

**T.C.
İNÖNÜ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**AFŞİN ELBİSTAN A TERMİK SANTRALİNİN ENERJİ VE
EKSERJİ ANALİZİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Fikret ALTUNBAŞ
(13617180402)**

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Apdulmutalip ŞAHİNASLAN

OCAK 2020

T.C.
İNÖNÜ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜ

AFŞİN ELBİSTAN A TERMİK SANTRALİNİN ENERJİ VE EKSERJİ ANALİZİ
YÜKSEK LİSANS TEZİ

DANIŞMAN
Dr. Öğr. Üyesi Apdulmutalip ŞAHİNASLAN

HAZIRLAYAN
Fikret ALTUNBAŞ

Jürimiz tarafından 21/01/2020 tarihinde yapılan tez savunma sınavı sonucunda bu tez oybirliği /oyçokluğu ile başarılı bulunarak Makine Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi olarak kabul etmiştir.

Jüri Üyelerinin Unvanı Adı Soyadı

İmza

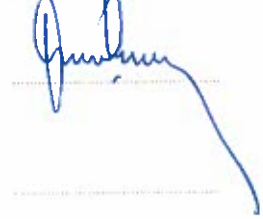
1. Doç Dr. İ. Gökhan AKSOY



2. Dr. Öğr. Üyesi Aydın ÇITLAK



3. Dr. Öğr. Üyesi. Apdulmutalip ŞAHİNASLAN



4.



5.



O N A Y

Bu tez, İnönü Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim Yönetmeliği'nin ilgili maddeleri uyarınca yukarıdaki jüri üyeleri tarafından kabul edilmiş ve Enstitü Yönetim Kurulu'nun .../.../20... tarih ve 20.../..... sayılı Kararıyla da uygun görülmüştür.

.....

Prof. Dr. Kazım TÜRK
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

TEŞEKKÜR VE ÖNSÖZ

Bu tez çalıőmasının her aşamasında yardım, öneri, bilgi, tecrübe ve desteklerini esirgemedен beni her konuda yönlendiren danışman hocam Sayın Dr. Öğr. Üyesi Apdulmutalip ŞAHİNASLAN' na, Afşin Elbistan A Termik Santrali Takip Koordinasyon Müdürlüğü personellerine ve hayatımın her alanında olduğu gibi bu çalıőmamda da bana her konuda destek olan sevgili aileme

teşekkür ederim.



ONUR SÖZÜ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Afşin Elbistan A Termik Santralinin Enerji ve Ekserji Analizi” başlıklı bu çalışmanın bilimsel ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yardıma başvurmaksızın tarafımdan yazıldığını ve yararlandığım bütün kaynakların, hem metin içinde hem de kaynakçada yöntemine uygun biçimde gösterilenlerden oluştuğunu belirtir, bunu onurumla doğrularım.

Fikret ALTUNBAŞ



İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR VE ÖNSÖZ	i
ONUR SÖZÜ	ii
İÇİNDEKİLER.....	iii
ÇİZELGE DİZİNİ.....	v
ŞEKİLLER DİZİNİ	vi
ÖZET	ix
ABSTRACT	x
1. GİRİŞ.....	1
1.1 Dünyada Enerji ve Elektrik Üretiminin Durumu	1
1.2 Ülkemizde Enerji, Elektrik ve Bunların Sektörel Durumu	6
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI.....	10
3. AFŞİN ELBİSTAN A TERMİK SANTRALİNİN GENEL BİLGİLERİ... 13	13
4. BUHARLI GÜÇ ÇEVİRİMLERİ	24
4.1 Carnot Buhar Çevrimi	24
4.2 Rankine Buhar Çevrimi.....	25
4.2.1 Basit ideal Rankine çevrimi	25
4.2.2 İdeal ara ısıtmalı Rankine çevrimi	29
4.2.3 İdeal ara buhar almali Rankine çevrimi	29
5. A SANTRALİNİN ENERJİ VE EKSERJİ HESAPLAMALARI	32
5.1 Yüksek Basınç Türbini.....	35
5.2 Orta Basınç Türbini.....	37
5.3 Alçak Basınç Türbini	40
5.4 Kondenser-I.....	42
5.5 Kondesat Pompası.....	44
5.6 Ejektör	46
5.7 Glend Kondenser.....	48
5.8 Alçak Basınç Isıtıcısı- I.....	49
5.9 Alçak Basınç Isıtıcısı- II.....	51
5.10 Alçak Basınç Isıtıcısı- III	52
5.11 Alçak Basınç Isıtıcısı- IV	54
5.12 Kazan Besleme Tankı ve Degazör	56
5.13 Kazan Besleme Pompası	57
5.14 Yüksek Basınç Isıtıcısı- I	60
5.15 Yüksek Basınç Isıtıcısı- II.....	61
5.16 BFPT	63
5.17 Kondenser-II	65
5.18 Kazan.....	67
5.18.1 Linyitin yanma denklemi	68
5.18.2 Linyitin kimyasal ve fiziksel ekserji hesapları.....	68
5.18.3 Baca gazının özellikleri.....	69
5.18.4 Baca gazının kimyasal ve fiziksel ekserji hesapları.....	71
5.18.5 Yakma havasının özellikleri.....	72
5.18.6 Yakma havasının kimyasal ve fiziksel ekserji hesapları.....	73
5.18.7 Kazana giren çıkan su ve buharların ekserji hesapları	74
5.18.8 Kazanın çevreye ısı kaybı ve ısı verim hesabı	74
5.18.9 Kazandaki tersinmezliğin (ekserji kaybının) hesaplanması.....	75
5.18.10 Santralin ısı verimi ve ikinci yasa verimi	76
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	78

KAYNAKLAR.....	82
ÖZGEÇMİŞ.....	85



ÇİZELGE DİZİNİ

Çizelge 1.1	: Ülkelerin 2017 ve 2018 petrol rezervleri.....	3
Çizelge 1.2	: Ülkelerin 2017 ve 2018 doğalgaz rezervleri.	3
Çizelge 1.3	: Ülkemizdeki enerji kaynaklarından yararlanılma sırası.	6
Çizelge 1.4	: 2015, 2016 ve 2017 yılları için ülkemizde kişi başına düşen enerji ve elektrik tüketimi.....	7
Çizelge 1.5	: İnşası devam etmekte olan santraller (Ocak 2019 itibari ile).	8
Çizelge 1.6	: 2018 yılı içinde kullanıma açılan santraller.....	8
Çizelge 1.7	: Ülkemizdeki yerli kaynak potansiyelleri.	9
Çizelge 3.1	: Santralin kurulu güç karakteristikleri.	14
Çizelge 3.2	: Santralin türbin karakteristikleri.	16
Çizelge 3.3	: Santralin jeneratör karakteristikleri.	17
Çizelge 3.4	: Kazan katma ve soğutma suyu sistem karakteristikleri.....	18
Çizelge 3.5	: Santralin kazan karakteristikleri.	19
Çizelge 3.6	: Santralin kömür karakteristikleri.	20
Çizelge 3.7	: Santralin kömür alma sistem karakteristikleri.	22
Çizelge 5.1	: A Santralinin düğüm noktalarına ait termodinamik özellikler.	34
Çizelge 5.2	: YBT' nin düğüm noktalarına ait termodinamik özellikler.	35
Çizelge 5.3	: OBT' nin düğüm noktalarına ait termodinamik özellikler.	37
Çizelge 5.4	: ABT' nin düğüm noktalarına ait termodinamik özellikler.	40
Çizelge 5.5	: Kondenserin düğüm noktalarına ait termodinamik özellikler.	43
Çizelge 5.6	: Kondesat pompasının düğüm noktalarına ait termodinamik özellikler.....	44
Çizelge 5.7	: Ejektörün düğüm noktalarına ait termodinamik özellikler.	47
Çizelge 5.8	: Glend kondenserin düğüm noktalarına ait termodinamik özellikler.	48
Çizelge 5.9	: ABSI-I' in düğüm noktalarına ait termodinamik özellikler.	50
Çizelge 5.10	: ABSI-II' nin düğüm noktalarına ait termodinamik özellikler.....	51
Çizelge 5.11	: ABSI-III' ün düğüm noktalarına ait termodinamik özellikler.....	53
Çizelge 5.12	: ABS-IV' ün düğüm noktalarına ait termodinamik özellikler.....	54
Çizelge 5.13	: KBTD' nin düğüm noktalarına ait termodinamik özellikler.	56
Çizelge 5.14	: BFPT Pompa'nın düğüm noktalarına ait termodinamik özellikler.	58
Çizelge 5.15	: YBSI-I' in düğüm noktalarına ait termodinamik özellikler.	60
Çizelge 5.16	: YBSI-II' nin düğüm noktalarına ait termodinamik özellikler.	62
Çizelge 5.17	: Çizelge 5.17 BFPT' nin düğüm noktalarına ait termodinamik özellikler.	63
Çizelge 5.18	: Kondenser-II' nin düğüm noktalarına ait termodinamik özellikler.....	66
Çizelge 5.19	: Kazanın düğüm noktalarına ait termodinamik özellikler.	67
Çizelge 5.20	: Linyitin bileşen oranları ve mol değerleri.	68
Çizelge 5.21	: Baca gazı bileşenleri, mol kesirleri ve molar oranları.....	70
Çizelge 5.22	: Baca gazı bileşenlerinin, molar debileri, molar oranları ve standart molar kimyasal ekserjileri	70
Çizelge 5.23	: Nemli havaya bileşenlerinin, molar debileri, mol kesirleri ve standart molar kimyasal ekserjileri.	73
Çizelge 6.1	: A Santraldeki ünitelerin ikinci yasa verimleri.	79
Çizelge 6.2	: Santraldeki ünitelerin ekserji kayıpları ve santraldeki toplam ekserji kaybına oranları.	80

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1	: Ülkelerin 2017 yılı için elektrik üretim sıralaması.	4
Şekil 1.2	: Kullanım alanlarına göre dünyada ki sera gazı emisyonları ve fosil yakıt kaynaklı CO2 emisyonları.	5
Şekil 1.3	: Ülkemizde 2018 yılında üretilen elektriğin kaynaklarının oranları.....	7
Şekil 1.4	: Yıllara göre elektrik piyasasındaki katılımcı sayıları.	9
Şekil 3.1	: Santralin genel görünümü.....	13
Şekil 3.2	: Kışlaköy kömür havzasının haritası.	14
Şekil 3.3	: Santralin stok sahası.	15
Şekil 3.4	: ABT' nin görünümü.	16
Şekil 3.5	: Santralin turbo-jeneratör grubu.	17
Şekil 3.6	: Santralin ham su havuzu.....	18
Şekil 3.7	: Santralin kazan ve bacalarının dışardan görünümü.	20
Şekil 3.8	: Santralin kömür kırma binası.	21
Şekil 3.9	: A Santrali'nin kömür alma akış şeması.....	22
Şekil 3.10	: Santralinde kül ve cüruf taşınmasının şematik gösterimi.	23
Şekil 4.1	: İki Carnot çevrimi T-s diyagramı.	25
Şekil 4.2	: Basit ideal Rankine çevrim sistemi ve T-s diyagramı.	26
Şekil 4.3	: (a) Gerçek buhar çevriminin T-s diyagramında ideal Rankine çevriminden farklılığı, (b) pompa ve türbindeki tersinmezliklerin ideal Rankine çevrimi üzerindeki etkileri.	27
Şekil 4.4	: Yoğuşturucu basıncının düşürülmesinin ideal Rankine çevrimine etkisi.....	27
Şekil 4.5	: Buharın kızdırılmasının ideal Rankine çevrimine etkisi.	28
Şekil 4.6	: Kazan basıncının artırılmasının ideal Rankine çevrimine etkisi ve kritik basınç üstünde çalışan Rankine çevrimi.	28
Şekil 4.7	: İdeal ara ısıtmalı Rankine çevrimi ve T-s diyagramı.	29
Şekil 4.8	: Tek besleme suyu ısıtıcısı olan ideal ara buhar almalı Rankine çevrimi ve T-s diyagramı.....	30
Şekil 4.9	: Kapalı besleme suyu ısıtıcısı olan ideal ara buhar almalı Rankine çevrimi ve T-s diyagramı.....	31
Şekil 5.1	: A Santralinin enerji ve ekserji dönüşüm şeması.....	33
Şekil 5.2	: YBT' nin şematik gösterimi.	35
Şekil 5.3	: OBT' nin şematik gösterimi.	37
Şekil 5.4	: ABT' nin şematik gösterimi.	40
Şekil 5.5	: Kondenser-I' in şematik gösterimi.	42
Şekil 5.6	: Kondesat Pompasının şematik gösterimi.....	44
Şekil 5.7	: Ejektörün şematik gösterimi.	46
Şekil 5.8	: Glend kondenserin şematik gösterimi.	48
Şekil 5.9	: ABSI-I' in şematik gösterimi.	49
Şekil 5.10	: ABSI-II' nin şematik gösterimi.	51
Şekil 5.11	: ABSI-III' ün şematik gösterimi.....	52
Şekil 5.12	: ABS-IV' ün şematik gösterimi.	54
Şekil 5.13	: KBTD' nin şematik gösterimi.	56
Şekil 5.14	: KBP' nin şematik gösterimi.	57
Şekil 5.15	: YBSI-I' in şematik gösterimi.	60
Şekil 5.16	: YBSI-II' nin şematik gösterimi.	61
Şekil 5.17	: BFPT' nin şematik gösterimi.....	63
Şekil 5.18	: Kondenser-II' nin şematik gösterimi.....	65
Şekil 5.19	: Kazanın şematik gösterimi.	67

