).

Çizelge 7.1. Ekipmanların enerji ve ekserji kayıpları ile ekserji verimleri tablosu.

Ekipman Adı	Enerji Kaybı (kW)	Ekserji Kaybı (kW)	Ekserji Verimi (%)
SES Kazan	4174,21	23258,28	49,54
GEC Kondenser	2500,48	231,19	99,24
Shaangu-1 Kondenser	1008,56	426,52	99,62
Shaangu-4 Kondenser	1008,56	426,52	99,62
Shaangu-1 Türbin	845,74	3494,27	61,66
Shaangu-4 Türbin	845,74	3494,27	61,66
Besleme Deposu	777,15	876,52	77,95
Alçak Basınç	631,86	1879,07	79,58
GEC Türbin	215,33	1276,26	65,05
RS-1	199,09	1963,72	89,32
Turbopompa (Pompa)	87,13	87,13	97,31
Shaangu-1 Kon. Pompası	16,93	19,93	98,42
Shaangu-4 Kon. Pompası	16,93	19,93	98,42
Turbopompa (Türbin)	9,62	106,14	90,26
GEC Kon. Pompası	2,17	2,17	99,56

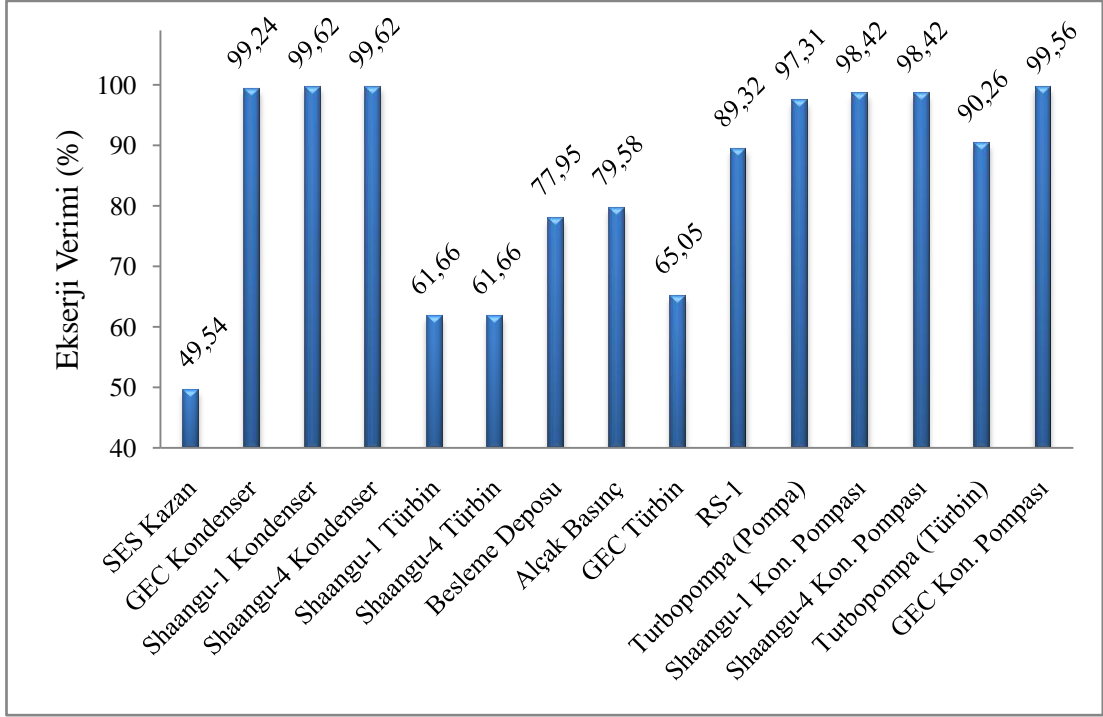


Şekil 7.1. Ekipmanların enerji kayıpları.

En yüksek ekserji kaybının 23258,28 kW ile SES Buhar Kazanında olduğu görülmektedir. Bu durumda, yapılacak olan iyileştirme çalışmalarında öncelik buhar kazanına verildiğinde, sistem daha verimli hale gelecektir.