SEMBOLLER VE KISALTMALAR

T	:	Sıcaklık, Kelvin
P	:	Basınç, bar
\dot{m}	:	Kütlesel debi, kg/s
h	:	Entalpi, kJ/kg
s	:	Özgül entropi, kJ/kg K
S	:	Entropi, kJ/kg K
v	:	Hız, m/s
g	:	Kütle çekim sabiti
z	:	Yükseklik, m
\dot{Q}	:	Isıl yük, kW
\dot{W}	:	Güç, kW
I	:	Tersinmezlik, kW
ψ	:	Akış enerjisi, kJ/kg
\dot{X}	:	Ekserji, kW
η	:	Verim
a_{kur}	:	Kuramsal hava mol sayısı, kmol
\bar{e}_x	:	Kimyasal ekserji, kJ/kg
\bar{c}_p	:	Özgül ısı kapasitesi, kJ/kmol K
R	:	Evrensel gaz sabiti, kJ/kmol K
ABD	:	Amerika Birleşik Devletleri
AB	:	Avrupa Birliği
IEA	:	Uluslararası Enerji Ajansı
EPDK	:	Enerji Piyasa Denetleme Kurulu
GSYH	:	Gayrisafi Yurtiçi Hasıla
YBT	:	Yüksek basınç türbini
OBT	:	Orta basınç türbini
ABT	:	Alçak basınç türbini
KON	:	Kondenser
KTP	:	Kondesat pompası
EJK	:	Ejektör
tr	:	Tersinmezlik
ABSI	:	Alçak basınç ısıtıcısı

KBTD : Kazan besleme tankı ve degazör
KBP : Kazan besleme pompası
YBSI : Yüksek basınç ısıtıcısı
BFPT : Kazan besleme pompası türbini
kim : Kimyasal
fiz : Fiziksel



ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

AFŞİN ELBİSTAN A TERMİK SANTRALİNİN ENERJİ VE EKSERJİ ANALİZİ

Fikret ALTUNBAŞ

İnönü Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

85 + x sayfa

2020

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Apdulmutalip ŞAHİNASLAN

Bu çalışmada Afşin-Elbistan bölgesinde bulunan linyit yakıtlı A Termik Santralinin enerji ve ekserji analizi yapılmıştır. Analiz 1 bar basınç ve 25°C sıcaklıktaki çevre şartlarında %97 (330 MW) kapasite için yapılmıştır. Hesaplamalar için santraldeki düğüm noktaları ve bu düğüm noktalarına ait akışkanın termodinamik özellikleri belirlenmiştir. Düğüm noktalarındaki değerler santralin tasarım değerleridir. Sistemi oluşturan her ekipman için ayrı ayrı hesaplamalar yapılarak ekserji kayıpları bulunmuş ve bu kayıplar tablo ile gösterilmiştir. Santralin toplam ekserji kaybı 436,7 MW, kazanın ekserji kaybı ise 350,1 MW bulunmuştur. Yani santralin toplam ekserji kaybının %80,15 lik kısmı kazanda oluşmaktadır. Santralin ısı verimi %35,7, ikinci yasa verimi ise %58,29 olarak hesaplanmıştır.

ANAHTAR KELİMELELER: Termik santral, Enerji analizi, Ekserji analizi

ABSTRACT

Master Thesis

ENERGY AND EXERGY ANALYSIS OF AFŞİN-ELBİSTAN THERMAL POWER PLANT A

Fikret ALTUNBAŞ

Inonu University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Mechanical Engineering

85 + x pages

2020

Supervisor: Dr. Lecturer Apdulmutalip ŞAHİNASLAN

Energy and exergy analysis were made of lignite fired A Thermal Power Plant located in Afşin-Elbistan region. Analysis made under 1 bar pressure and 25°C ambient conditions for 97% (330 MW) capacity. Knot joints were determined in the plant for calculations and thermodynamic properties of fluid of these nodes. The values at the nodes are the design values of the plant. Exergy losses were found by making calculations for the all equipments of the system and these losses showed with the table. The total exergy loss of the plant is 436.7 MW and the exergy loss of the boiler is 350.1 MW. In other words, 80,15% of the total exergy loss of the plant occurs in the boiler. The thermal efficiency of the power plant is calculated as 35.7% and the second law efficiency is calculated as 58.29%.

KEYWORDS: Thermal power plant, Energy analysis, Exergy analysis

1. GİRİŞ

Ekonomi, teknoloji ve sosyal hayatın gelişmesindeki en önemli faktörlerden birisi hiç şüphesiz enerjidir ve bu nedenle insanoğlu tarih boyunca enerji kaynaklarına ihtiyaç duymuştur.

Yakın tarih düşünüldüğünde ülkelerin siyaseti, savaşları ve barışları hep enerji kaynakları üzerine olmuştur. Gelişmekte olan ülkeler artan enerji ihtiyacını karşılamak için diğer ülkelerin enerji kaynaklarına göz dikmiş ve buda savaşlara sebep olmuştur. Örneğin yaklaşık 18 milyon insanın hayatını kaybettiği birinci dünya savaşının nedenlerinden biri zengin kömür yataklarına sahip Alsace-Loren bölgesinin Almanya ve Fransa arasında paylaşılabilmesidir. Diğer bir örnek ise İngiltere'nin Osmanlı toprağı olan Hicaz bölgesini bölgede bulunan petrol rezervlerinden dolayı işgal etmesidir.

Her geçen gün artan nüfus, gelişen teknoloji ve sanayileşme ülkemizde ki enerji ihtiyacını hızla arttırmaktadır. Ülkemizdeki enerji kaynakları sıralandığında birinci sırayı petrol ve petrol ürünleri ikinci sırayı doğalgaz ve üçüncü sırayı da kömür almaktadır. Ülkemizde ki enerji kaynakları göz önüne alındığında petrolde ve doğalgazda dışa bağımlı olduğumuz ve bu dışa bağımlılığında ülke ekonomisine büyük yükler getirdiği bilinmektedir.

Güçlü ve bağımsız bir Türkiye için enerji kaynaklarının çeşitlendirilmesi, özellikle yenilenebilir enerji kaynaklarının (Hidroelektrik enerji, rüzgâr enerjisi, jeotermal enerji, güneş enerjisi... vb.) enerji üretimindeki payının artırılması gerekmektedir. Bunun yanında ülkemizdeki en önemli enerji kaynaklarından olan kömürün üretiminin artırılması ve linyit yakıtlı termik santrallerin veriminin iyileştirilmesi gerekmektedir.

1.1 Dünyada Enerji ve Elektrik Üretiminin Durumu

Enerji, ekonomik ve sosyal gelişimin devamı, teknoloji alanındaki ilerlemenin sağlanması ve yaşam standartlarının artması adına gereken önemli faktördür. Bilindiği gibi dünya nüfusu her geçen gün hızla artmaktadır. 2017 yılında 7,5 milyar olan dünya nüfusunun 2040 yılında 9,2 milyar kişi olması beklenmektedir. 2017 tahminlerine göre dünya nüfusunun %13 'ü (993 milyon kişi) elektriğe kavuşamadı ve bu insanların neredeyse tamamı Sahra-altı Afrika ve Asya ülkelerinin kırsalında yaşamaktadırlar. Uluslararası Enerji Ajansı'nın "Yeni Politikalar Projeksiyonu" na göre 2040 yılında 720 milyon kişinin (dünya nüfusunun %7,8 i) elektriksiz yaşamaya devam edeceği öngörülmektedir [1].

2017 ve 2040 yılları arasında kapsayan süreçte dünya ekonomisinin %3,4 büyümesi beklenmektedir. Bu büyüme ile birlikte artan nüfus, şehirleşme ve sanayide artış enerji ihtiyacını önemli oranda arttıracaktır. 2040 yılında dünya enerji ihtiyacının bugüne göre %38,2 daha fazla olacağı tahmin edilmektedir. Çin şuan da dünyada enerjiyi en fazla tüketen ülke konumunda olup 2040 Amerika'nın potansiyel enerji tüketim miktarının 2 katı enerji tüketeceği tahmin edilmektedir. Ayrıca 2030 yılı itibari ile Hindistan'ın enerji tüketimi konusunda Avrupa'nın önüne geçerek dünyadaki 3. büyük tüketici olacağı öngörülmektedir. Bahsi geçen ülkeler (Çin, ABD, Hindistan ve AB) 2025 yılında dünyanın toplam enerji ihtiyacının %55,4'ünü, 2040 yılında ise %52,6'sını tüketecektir. Bu artan enerji ihtiyacını karşılayabilmek için enerji alanında büyük maliyetli yatırımların yapılması gerektiği belirtilmekte olup fosil yakıt faaliyetleri bu yatırımın en önemli kısmını oluşturmaktadır [1].

2017 ve 2040 yılları arasında fosil yakıt kaynaklarının (petrol, doğalgaz ve kömür) enerji ihtiyacını karşılamada ilk tercih olacağı öngörülmektedir. Şöyle ki kömür, petrol, hidrolik ve nükleer enerji üretiminde ki yüzdelerinin gerilemesi beklenirken doğalgaz ve güneş enerjisinde artma olacağı tahmin edilmektedir. Elektrik üretiminde bu dönem içinde yüzdeler olarak en çok artış göstermesi beklenen kaynak güneş enerjisidir. %1,7 olan oranın %6,9'a yükselmesi beklenmektedir [1].

2017 ve 2040 yılları arasında dünya ekonomisinin %3,4 büyümesi beklenmektedir. Bu büyüme ile birlikte artan nüfus, sanayileşme ve kentleşme doğal kaynaklara ve enerjiye olan talebi önemli ölçüde arttıracaktır. 2040 yılında dünya enerji talebinin yıllık ortalama %1,4 lük artışlarla 2017 yılına göre %38,3 daha fazla olacağı tahmin edilmektedir. An itibariyle dünyanın en fazla enerji tüketen ülkesi konumundaki Çin'in, 2040 yılında ikinci sırada olacak olan Amerika'nın tüketeceği enerjinin yaklaşık iki katı enerji tüketeceği tahmin edilmektedir. Ayrıca 2030 yılı itibari ile Hindistan'ın da Avrupa Birliği'ni geçerek Çin ve Amerika'nın ardından üçüncü büyük enerji tüketicisi olması beklenmektedir. Söz konusu dört büyük enerji tüketicisinin (Çin, ABD, Hindistan ve AB) 2025 yılında dünya toplam enerji ihtiyacının %55,4, 2040 yılında ise %52,6'sını tüketecektir. Dünyada artan enerji ihtiyacını karşılayabilmek için 2018-2040 yılları arasında enerji sektöründe yaklaşık 59,2 trilyon ABD doları (2017 rakamlarıyla) değerinde yatırım yapılmasına ihtiyaç duyulduğu hesaplanmaktadır. Bu yatırımın en büyük payını 29,5 trilyon ile fosil yakıt faaliyetleri oluşturmaktadır [1].

2018 yılında dünya genelinde petrol rezervlerinin dağılımına bakıldığında %49'nun Ortadoğu'da bulunduğu ve aynı yıl için dünyanın en büyük kanıtlanmış petrol rezervine sahip ülkenin Venezuela olduğu görülmektedir (Çizelge 1.1) [1].

Çizelge 1.1 : Ülkelerin 2017 ve 2018 petrol rezervleri.

Sıra	Ülkeler	2017 (milyar varil)	2018 (milyar varil)
1	Venezuela	302,3	302,8
2	Suudi Arabistan	266,2	266,3
3	Kanada	170,5	167,4
4	İran	157,2	155,6
5	Irak	148,8	147,2
6	Kuveyt	101,5	101,5
7	B. Arap Emirlikleri	97,8	97,8
8	Rusya	80,0	80,0
9	Libya	48,4	48,4
10	Nijerya	37,5	36,2
	Dünya-Toplam	1661,4	1653,3

Dünyadaki doğalgaz rezervlerinin yaklaşık %70' lik kısmı Rusya, Eski Sovyet Ülkeleri ve Ortadoğu' da bulunmaktadır. (Çizelge 1.2) [2].

Çizelge 1.2 : Ülkelerin 2017 ve 2018 doğalgaz rezervleri.

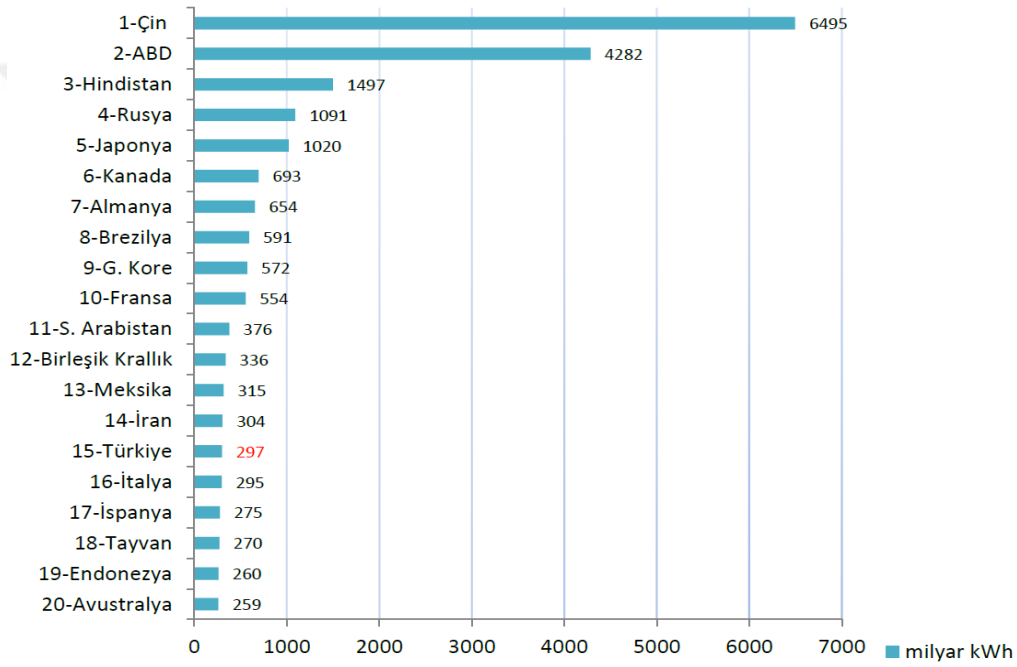
Sıra	Ülkeler	2017 (milyar ft3)	2018 (milyar ft3)
1	Rusya	1.688.230	1.688.230
2	İran	1.190.830	1.193.970
3	Katar	850.100	842.630
4	ABD	438.460	438.460
5	Suudi Arabistan	304.380	307.750
6	Türkmenistan	265.000	265.000
7	B. Arap Emirlikleri	215.100	215.100
8	Çin	208.230	212.620
9	Venezuela	202.690	201.540
10	Nijerya	193.350	198.710
	Dünya-Toplam	7.124.399	7.125.059

2017 yılı sonu itibarı ile BP'nin verilerine göre dünyadaki rezervlere bakıldığında petrolün 50, kömürün 134 ve doğalgazın 53 yıllık ömre sahip olduğu belirtilmiştir [3].

2017 yılı sonu itibarı ile Dünya kömür rezervinin yaklaşık %77' si ABD, Rusya, Avustralya, Çin ve Hindistan'da dır. Oranları ise yaklaşık ABD %24, Rusya %15,5, Çin %13,5 ve Hindistan %9,5'dir. Ayrıca bu beş ülkede üretilen kömür miktarı Dünyada üretilen kömür miktarının %77,5'dir [3].

AB tarafından 2016 yılında ithal edilen doğal gazın yaklaşık %40'lık kısmını Rusya, %25' lik kısmını Norveç ve %8,3' lük kısmını İran oluşturmaktadır. AB tarafından ithal edilen katı yakıtın da büyük kısmını doğalgazda olduğu gibi Rusya sağlamaktadır. AB tarafından ithal edilen katı yakıtın yaklaşık %30' u Rusya, %24,5 Kolombiya ve %14,5' ni Avustralya tarafından temin edilmektedir [4].

Gelişmekte olan ülkelerde enerji talebi artmakta ve bu artan enerji talebi doğrudan elektrik talebinin de arttırmaktadır. GSYH ve kişi başına düşen gelirin artmasıyla halkın yaşam standartları artmakta ve buda elektriğe olan ihtiyacı arttırmaktadır. Sonuç olarak ülkeler geliştikçe elektriğe olan ihtiyacı da o oranda artacaktır. [1].



Şekil 1.1 : Ülkelerin 2017 yılı için elektrik üretim sıralaması.

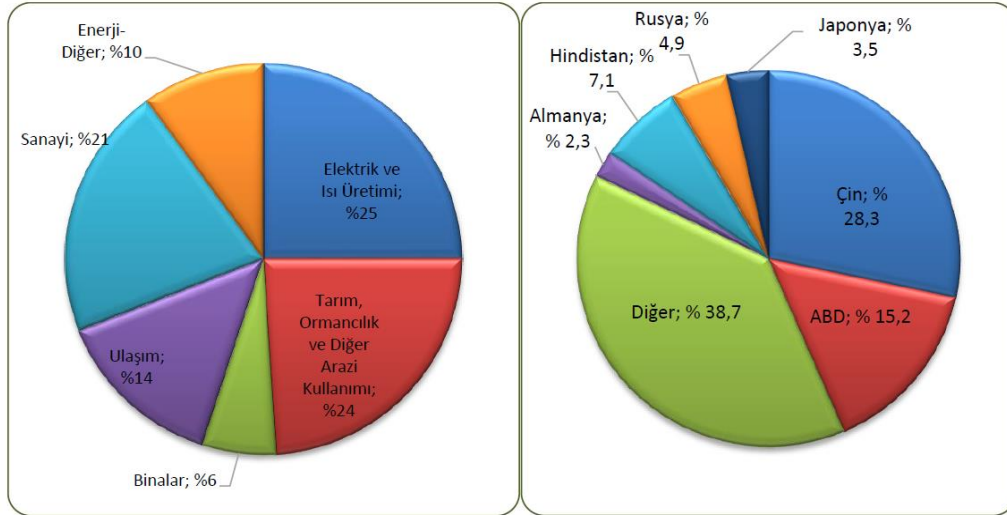
Önümüzdeki yirmi yıllık süreçte kömür kaynaklı elektrik üretiminin yıllık bazda yaklaşık %1,5 artacağı öngörülmektedir ve bu artış doğrudan çevreyi olumsuz etkileyecek ve küresel ısınmaya büyük katkı sağlayacaktır. Bu nedenle ulusal politikalar ve uluslararası politikalar yenilenebilir enerji kaynaklarının desteklenmesi yönünde yapılmalıdır [1].

Önümüzdeki yirmi yıllık süreçte gaz kaynaklı elektrik üretiminin yıllık bazda yaklaşık %2,5 artacağı öngörülmekte ve bu artışta yeni ortaya çıkmaya başlayan kaya gazının önemi büyüktür. Yirmi yıllık süreçte kaya gazı üretiminin dünyada üretilen toplam gaz üretimine oranının %13 den %25 yükseleceği öngörülmektedir. Dünyanın en büyük kaya gazı rezervlerine sahip ülkeleri sırasıyla Çin, Arjantin, Cezayir, ABD ve Kanada'dır [6].

Önümüzdeki yirmi yıl içinde IEA’ da yenilenebilir enerji kaynaklarının tüketiminde %3,6’lık artış olacağı belirtilmiştir. Elektrik üretiminde 2017 yılı itibari ile yaklaşık %25 paya sahip olan yenilenebilir enerji kaynaklarının 2040 yılında %30 seviyelerine ulaşacaktır. Ayrıca hidrolik haricinde yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı enerji kurulu gücün dünyadaki toplam enerji kurulu gücüne oranının her geçen gün artacağı belirtilmiştir. Şöyle ki 2015 yılında yaklaşık %12 olan oranın 2040 yılında %30 seviyesini geçmesi beklenilmektedir [1].

Dünyada 31 ülkede toplam 452 nükleer santral aktif olarak çalışmakta ve 54 tane nükleer santralde yapım aşamasındadır. Aktif olarak çalışmakta olan nükleer santrallerin kurulu gücü 399354 MW’ dır. Önümüzdeki yirmi yıllık sürede nükleer santrallerdeki elektrik üretiminin toplam elektrik üretimine oranının %1,8 azalacağı belirtilmiştir [1].

Dünyamızı kirleten sera gazı emisyonları incelendiğinde en fazla sera gazı emisyonun yaklaşık %35 oranla enerji sektöründen kaynaklandığı ve bu oranında %25’nin elektrik ve ısı üretiminden olduğu tespit edilmiştir. Şekil 1.2 de görüldüğü gibi sera gazı emisyonlarına en fazla katkıyı kömür, petrol ve doğal gaz sağlamaktadır [7, 8].



Şekil 1.2 : Kullanım alanlarına göre dünyada ki sera gazı emisyonları ve fosil yakıt kaynaklı CO₂ emisyonları.

Şekil 1.2’ de görüldüğü gibi dünyamıza en fazla karbondioksit salınımı yapan ülkeler Çin, ABD, Hindistan, Rusya, Japonya ve Almanya’dır. Ayrıca ülkemiz bu sıralamada 15. sırada bulunmaktadır [1].

Sera gazı emisyonları göz önüne alındığında enerji sektörünün bu konuda çok ciddi önlemler alması gerekmektedir. Küresel ısınmayı engellemek için kömür, petrol ve doğalgaz yerine

nükleer ve yenilenebilir enerji kaynakları yaygınlaştırılmalıdır. Ayrıca filtrasyon sistemleri geliştirilmeli ve gerekli santrallerde uygulanmalıdır [1,7].