Kuvvet Santralindeki en yüksek ekserji kaybına sahip ikinci ekipman ise Shaangu Buhar türbinleridir. Türbinlerdeki ekserji kaybı 3494,27 kW olarak hesaplanmıştır. Buhar türbininin ekserji verimi ise Şekil 7.2.' de de görüldüğü gibi % 61,66 olarak hesaplanmıştır.

Kuvvet santralindeki toplam enerji kaybının 12339,5 kW, toplam ekserji kaybının ise 37561,92 kW olduğu görülmektedir (Şekil 7.1).



Şekil 7.2. Ekipmanların ekserji verimleri.

Çizelge 7.1., Şekil 7.1. ve Şekil 7.2.'deki verileri incelediğimizde, sistemdeki bazı ekipmanların enerji kayıplarının düşük olmasına rağmen, ekserji kayıplarının yüksek olduğu ve ekserji verimlerinin de düşük kaldığı görülmektedir. Bu durum, tek başına enerji analizinin yeterli olmadığını, kullanılabilirlik göstergesi olarak ekserji analizi hesaplamalarının da yapılması gerekliliğini ortaya çıkarmıştır.

Ele alınan bu tesis için yapılabilecek iyileştirmeler arasında akla ilk gelen buhar hatlarının izolasyonudur. Kazan ve türbin sahadaki tüm buhar hatları ve ekipmanları iyi şekilde uygun izolasyon malzemesiyle izole edilmiş olmalıdır. Ayrıca mevcut izolasyonların kritik izolasyon kalınlıkları kontrol edilmelidir.

Ayrıca buhar kazanı için yakıt-hava dengesi iyi ayarlanmalı, yakıtın alt ısı değer değişimleri analiz edilip, değişimlere karşı hava optimizasyonu sağlanmalı ve bu şekilde yakıt tam olarak en yüksek yanma verimiyle yakılmalıdır. Yakıtlar için haftalık analizler alınmalı ve analiz değerlerine göre gerekli durumlarda yazılım içindeki alt ısı değerlerinde değişiklikler yapılarak, yakıttan elde edilebilecek enerji maksimum düzeyde tutulmalıdır.

Yakıt içindeki kirliliklerden dolayı zamanla kazan duvarlarında birikintiler oluşmaktadır. Bu tabakanın ısı transferini zorlaştıracağı ve kazan verimini düşüreceği görülmüştür. Ayrıca bu durum baca gazı sıcaklığının da yükselmesine ve ısının bacadan kaybına neden olacaktır. Mümkün olan her bakım durumunda bu kirliliklerin temizlenmesi, hem ısı verimi hem de kazan ömrünü arttıracaktır.

RS-1 sıcaklık ve basınç düşürme istasyonunun çıkışında 25 bar basınçta, 385 °C sıcaklıkta ve 12,5 kg/s debide buhar çıkışı olmaktadır. Buharın giriş sıcaklığı ve basıncı sırasıyla 505 °C, 65 bardır. Bu durumda giren ve çıkan toplam entalpilerin farkı alınarak, 12,5 kg/s debi için elde edilebilecek maksimum güç;

$$65 \text{ bar, } 505 \text{ }^{\circ}\text{C} \rightarrow h_{\text{buhar}} = 3427,98 \text{ kJ/kg}$$

$$25 \text{ bar, } 385 \text{ }^{\circ}\text{C} \rightarrow h_{\text{buhar}} = 3204,53 \text{ kJ/kg}$$

$$\dot{H}_{\text{buhar}} = \dot{m}_{\text{buhar}} \cdot (h_{65 \text{ bar, } 505 \text{ }^{\circ}\text{C}} - h_{25 \text{ bar, } 385 \text{ }^{\circ}\text{C}}) \quad (7.1)$$

$$12,5 \times (3427,98 - 3204,53) = 2793,13 \text{ kW 'tır.}$$

Aynı şekilde alçak basınç düşürücüsünün 7,22 kg/s debideki çalışma durumu için bu hesap yapıldığında, elde edilebilecek maksimum güç;