1.2 Ülkemizde Enerji, Elektrik ve Bunların Sektörel Durumu

Ülkemizdeki enerji politikalarının hedefleri [9];

- Enerji kaynaklarının çeşitlendirilmesi ve aranmasının artırılması,
- Enerji altyapısının iyileştirilmesi,
- Enerji kaynaklarının verimli kullanılması,
- Yenilenebilir enerji kaynaklarını artırılması,
- Yerli kömür kullanımının artırılması,
- Enerji sektöründe yüksek teknolojiye sahip olma,
- Enerji sektörüne daha fazla yatırımcının ilgisini çekme,
- Milli ve yerli maden politikasını geliştirme

Her geçen gün gelişmekte olan ülkemizin enerji ihtiyacı da o oranda artmaktadır. Çizelge 1.3 de yıllara göre ülkemizde enerji kaynaklarından yararlanma değerleri verilmiştir. Bu değerlere göre 2017 yılında %30,5 ile en fazla doğal gaz ve petrol ürünlerinden yararlanılmıştır [10,11].

Çizelge 1.3 : Ülkemizdeki enerji kaynaklarından yararlanılma sırası.

	2015 (bin tep)	2015 (%)	2016 (bin tep)	2016 (%)	2017 (bin tep)	2017 (%)
Petrol ve Petrol Ürünleri	39.209	30,4	42.204	31,0	44.278	30,5
Kömür*	34.593	26,8	38.357	28,2	39.459	27,2
Doğal gaz	39.651	30,7	38.338	28,1	44.319	30,5
Jeotermal-Diğer Isı	4.805	3,7	6.034	4,4	7.128	3,5
Hidrolik	5.775	4,5	5.782	4,2	5.007	4,9
Biyoenjerji ve Atıklar**	2.937	2,3	2.843	2,1	2.531	1,7
Rüzgar	1.002	0,8	1.334	1,0	1.540	1,1
Güneş	828	0,6	917	0,7	1.091	0,8
Elektrik	339	0,3	420	0,3	-49	-112,0
Toplam	129.138		136.229		145.305	

* taş kömürü, linyit, asfaltit, kömür katranı, kok ve türetilmiş gazlar toplamını ifade etmektedir.

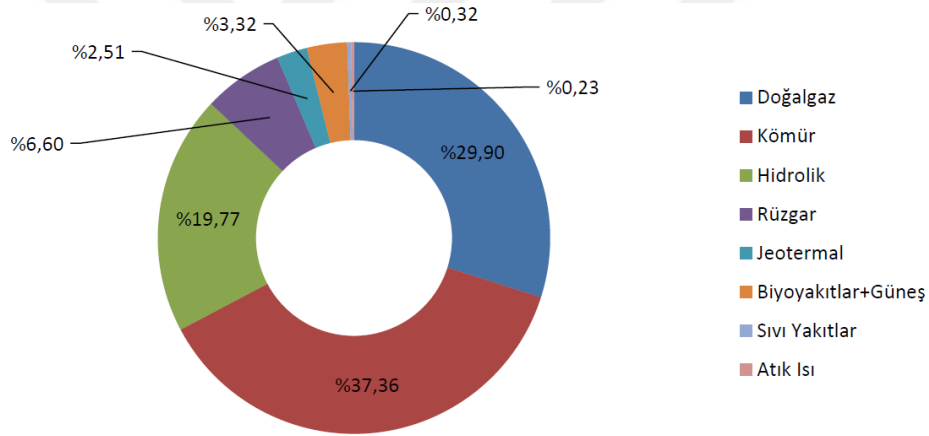
** odun, hayvansal ve bitkisel atıklar, biyoyakıtların toplamını ifade etmektedir.

Çizelge 1.4 : 2015, 2016 ve 2017 yılları için ülkemizde kişi başına düşen enerji ve elektrik tüketimi.

	2015	2016	2017	2016-2017 (değişim)
Nüfus	78.741.053	79.814.871	80 810 525	+ % 1,25
Enerji tüketimi	1.640 kep	1.707 kep	1.798 kep	+ % 5,33
Elektrik tüketimi (net)	2.760 kWh	2.875 kWh	3.059 kWh	+ % 6,40
Elektrik tüketimi (brüt)	3.325 kWh	3.438 kWh	3.672 kWh	+ % 6,80

Ülkemiz fosil enerji kaynakları bakımından doğalgaz, petrol ve taşkömüründe dışa bağımlıdır. 2017 yılı için doğalgazın tamamı ham petrolün %90'ı ve taş kömürünün %98'lik kısmı ithal edilmiştir [10].

Şekil 1.3 de 2018 yılı için ülkemizde üretilen elektriğin kaynakları belirtilmiş ve oranları gösterilmiştir. %37,36 ile kömür birinci sırada yer alırken onu %29,9 ile doğalgaz takip etmektedir. Atık ısı ve sıvı yakıtlar ise en küçük orana sahiptir [13].



Şekil 1.3 : Ülkemizde 2018 yılında üretilen elektriğin kaynaklarının oranları.

Ülkemizde özel sektöre yönelik çıkarılan yasal düzenlemeler ve teşvikler meyvelerini vermiştir. 2019 Ocak itibari ile inşası devam etmekte olan santraller ve kapasiteleri çizelge 1.5 de verilmiştir[14].

Çizelge 1.5 : İnşası devam etmekte olan santraller (Ocak 2019 itibari ile).

Yakıt/Kaynak Türü	Santral Sayısı *	İnşa halindeki Kapasite *
Doğal gaz	19	3.343,9 MW
Hidrolik	86	3.103,9 MW
İthal Kömür	3	2.925,5 MW
Rüzgâr	79	2.380,7 MW
Yerli Kömür	5	2.162,0 MW
Nükleer	1	1.200,0 MW
Biokütle	19	100,4 MW
Jeotermal	4	65,8 MW
Güneş (lisanslı)	1	10,0 MW
Fueloil	1	9,2 MW
Toplam	218	15.301,4 MW

*proje fiili gerçekleştirme yüzdesi (verilerin sağlandığı tarih itibariyle) %10'un üzerinde olanlar listelenmiştir.

Çizelge 1.6 : 2018 yılı içinde kullanıma açılan santraller.

Sıra	Santral	Santral Sahibi	Santral/Yakıt Cinsi	Şehir	Kurulu Güç (MW)
1.	Yukarı Kaleköy Barajı ve HES	Kalehan Kale Enerji Üretim A.Ş.	Hidrolik	Bingöl	626,85 (3x199,4+ 1x28,65)
2.	Çan-2 Termik Santrali	Çan Kömür ve İnşaat A.Ş.	Linyit	Çanakkale	330,0 (1x330)
3.	Yeşilyurt Enerji Samsun Merkez OSB DGKÇS	Yeşilyurt Enerji Elektrik Üretim A.Ş.	Doğalgaz	Samsun	76,49 (4x18,32 + 1x3,20)
4.	Akıncı HES	Fırat Elektrik Üretim ve Tic. A.Ş.	Hidrolik	Tokat	66,0 (2 x 33,0)
5.	Kızıldere-3 JES	Zorlu Doğal Elektrik Üretimi A.Ş.	Jeotermal	Aydın	65,51 (1x65,51)
6.	Bağlar RES	Bağlar Elektrik Üretim A.Ş.	Rüzgâr	Konya	62,70 (19x3,3)
7.	Cerit RES	Pakmem Elek. Üret. San. ve Tic. A.Ş.	Rüzgâr	K. Maraş	54,0 (15x3,6)
8.	Ardıçlı RES	Es-Yel Elek. Üretim A.Ş.	Rüzgâr	Konya	43,91 (9x3,3 + 7x2,03)
9.	Köroğlu Barajı ve Kotanlı HES	EBD Enerji Üretim ve Tic. A.Ş.	Hidrolik	Ardahan	43,8 (1x31,35 + 1x12,45)
10.	Çamseki RES	Alize Enerji Elektrik Üretim A.Ş.	Rüzgâr	Çanakkale	42,3 (18x2,35)
2018 - Toplam (186 santral)					2.318 MW

Ülkemizde inşası devam etmekte olan Akkuyu Nükleer Santrali ve yapılması planlanan Sinop Nükleer Santralının devreye alınması ile ülkemizin elektrik ihtiyacının %10'luk kısmının bu santrallerden temin edilmesi amaçlanmaktadır [15].

Çizelge 1.7 : Ülkemizdeki yerli kaynak potansiyelleri.

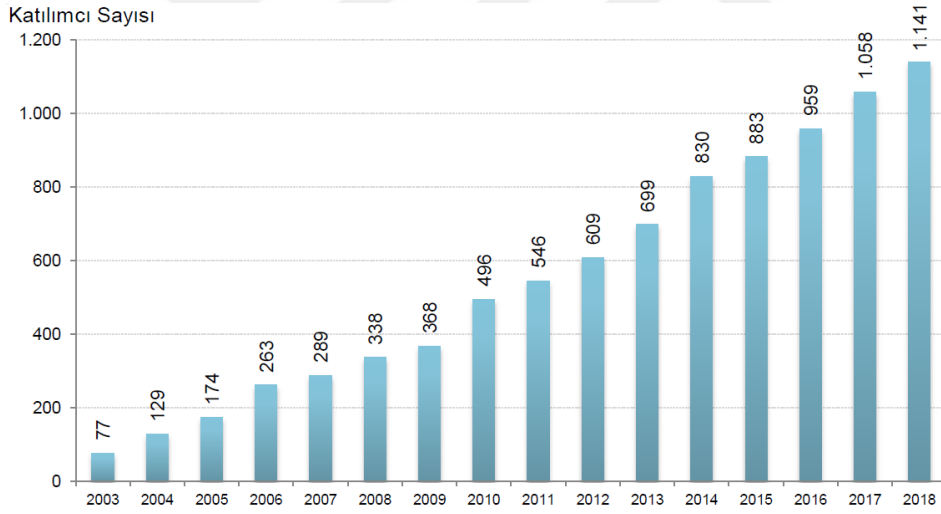
Kaynak	Potansiyel
Linyit** [77]	17,5 milyar ton
Taşkömürü** [40]	1,52 milyar ton
Asfaltit [84]	82,0 milyon ton
Ham Petrol [82]***	324 milyon varil
Bitümler [84]	1,64 milyar ton
Hidrolik [83]	140,0 milyar kWh/yıl
Doğal Gaz [82]***	4,8 milyar m ³
Rüzgâr [14,83]	48.000 MW
Jeotermal [14]	4,99 btep (2000 MW'ı elektrik üretimine elverişli)
Biokütle ve Biyogaz [83]	10,6 Mtep
Güneş Enerjisi[14,83]	1.527 kWh/m ² -yıl
Doğal Uranyum [14]	9.129 ton

Çizelgedeki bazı değerler, görünür, muhtemel ve mümkün rezervlerin toplamını vermektedir.

*** 2018 yılına ait değerdir.*

**** Üretilbilir (2017)*

Ülkemizde enerji sektörü her geçen gün hızla büyümekte ve buna paralel olarak enerji piyasasına giren katılımcı sayısı da hızla artmaktadır. 2003 ve 2018 yılları arasında enerji piyasasına katılan katılımcı sayıları şekil 1.4 de gösterilmiştir [16].