$$25 \text{ bar, } 385 \text{ }^{\circ}\text{C} \rightarrow h_{\text{buhar}} = 3204,53 \text{ kJ/kg}$$

$$4,5 \text{ bar, } 280 \text{ }^{\circ}\text{C} \rightarrow h_{\text{buhar}} = 3021,85 \text{ kJ/kg}$$

$$\dot{H}_{\text{buhar}} = \dot{m}_{\text{buhar}} \cdot (h_{25 \text{ bar, } 385 \text{ }^{\circ}\text{C}} - h_{4,5 \text{ bar, } 280 \text{ }^{\circ}\text{C}})$$

$$7,22 \times (3204,53 - 3021,85) = 1318,95 \text{ kW 'tır.}$$

Tesisteki düşürücü istasyonlarda basınç ve sıcaklık düşürülmektedir. Fakat bu iş gerçekleşirken herhangi bir kazanç sağlanamamaktadır. Eğer bu düşürücü istasyonları yerine karşı basınçlı türbin generatör ekipmanları tesis edilebilirse,

sıcaklık ve basınç düşürülürken, elektrik çıktısı da alınabilecek, sistem performansı ve maliyeti olumlu yönde etkilenecektir.

Bir turbo generatörün kaplin verimi, incelenen tesiste mevcut diğer turbo generatörler referans kabul edildiğinde, yaklaşık olarak % 97 olarak alınabilir. Bu durumda elektriksel anlamda elde edilebilecek maksimum gerçek güç,

$$\text{Mekanik Güç} \times \eta_{\text{türbin,kaplin}} = \text{Elektriksel Güç} \quad (7.2)$$

$$4112,08 \times 0,97 = 3988,72 \text{ kW}$$

olarak hesaplanır.

Buna göre Kuvvet Santralindeki sıcaklık ve basınç düşürme istasyonları yerine karşı basınçlı turbo generatör grubu kurulumunda 3988,72 kW'lık elektrik enerjisi üretilebilecektir.

KAYNAKLAR

Bodvarsson, G. and Eggers, D. E., “The exergy of thermal water”, *Geothermics*, (1): 93-95 (1972).

Chin, W. W., and El-Masri, M. A., “Exergy analysis of combined cycles: Part 2 – Analysis and optimization of two-pressure steam bottoming cycle”, *ASME J. Eng. Gas Turbine Power*, 109 (2): 237–243 (1987).

Coşkun, A., Geredelioğlu, C., Bolattürk, A., ve Gökaslan, M. Y., “Çayırhan Termik Santralının enerji ve ekserji analizi”, *11. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi*, İzmir (2013).

Çamdalı, Ü., Erişen, A. and Çelen, F., “Energy and exergy analyses in a rotary burner with pre-calcinations in cement production”, *Energy Conversion and Management*, 45: 3017-3031 (2004).

Çengel, Y. A. and Boles, M. A. “Termodinamik Mühendislik Yaklaşımıyla”, Çev: Pınarbaşı, A., *Mc Graw Hill - Palme Yayıncılık*, Ankara, 51-483 (2013).

Dinçer, S., “Kimya mühendisliğinde denge süreçlerinin termodinamiği”, *Boğaziçi Üniversitesi Yayınları*, İstanbul, 319 (1982).

Dincer I., and Çengel Y. A., “Energy, entropy and exergy concepts and their roles in thermal engineering”, *Entropy* 3: 116-149 (2001).

Doldersum, A. ‘Exergy analysis proves viability of process modification’, *Energy Conversion and Management*, 39 : 1781-1789 (1998).

Ebadi, M. J., and Gorji-Bandpy, M., “Exergetics analysis of gas turbine plants”, *International Journal of Exergy*, 2 (1): 285-290 (2005).

Ertesvag, I. S., “Energy, exergy, and extended-exergy analysis of the Norwegian society 2000”, *Energy, an International Journal, Department of energy and process engineering, Norwegian University of Science and Technology*, Trondheim, Norway, 30 (5): 649-675 (2005).