Şekil 1.4 : Yıllara göre elektrik piyasasındaki katılımcı sayıları.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Tekel (2006), bu çalışmada katı yakıtlı Yatağan Termik Santrali, Seyit Ömer Termik Santrali ve Orhaneli Termik Santrali'nin 0°C, 14,4°C, 25°C ve 40°C çevre sıcaklıklarında enerji ve ekserji analizleri yapılmıştır. Yapılan analizler sonucunda Orhaneli Termik santralının ortalama ekserji verimi %37,86, Yatağan Termik Santralının ortalama ekserji verimi %28,25 ve Seyit Ömer Termik Santrali'nin ortalama ekserji verimi %19,35 olarak hesaplanmıştır. Analizleri yapılan bu üç santraldeki ekserji verimliliklerinin farklı olmasındaki en önemli faktörün kazan olduğu belirtilmiş ve santrallerdeki en fazla ekserji kayıplarının kazanda gerçekleştiği belirtilmiştir. Ayrıca santrallerdeki kazanlarda yapılacak olan iyileştirmelerle santralin verimliliğinin artacağı vurgulanmıştır [17].

Türküzü (2008), bu çalışmada Çumra Şeker Fabrikası'nın enerji ve ekserji analizleri yapılmıştır. Fabrika içindeki ünitelerin her birinin ekserji kayıpları hesaplanarak fabrikanın genel ekserji kaybına oranlanmıştır. Enerji üretim dairesinin ekserji kaybının fabrikanın toplam ekserji kaybına oranı %70,4, buharlaştırma ünitesinin %5,5, su sisteminin %4, rafineri ve şeker kurutma ünitelerinin %3,8, ham şerbet üretim tesisinin %1,3 ve şerbet arıtım ünitesinin %0,8 olarak bulunmuştur. Verilen oranlardan da anlaşılacağı gibi fabrikada en fazla ekserji kaybının enerji üretim ünitesinde gerçekleşmiştir [18].

Regulagadda ve arkadaşları (2009), bu çalışmada 32 MW'lık kömür yakıtlı bir termik santralin analizi yapılmıştır. Sistemin enerji ve ekserji formülasyonları geliştirilmiştir. Termik santraldeki en fazla enerji kaybının kondenserde, ekserji kaybının ise kazanda olduğu belirtilmiştir. Kazandaki ekserji kaybının fazla olmasının nedenin baca gazı tarafından taşınan ısı ve baca gazındaki partiküller olduğu belirtilmiştir [19].

Geredelioğlu (2011), bu çalışmada katı yakıtlı Çayırhan Termik Santrali'nin her bir ünitesi 1 bar çevre basıncı ve 25°C çevre sıcaklığında enerji ve ekserji analizleri EES programı ile belirlenmiştir. Kazanda yakıtın yanması sonucu elde edilen enerjinin 390787,78 kJ/s olduğu ve bu enerjinin de %88'lik kısmının kızgın buhar oluşturma aşamasında suya aktarıldığı belirtilmiştir. Santralin ısı verimi %72, ikinci yasa verimi %53 olarak bulunmuştur. Ayrıca ekserji kaybındaki en önemli faktörün kazan olduğu belirtilerek kazanda yapılacak olan iyileştirmeler ile santral verimliliğinin artırılabilirliği tavsiyesinde bulunulmuştur [20].

Filiz (2012), bu çalışmada Kardemir A.Ş.'de bulunan gaz yakıtlı buhar kazanının enerji ve ekserji analizleri yapılmıştır. Bu çalışmada kazan tek ünite olarak ele alınmıştır. Kazandaki enerji kaybının 6445,5 kW, ekserji kaybının ise 21185,81 kW olduğu belirtilmiştir. Bu

değerler doğrultusunda kazanın ısı verimi %91 ekserji verimini ise %46 olarak hesaplanmıştır. Ayrıca kazanda ekserji kaybının yüksek olmasının nedenlerini yanma olayındaki kimyasal enerji, ısı enerjisi ve entalpi değerleri gibi düzensizliklerin fazla olması olarak gösterilmiştir [21].

Tontu (2013), bu çalışmada %100, %70 ve %40 kapasitede çalışmakta olan buharlı güç santralinin enerji ve ekserji hesapları yapılmıştır. Yapılan hesaplamalar sonucunda en fazla enerji kaybının kondenserde, en fazla ekserji kaybının kazanda meydana geldiği belirtilmiştir. Kazandaki ekserji kayıplarının santraldeki toplam ekserji kaybına oranı %100 kapasitede %51,9, %70 kapasitede %53,6 ve %40 kapasitede %56,1 olduğu belirtilmiştir [22].

Vuckevic ve arkadaşları (2015), bu çalışmada 33 bileşenli 70 akışlı bir endüstriyel tesisin ekserji analizi yapılmıştır. Tesisin ekserji veriminin %35,9 olduğu, tesisdeki toplam ekserji kaybının %98,28'lik kısmının kazanda ve diğer %2,72'lik kısmının diğer sistem elemanlarından kaynaklandığı belirtilmiştir. Ayrıca önlenebilir ekserji tahribatının 183,33 kW olduğu ve bu değerinde toplam ekserji kaybının %16,9'u olduğu belirtilmiştir [23].

Dinçol (2016), Bu çalışmada EES programı ile Soma B Termik Santralinin enerji ve ekserji analizleri yapılarak tüm ekipmanlar enerji ve ekserji verimliliği bakımından incelenmiştir. Bulunan değerler Santralin tasarım değerleriyle kıyaslanmış ve santralin ısı verimi ile santralin ekserji veriminde düşüş meydana geldiği belirlenmiştir. %78,39 olan santral ekserji veriminin %75,77'ye , %40,34 olan santral genel ekserji veriminin %39,24'e, düştüğü belirlenmiştir. Ayrıca yapılan çalışmada kazan, yoğunlaştırıcı ve besleme suyu ısıtıcılarında neredeyse tasarım değerlerine ulaşıldığı belirtilmiştir. Genel olarak tasarım değeri ile işletme değerleri arasında farklılıklar oluşmasının nedeni manuellik olduğu tam otomatik kontrol sistemi ile tasarım değerlerine daha da yaklaşılabilceği vurgulanmıştır [24].

Ibrahim ve arkadaşları (2016), Bu çalışmada ÇKP santralinin modellenmesi ve verimi konusunda kapsamlı araştırmalar yapılmıştır. En fazla enerji kaybının kondenserde, en fazla ekserji kaybının yanma odasında olduğu belirtilmiştir. Ayrıca santralin enerji analizinin yanında ekserji analizinin de yapılmasının işletmenin verimini artırma konusunda daha iyi fikir vereceği belirtilmiştir [25].

Erzen (2018), bu çalışmada kömür yakıtlı Kangal Termik Santralinin her bir ünitesinin enerji ve ekserji analizleri yapılmıştır. Santralin ısı verimi %32,8, ikinci yasa verimi %53,4 olarak bulunmuştur. Kazanda kömürün yanması sonucunda 467162,72 kJ/s lik enerji elde edildiği ve bununla %85,5'lik kısmı buharlaştırılan suya aktarıldığı belirtilmiştir. Santraldeki toplam

ekserji kaybının 327882,21 kW olduğu bununda 300775,71 kW'lık kısmının da kazanda meydana geldiği belirtilmiştir. Kazanda meydana gelen ekserji kaybının santraldeki toplam ekserji kaybına oranının %91,7 olduğu belirtilmiştir. Ayrıca ünitelerde yapılacak olan iyileştirmelerle santralin veriminin arttırılabileceği savunulmuştur [26].

Bayrakçeken (2019), Bu çalışmada Doğalgazlı Kombine Çevrim Santralinin enerji ve ekserji analizleri yapılmıştır. Santralin ısı verimi %47,2, gaz türbin çevrim verimi %31, buhar türbin çevrim verimi %30,5 ve santralin ekserji veriminin %45,7 olduğu belirtilmiştir. En fazla enerji kaybının kondenser ve bacada en fazla ekserji kaybının da %27,8 ile yanma odasında olduğu belirtilmiştir [27].



3. AFŞİN ELBİSTAN A TERMİK SANTRALİNİN GENEL BİLGİLERİ

Afşin Elbistan A Termik Santralının yapımına; ülkemizin artan elektrik enerjisi ihtiyacının karşılanması ve yörede bulunan Kışlaköy havzasındaki milyon ton rezervli düşük kalorili linyit kömürünün değerlendirilmesi amacıyla kurulmasına karar verilmiştir.

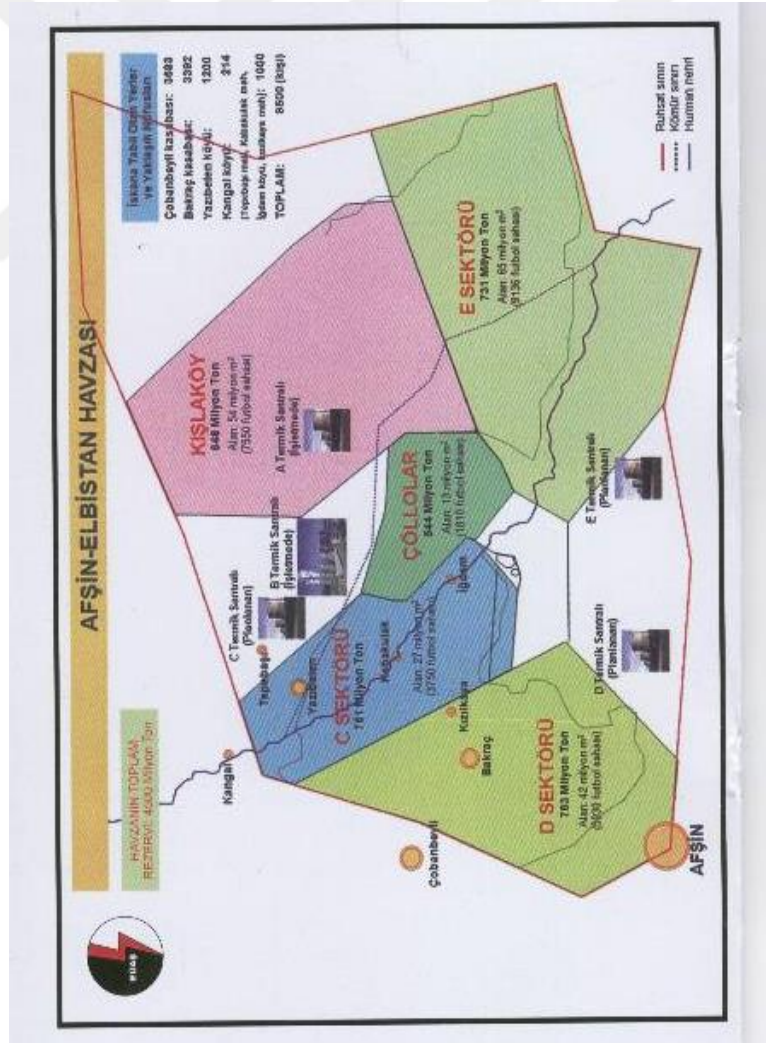


Şekil 3.1 : Santralin genel görünümü.

Santralin temeli 27.07.1975 tarihinde atılmış olup I. Ünite 07.07.1984, II. Ünite 03.05.1985, III. Ünite 25.01.1986 ve IV. Ünite 21.11.1987 yılında işletmeye alınmıştır. Bu ünitelerden 3 tanesi 340 kalan bir tanesi ise 335 MW gücündedir. Santralin toplam gücü 1355 MW' dir. Kışlaköy havzasında ki toplam linyit rezervi 4,5 milyar ton olup bu değer ülkemizdeki en büyük linyit rezervi değeridir. Kömürün kül ve nem oranının yüksek olmasına rağmen rezervin bu kadar büyük olması ve bir bölgede toplanmış olması A santralının kurulmasına imkân vermiştir.

Çizelge 3.1 : Santralin kurulu güç karakteristikleri.