Kanoğlu, M., Işık, S. K., and Abuşoğlu, A., “Performance characteristics of a Diesel engine power plant”, *Energy Conversion and Management*, 46: 1692–1702 (2005).

Kardemir A.Ş., “LAC 50 Türbin Pompa performans eğrisi”, *Kardemir A.Ş. Enerji Tesisleri Müdürlüğü Arşivi*, Karabük (1959).

Kopaç, M., “Bir enerji santraline enerji ve ekserji analizinin uygulanması”, *Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi*, 20 (3–4): 3–7 (2000).

Kotas, T., “The exergy method of thermal plant analysis”, **Krieger Publishing Company**, Florida (1995).

Lee, K. C., “Classification of geothermal resources by exergy”, **Geothermics**, 30: 431–442 (2001).

Mert, M. S., Dilmaç, Ö. F., Özkan, S., Karaca, F. ve Bolat, E., “Exergoeconomic analysis of a cogeneration plant in an iron and steel factory”, **Energy Journal**, 46: 78-84 (2012).

Özkan, E., “Erdemir Ereğli Demir Çelik Fabrikası kojenerasyon ve konvansiyonal elektrik üretim tesislerinin ekserji analizi”, Yüksek Lisans Tezi, **Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, İstanbul (2009).

Rosen, M. A., and Dincer, I., “Effect of varying dead-state properties on energy and exergy analyses of thermal systems”, **International Journal of Thermal Sciences**, 43: 121-133 (2004).

Rosen, M. A., “Energy- and exergy-based comparison of coal-fired and nuclear steam power plants”, **International Journal of Exergy**, 1 (3) (2001).
Szargut, J., Morris, D. R., and Steward, F. R., “Exergy analysis of thermal, chemical, and metalurgical processes”, **Hempshire**, New York (1988).

Şahin, Z., “Gaz-Katı yakıtlı enerji santralının ekserji verim artışının araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, **Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Zonguldak (2006).

Tsatsaronis, G., “Thermoeconomic analysis and optimization of energy systems”, **Progress in Energy and Combustion Science**, 19 (3): 227-257 (1993).

TÜBİTAK, “Ulusal Enerji Ar-Ge ve Yenilik Stratejisi”, **Bilim, Teknoloji ve Yenilik Politikaları Daire Başkanlığı**, Ankara (2011).

Utlu, Z. ve Hepbaşlı, A., “Ülkemiz sektörel bazda enerji kullanım verimliliğinin değerlendirilmesi”, **II. Ulusal Ege Enerji Sempozyumu**, Kütahya, 381-387 (2004).

Ünal, F., “Bir termik santralin ekserji analizi”, Yüksek Lisans Tezi, **Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, İstanbul, 1-9 (2009).

Yücelay, A. B., “Gaz türbinli bir bileşik ısı – enerji üretim sisteminin termodinamik çözümlemesi”, Yüksek Lisans Tezi, **İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, İstanbul, (2000).

ÖZGEÇMİŞ

Güray YILDIZ 1986 yılında Karabük'te doğdu. İlk ve ortaöğrenimini aynı şehirde tamamladı. 75. Yıl Karabük Anadolu Lisesinden 2004 yılında mezun olduktan sonra aynı yıl Selçuk Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü'nde öğrenime başladı ve 2009 yılında mezun oldu. Yedek subay olarak askerlik görevini yerine getirdikten sonra 2010 yılında terhis oldu. İlk olarak bir doğalgaz firmasında işe başladıktan sonra 2011 yılında Kardemir A.Ş. Enerji Tesisleri Müdürlüğü'nde İşletme Mühendisi pozisyonunda işe başlamış ve halen bu görevini sürdürmektedir.

ADRES BİLGİLERİ

Adres : Şirinevler Mahallesi
Kemal Atalay Caddesi
Birlik Sitesi B2 Blok No:12
78200 Merkez / KARABÜK
Tel : (506) 245 8710
E-posta : gyildiz@kardemir.com