İşletmenin Adı	-	Afşin-Elbistan A termik Santrali
Bulunduğu Yer	-	Afşin-KAHRAMANMARAŞ
Ünite adedi	Adet	4
Kurulu gücü	MW	3x340+1x335=1355
Yıllık Üretim kapasitesi	kWh/Yıl	8.100.000.000
Ana yakıt cinsi	-	Düşük kalorili LİNYİT
Yardımcı Yakıt cinsi	-	Motorin -Fuel-oil
Yıllık ana yakıt ihtiyacı	Ton / yıl	18.000.000
Tam yükte günlük ana yakıt iht.	Ton / gün	66.000
Yıllık yardımcı yakıt ihtiyacı	Ton / yıl	16.000
Ana yakıt stok kapasitesi (kömür)	Ton	700.000 -1.000.000
Yardımcı yakıt stok kapasitesi	Ton	2 x 10.000 = 20.000
Yakıt temin şekli		Bant sistemi
Santral genel verim	%	30



Şekil 3.2 : Kışlaköy kömür havzasının haritası.

Afşin-Elbistan A Santralı, Kışla köy bölgesinde çıkartılan linyit bantlar vasıtasıyla 1 milyon ton kapasiteli stok sahasına gönderilmektedir. Stok sahası santralin 15 günlük ihtiyacını karşılayacak niteliktedir. Değişik ısı değerindeki tabaklardan alınmış olan linyit burada harmanlanmakta ve 1050 kCal/kg ortalama değerdeki linyit bantlarla santrale verilmektedir. Santralin yakıt ihtiyacı saatte 3.000 tondur.



Şekil 3.3 : Santralin stok sahası.

Afşin-Elbistan A Santralinde yakılan linyitten elde edilen buharın sıcaklığı 535 °C ve basıncı 198 bar olup her kazanda saatte 1020 ton buhar elde edilmektedir. Bu buharla çalıştırılan buhar türbinine bağlı jeneratörlerde enerji üretilmekte, jeneratör çıkışında 21.000 volt olan gerilim transformatörle 380.000 volta yükseltilerek enterkonnekt sisteme verilmektedir.

Çizelge 3.2 : Santralin türbin karakteristikleri.

Ünite no	-	1 - 2 - 3 - 4
Yapımcı firma	-	ABB - ALSTHOM
Türbin tipi	-	D3Y 256 B
Nominal güç	kW	340.000
Maksimum güç	kW	340.000
Buhar giriş sıcaklığı	°C	535
Buhar giriş basıncı	kg/cm ²	198
Tekrar kızdırılmış buhar sıc.	°C	317
Tekrar kızdırılmış buhar bas.	kg/cm ²	40
Nominal yükte buhar tüketimi	ton/saat	1020
Devir sayısı	devir/dak	3000
Kondense vakumu	bar	0,130
Soğutma suyu miktarı	ton/saat	24
Soğutma suyu sıcaklığı	°C	22-36
Isı sarfiyatı	kCal/kWh	2291
Türbin verimi	%	36,7



Şekil 3.4 : Alçak Basınç Türbini'nin görünümü.

Çizelge 3.3 : Santralin jeneratör karakteristikleri.

Ünite no	-	1 - 2 - 3 - 4
Yapımcı firma	-	BBC
Jeneratör tipi	1-2-3	WTAF 12 - 094 m
	4	WTAF 12-094
Gücü	MVA	3 x 382.533 + 1 x 372.2
Gerilimi	V	21000
Frekansı	Hz	50
Devir sayısı	devir/dak	3000
İkaz gerilimi	V, A	745 / 2247
	V, A	457 / 2495
Soğutma sistemi	-	Stator sargıları su ile, Rotor sargıları hidrojenle
Jeneratör verimi	%	98,85



Şekil 3.5 : Santralin turbo-jeneratör grubu.

Santralin ihtiyacı olan katma ve soğutma suyu Elbistan' da ki Ceyhan nehri kaynağından alınmaktadır. Her biri 1 metre çapında ve 30 km uzunluğunda 2 çelik boru hattı ile karşılanmakta olup, MWh başına su ihtiyacı 4 m^3 tür. Santralin su ihtiyacı ise saatte 5400 ton dur.



Şekil 3.6 : Santralin ham su havuzu.

Soğutma suyu çevrimi türbinde iş görmüş buharı soğutmak yardımcı soğutma suyu sistemi üzerinden yardımcı teçhizatları soğutmak için kullanılır. Bu çevrimdeki su hacmi 2500 m^3 'dür. Soğutma suyunun soğutma kulesinden buharlaşma neticesi kazanda üretilen ısının $2/3$ 'ü gibi kısmı çevre havasına atılmaktadır.

Çizelge 3.4 : Kazan katma ve soğutma suyu sistem karakteristikleri.

Kazan katma suyunun temin edildiği yer	-	Su Tasfiye
Kazan katma suyunun temin edildiği mesafe	(m)	500
Günlük sarfiyat Miktarı (Saf su)	(m^3)	1600
Kondense soğutma suyu temin edildiği yer	-	Elbistan İlçesi
Temin edildiği Mesafe	(m)	30.000
Günlük soğutma suyu İhtiyacı (Toplam)	(m^3)	$5400 \times 24 = 129.600$
Soğutma suyu Kule sayısı	Adet	4
Soğutma suyu Kule Tipi	-	Tabii sirkülasyonlu
Soğutma suyu Buharlaşma Miktarı (Grup bazında)	(t/h)	750
Soğutma Suyu Pompa Adedi ve Pompa Kapasitesi	(m^3/h)	2 Adet 15.000
Yapımcı Firma	-	Bran- Lübbe

Linyitin yanması sonucu meydana gelen kül bantlarla kazı sahasına geri gönderilmekte olup kömürden boşalan yerler doldurulmaktadır. Sonrasında doldurulan bu alanların üstü toprakla örtülerek ağaçlandırma çalışması yapılmaktadır.

Külün bacaya giden bölümü elektrostatik tutucularda %99 oranında tutulmakta 145 metre baca yüksekliği ile meteorolojik ve coğrafi şartların da etkisi ile çıkan kül çevreye bir zarar vermeyecek mertebeye indirilmektedir.

Kimyevi maddeler ihtiva eden artık su nötralizasyona tabi tutulduğundan herhangi bir zararlı madde ihtiva etmemektedir.

Buhar kazanları düşük ısı değerli linyit kömürü yakılan cebri sirkülasyonlu "BENSON" tipidir.

Çizelge 3.5 : Santralin kazan karakteristikleri.

Ünite no	-	1 - 2 - 3 - 4
Yapımcı firma	-	Babcock, steinmüller, Wkv
Kazan tipi	-	Cebri sirkülasyonlu tek geçişli Benson
Nominal debi	ton/saat	1020
Maksimum debi	ton/saat	1020
Buhar çıkış sıcaklığı	°C	535
Buhar çıkış basıncı	kg/cm ²	198
Tekrar kızdırılmış buhar sıc.	°C	317
Tekrar kızdırılmış buhar bas.	kg/cm ²	42,4
Besleme suyu eko giriş sıcak.	°C	360
Besleme suyu eko giriş basıncı.	kg/cm ²	255-246
Dizayna esas ana yakıt cinsi	-	Linyit
Dizayna esas ana yakıt alt ısıl.	kCal/kg	950-1600
Dizayna esas ana yakıt kül or.	%	12-21
Dizayna esas ana yakıt nem or.	%	64
Nominal yükte ana yakıt tük.(4.ünite)	ton/saat	3.000
Yardımcı yakıt cinsi	-	Motorin - Fuel-oil
Hava ısıtıcısı çıkışı gaz sıc.	°C	170 - 190
Ana yakıt yakıcısı sayısı	Adet	4 x 6 = 24
Yardımcı yakıt yakıcısı sayısı	Adet	4 x 6 = 24
Değirmen sayısı	Adet	4 x 6 = 24
Hava ısıtıcısı tipi	-	Luvo
Su ve buhar devresine katılan kimyasal maddeler	-	Hidrazin, Amonyak, Sodyum hidroksit, Sülfirik asit
Kazan verimi	%	83,64



Şekil 3.7 : Santralin kazan ve bacalarının dışarıdan görünümü.

Santralde kullanılan kömür tipi düşük kalorili linyit kömürüdür. Santralin kömür ihtiyacı Kışlaköy kömür havzası Afşin Elbistan Linyitleri kömür stok sahasından temin edilmektedir.

Çizelge 3.6 : Santralin kömür karakteristikleri.

Alt ısıl değer	950-1500 kCal/kg
Nem	% 45 – 50
Kül	% 15 – 28
Sülfür	% 2,2 maksimum
Külün ergime sıcaklığı	1.000-2.500 °C
Garanti edilen değerler	
Alt ısıl değer	1.150 kCal/kg
Nem	52%
Kül	200 gr/1.000 kcal
Sülfür	% 2 (Maksimum)
CaO	% 45
Analiz	
Kül	% 19,89
Karbon	% 17,08
Hidrojen	% 1,34
Sülfür	% 2,00
Nitrojen	% 0,51
Oksijen	% 7,18
Su	% 52,00

AEL açık işletmesinden alınan linyit kömürü 4900 ton/h kapasiteli iki adet konveyör vasıtasıyla ana kömür bunkerlerine depolanır. Bunker altı vibrasyonlu 4 adet çıkarıcılar vasıtasıyla kırıcılara gelen kömür 0-60 mm ebatlara kadar kırılır. Bu arada içerisinde bulunan taş, tahta, vs. gibi maddeler ayrılır. Yine kömür içerisinde karışmış olabilecek metal malzemeler manyetik seperatörler vasıtasıyla ayrılır. Buraya kadar olan kısım kömür kırma binasında olan işlemlerdir. Alınan numuneler laboratuvarlarda incelenerek kömürün nemi, CaO, kalori ve kül oranı tespit edilir.



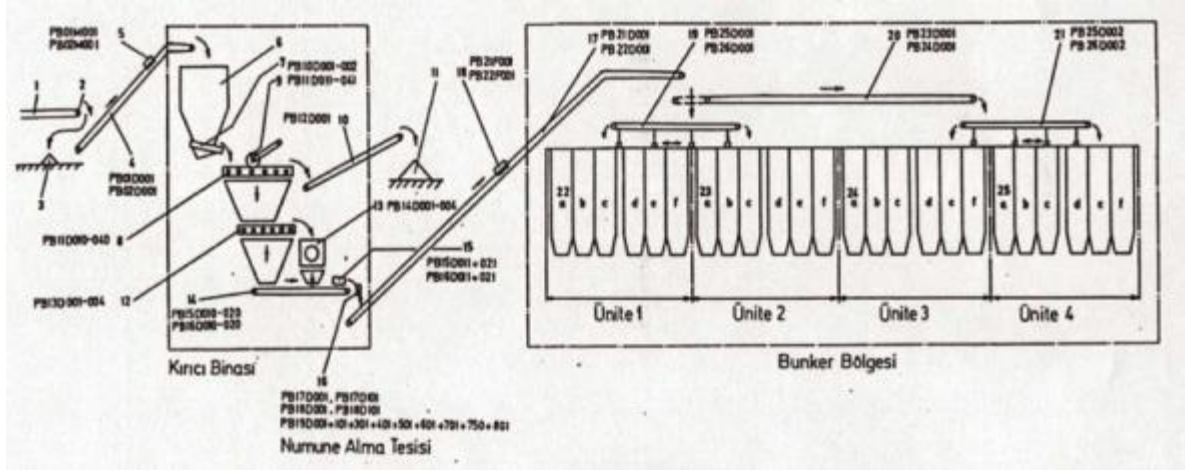
Şekil 3.8 : Santralin kömür kırma binası.

Kömür kırma binasından sonra yine kömür 4000 t/h kapasiteli iki konveyör vasıtasıyla ünitelerin bunkerlerine gönderilir. Dört ünite mevcut olması nedeniyle her üniteye her biri 495 m³ kapasiteli 6 adet bunker mevcuttur. Bunker altındaki blendomat ismi ile tabir edilen kollu çıkarıcılar vasıtasıyla kömür çıkarılır. Konveyörlere yüklenerek kömür öğütmede kullanılan değirmenlere gelir. Burada 0-2 mm ebatlara kadar öğütülür, aynı zamanda içerisindeki nemi ayrıştırmak için kurutulur.

Değirmen çıkışındaki fan vasıtasıyla ana kömür yakıcıları ve brüden (buhar ayrıştırıcıları) sistemlerine gelir. Burada kömür tozları elektro-statik olarak tutulur. Brüden filtrelerinden çıkan kuru toz kömür ısıl değeri yükseltilmiş olarak kazana verilmektedir. Bu yakıt toplam miktarının % 30' udur.

Brüden bunkerlerinde toplanan kömür çıkarıcılar ve bir hat vasıtasıyla kazana gönderilir. Kömürün içindeki nemin alınmasıyla kalorisi de zenginleştirilmiş olur. Kazanda kömürün yanması için gerekli olan hava, hava fanları ile sağlanır. Kazanda kömür yakılmaya başlamadan önce kazan sıvı yakıtla (Motorin ve Fuel-oil) ile ateşlenir.

Kömür TKI park sahasından 95–96–97 nolu bant konveyörlerle alınarak 98–99 nolu konveyörlere aktarılır. Bu konveyörlerin tahrik ve boşaltma kasnakları transfer noktasından büyük taş parçalarını ayıran bir oluk vardır. Burada karşı duvara çarpan büyük parçalar bir oluktan geçerek bir bantla dışarı atılır.



Şekil 3.9 : A Santrali'nin kömür alma akış şeması.

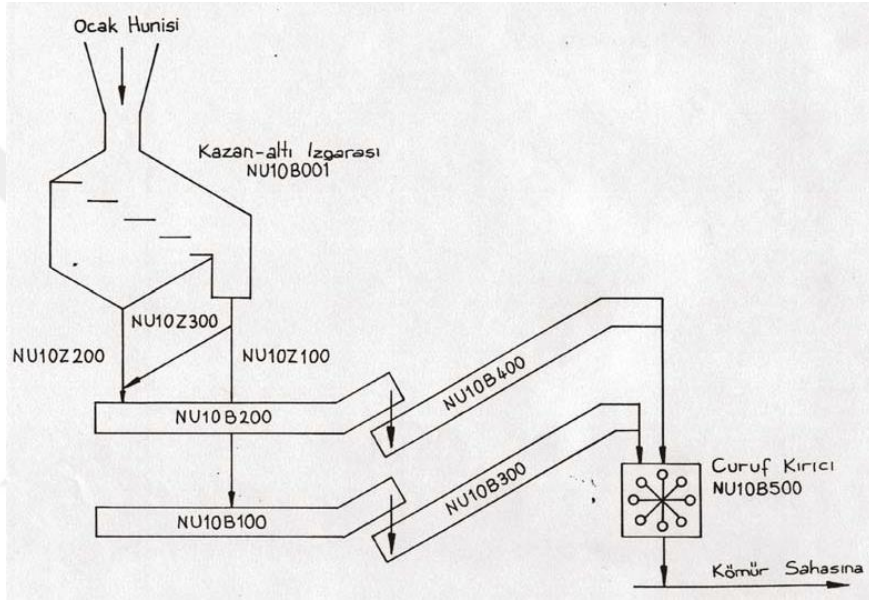
Çizelge 3.7 : Santralin kömür alma sistem karakteristikleri.

Günlük ortalama kömür ihtiyacı	66.000 ton
Kömürün temin edildiği kuruluş	EÜAŞ AEL İşletme Müdürlüğü
Kömürün İşletmemiz bantlarına nakil şekli	Bantla
Kazan üstü kömür bunkerlerine kadar tek hat konteynır ve bant uzunluğu	2010 m
Kömür park sahası ve sistemin yapımçı firması	PHB
Değirmen adedi	4
Değirmen tipi	Çarpma çekiçli
Değirmen kapasitesi	2000 ton/saat
Değirmen yapımçı firması	KRUPP

Diğer kömürler ise her biri 4900 t/h kapasitede ki bant konveyörleri ile kırıncı binasındaki +38,5 metre kotundaki ana bunkere iletilir. Bu iki bant konveyörü üzerine kömür içerisinde bulunan metal parçalarını göstermesi için metal detektörler yerleştirilmiştir. Detektörler bant üzerindeki metal parçaları tespit ederek kömür üzerine boya püskürtür ve bantı otomatik olarak durdurur. Sonra metal parçalar elle alınır. Kırıncı binasındaki ilk hatta geçiş bunkerinin kapasitesi 1900 m³'tür. Kırıncı binasına ana bant konveyörleriyle gelen kömürler bu bankere dökülerek dört kola ayrılır. 2000 t/h' lik kapasiteli dört vibrasyonlu besleyiciler kömürün bunkerden kolayca alınarak üst döner eleklerle düzgün bir şekilde dökülüşünü sağlar. Bu elekler 0- 200 mm iriliğindeki kömürleri geçirir. Üst döner eleklerin üzerine yerleştirilmiş

döner kırıcılar tarafından 200mm' den büyük kömür parçaları 200 mm' nin altına indirilir. Kırılmış parçalarda aynı şekilde üst döner eleklerden geçer. Döner kırıcıda kırılmayarak kurtulan ağaç ve taş parçaları üst döner eleklerden taş konveyörü ile kırıcı binası dışında bir yere biriktirilir.

Pnomatik kül atma tesisi, yanma sırasında ortaya çıkan uçucu külü basınçlı hava yardımıyla bir kül toplama bunkerine taşımaya yarar. Bunun için kazan acık geçişinde, elektro filtrelerde ve bacada biriken uçucu kül, önce iki elektro filtre arasındaki ara bunkere gelir. Burada kül toplama bunkerine iletilir. Ara bunkerin kapasitesi 70 m³ tür.



Şekil 3.10 : Santralinde kül ve cüruf taşınmasının şematik gösterimi.

4. BUHARLI GÜÇ ÇEVİRİMLERİ

Isı enerjisini belli bir termodinamik çevrim ile işe dönüştüren sistemlere ısı makinesi adı verilir. Bu ısı makinelerinde iç enerjisinden yararlanılan akışkana iş yapan akışkan denilmektedir. İş yapan akışkan belirli bir başlangıç halinde hareketle çeşitli ara hallerden geçtikten sonra yeniden başlangıçtaki haline döner bu tür ısı makinelerine kapalı devreli makineler denir. Açık devreli makinelerde ise iş yapan akışkan gazdır ve bu gaz yakıtın havayla karıştırılarak yakılması sonucu elde edilir. Elde edilen bu gaz iş yaptıktan sonra doğrudan atmosfere yanma ürünleri şeklinde verilir [28].

Akışkanlar çevrim boyunca faz değişikliğine uğruyorsa bir buhar makinesi çevrimi, uğramıyorsa gaz makinesi çevrimidir. Buhar makinelerinde genellikle iş yapan akışkan olarak su kullanılmaktadır.

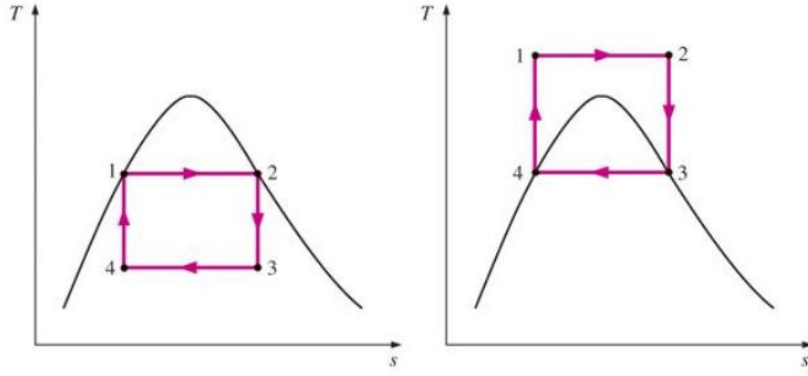
Buharlı güç çevrimleri temelde türbin, kondenser, pompa, kazan ve ısıtıcılardan oluşur. Bu güç çevrimleri incelenirken bazı varsayımlar yapılır. Bunlar [28]

- Kazanda ısı transferinin sabit basınçta gerçekleştiği
- Kondenserde sabit basınçta yoğuşma olduğu
- Pompada akışkanın izantropik olarak sıkıştırıldığı
- Türbinde akışkanın izantropik genişlediği
- Isıtıcılarda gerçekleşen ısı taşınımının tersinir olduğu

Kinetik ve potansiyel enerjideki değişimlerin ihmal edilebilir düzeyde olacağı varsayılacaktır [28].

4.1 Carnot Buhar Çevrimi

Belirli iki sıcaklık sınırı arasında en verimli çevrim olmasına rağmen bu çevrim buharlı güç santralleri için uygun bir çevrim değildir.



Şekil 4.1 : İki Carnot çevrimi T-s diyagramı.

- 1-2 Kazanda izotermal ısı geçişi
- 2-3 Türbinde izantropik genişleme
- 3-4 Kondenserde izotermal yoğuşma
- 4-1 Kompresörde izantropik sıkıştırma

Carnot Buhar Çevriminin Buharlı Güç Santralleri İçin Uygun Olmamasının Nedenleri;

1-2 Hal değişimi: Çevrimde kullanılacak en yüksek sıcaklığı önemli ölçüde kısıtlar (bu değer su için 374 C° 'dir). Çevrimin en yüksek sıcaklığının bu şekilde sınırlandırılması ısı verimi de düşürecektir.

2-3 Hal değişimi: Türbindeki genişleme sırasında buharın kuruluk derecesi azalır ve bu nedenle oluşan su zerrecikleri türbin kanatlarına çarparak aşınmalara ve yıpranmalara neden olur

4-1 Hal değişim: Sıvı-Buhar karışımının doymuş sıvı haline sıkıştırılması gerekmektedir. Bu işlemle alakalı iki problem mevcuttur. Birincisi, yoğuşmanın 4 halinde istenen kuruluk derecesine sahip olarak son bulacak şekilde hassas olarak kontrol edilmesi kolay değildir. İkincisi, iki fazlı akışkanı sıkıştıracak kompresörün tasarlanamamış olmasıdır [28].

4.2 Rankine Buhar Çevrimi

Carnot buhar çevriminde karşılaşılan zorlukların birçoğu suyu kazanda kızgın buhar haline ısıtarak ve yoğuşturucuda doymuş sıvı haline yoğuşturarak yok edilebilir.

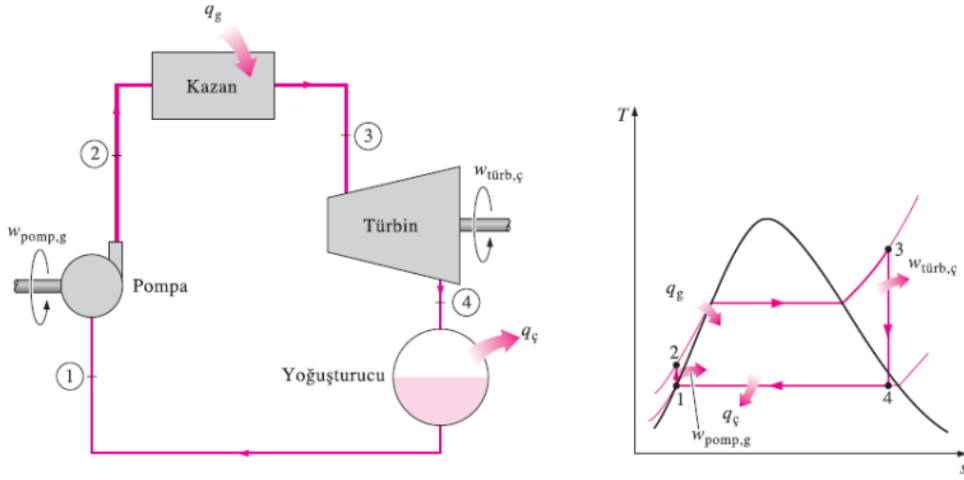
4.2.1 Basit ideal Rankine çevrimi

İdeal Rankine çevriminde içten tersinmezliğin olmadığı 4 hal değişimi vardır:

- 1-2 Pompada izantropik sıkıştırma
- 2-3 Kazandan, sisteme sabit basınçta ısı geçişi

3-4 Türbinde izantropik genişleme

4-1 Yoğuşturucuda, sistemden sabit basınçta ısı atılması



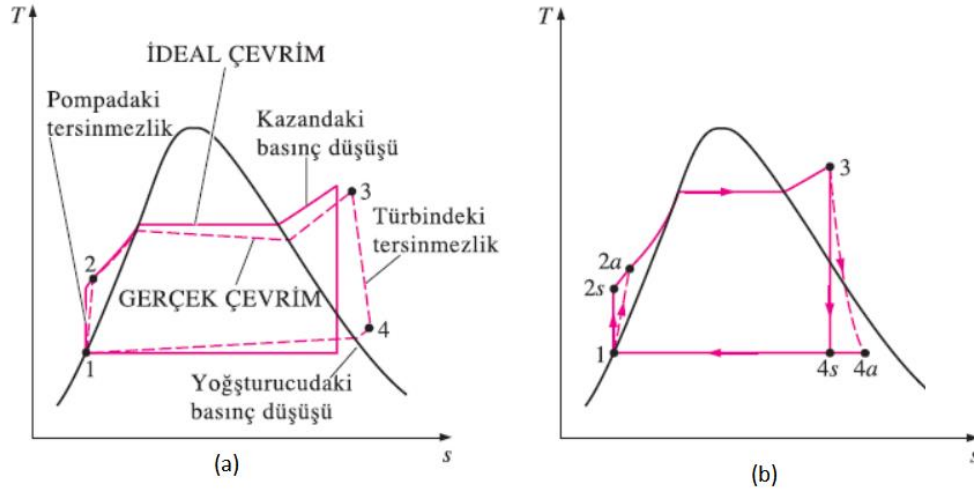
Şekil 4.2 : Basit ideal Rankine çevrim sistemi ve T-s diyagramı.

4.2.1.1 Gerçek buhar çevriminin ideal Rankine çevriminden farkı

Gerçek buharlı güç çevrimi tersinmezliklerden dolayı ideal Rankine çevriminden farklıdır. Sistemdeki sürtünmeler ve istenmeyen ısı kayıpları tersinmezliklerin başlıca kaynaklarıdır.

Sistemdeki sürtünmelerden dolayı sistemde bir basınç kaybı yaşanacaktır. Basınç düşmelerini karşılamak için su ideal çevrimde belirtilenden daha yüksek bir basınca pompalanmak zorundadır. Bu da daha büyük bir pompa ve daha çok pompa işi gerektirmektedir.

Tersinmezliklerin diğer bir ana kaynağı sistemdeki istenmeyen ısı kayıplarıdır ve net işin aynı kalabilmesi için kazanda buhara ısı kayıplarını karşılayacak kadar fazladan ısı verilmesi gerekmektedir. Bu da ısı veriminin azalmasına neden olacaktır [28].



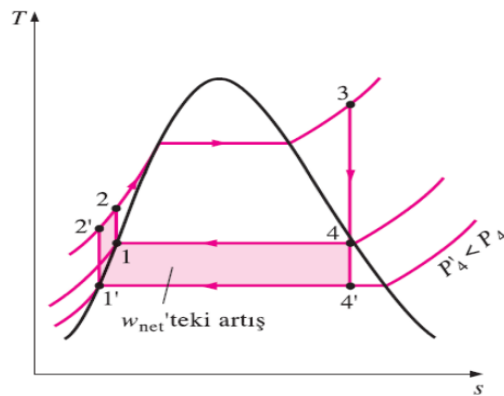
Şekil 4.3 : (a) Gerçek buhar çevriminin T-s diyagramında ideal Rankine çevriminden farklılığı, (b) pompa ve türbindeki tersinmezliklerin ideal Rankine çevrimi üzerindeki etkileri.

4.2.1.2 Rankine buhar çevriminin veriminin artırılması

Dünyadaki elektrik üretiminin büyük kısmının buharlı güç santrallerinde yapıldığı düşünüldüğünde bu çevrimin veriminin azda olsa artırılmasının ne büyük öneme sahip olduğu anlaşılmaktadır.

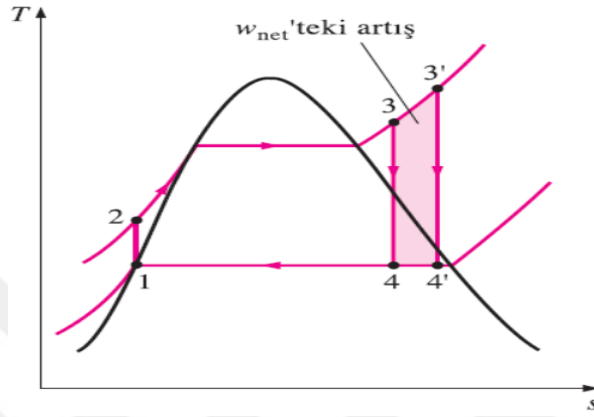
Bir güç santralının verimini arttırmaya yönelik tüm düşüncelerin temelini, kazanda aracı akışkana ısı verilen ortalama sıcaklığın artırılması ve yoğşturucuda aracı akışkandan ısı çekilen ortalama sıcaklığın düşürülmesi oluşturur. Bu düşüncüyü gerçekleştirebilmenin üç yolu vardır ve bunlar;

- 1. Yoğşturucu basıncının düşürülmesi:** Yoğşturucudaki su buharı yoğşturucu çalışma basıncına karşı gelen doymuş sıvı buhar karışımıdır. Bu nedenle yoğşturucu basıncının düşürülmesi aynı zamanda akışkanın sıcaklığını düşürecektir ve bu da çevrimden çekilen ortalama sıcaklığın düşmesine neden olacaktır.



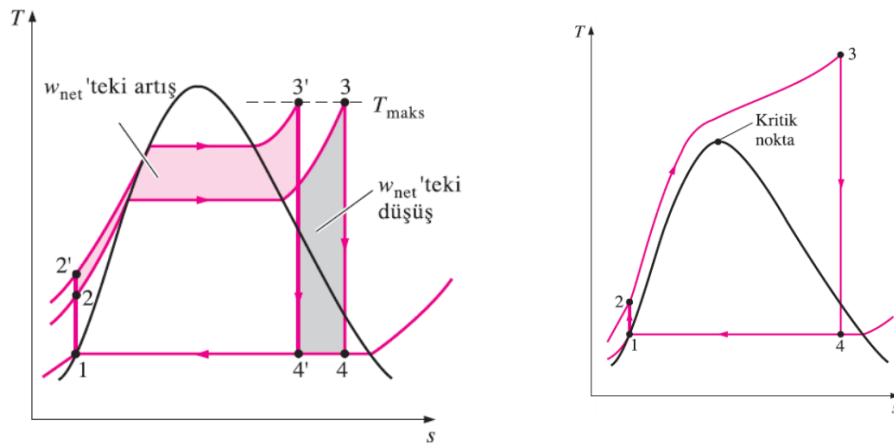
Şekil 4.4 : Yoğşturucu basıncının düşürülmesinin ideal Rankine çevrimine etkisi.

2. **Buharın Kızdırılması:** Kazan basıncı sabit tutularak su buharı buhar bölgesinde daha yüksek sıcaklıklara kadar ısıtılabilir. Böylece hem çevrime verilen ısı hem de net iş artmaktadır. Bununla birlikte toplam ısıl etki verimi artma yönündedir, çünkü çevrime ısı verilen ortalama sıcaklık yükselmektedir. Diğer yandan buharın daha yüksek sıcaklıklara ısıtılması türbin çıkışında buharın kuruluk derecesini arttıracığından çevrime olumlu etki yapacaktır.



Şekil 4.5 : Buharın kızdırılmasının ideal Rankine çevrimine etkisi.

3. **Kazan basıncının artırılması:** Çevrime ısı verme sırasında akışkanın ortalama sıcaklığının artırmasının bir yolu da kazanın çalışma basıncının artırılmasıdır. Kazan basıncı yükselince akışkanın buharlaşma sıcaklığı da (doyma sıcaklığı) kendiliğinden artacaktır. Böylece su buharına ısı verilen ortalama sıcaklık ve buna bağlı olarak çevrimin ısıl verimi de artacaktır. Günümüzde buharlı güç santralleri kritik basıncın üzerindeki basınçlarda ($P > 22.09$ MPa); fosil yakıtlı santrallerde yaklaşık %40, nükleer santrallerde ise %34 ısıl verimle çalışmaktadır [28].

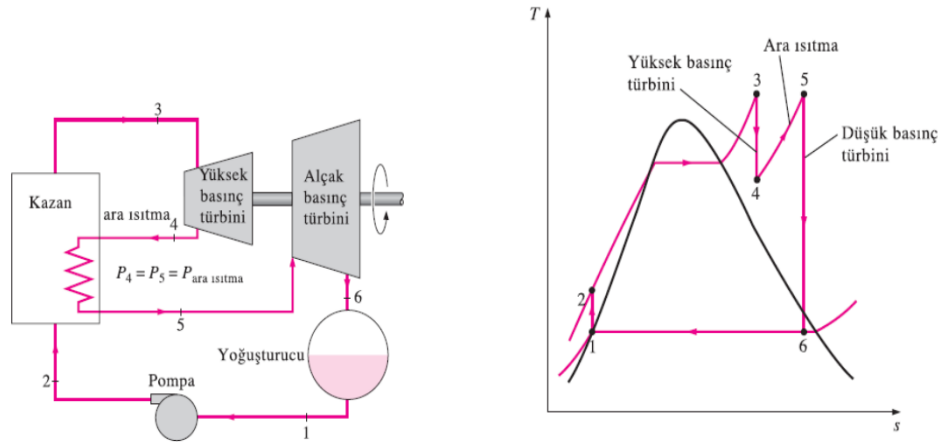


Şekil 4.6 : Kazan basıncının artırılmasının ideal Rankine çevrimine etkisi ve kritik basınç üstünde çalışan Rankine çevrimi.

4.2.2 İdeal ara ısıtmalı Rankine çevrimi

Kazan basıncının arttırılması Rankine çevriminin ısıl verimini arttırırken diğer yandan türbin çıkışında akışkanın kuruluk derecesini kabul edilemez ölçüde düşürecektir. Bu problemde Rankine çevrimine ara ısıtma eklenerek çözülebilmektedir.

Genişlemenin iki kademede olduğu bir çevrimde, buhar türbinde bir ara basınca kadar genişledikten sonra (yüksek basınç kademesi) yeniden kazana gönderilerek ısıtılmaktadır. Buharın ikinci kademeye giriş sıcaklığı genellikle birinci kademeye giriş sıcaklığıyla aynıdır. Buhar daha sonra türbinin ikinci kademesiyle (alçak basınç türbini) yoğuşturucu basıncına kadar genişlemektedir. Böylece ara ısıtmalı çevrimde, buhara verilen toplam ısı ve türbinde yapılan toplam iş artmaktadır.



Şekil 4.7 : İdeal ara ısıtmalı Rankine çevrimi ve T-s diyagramı.

İdeal Rankine çevrimine bir kademe ara ısıtıcı eklenmesi çevrimin verimini %4-5 arttırmaktadır. İkinci kademe ara ısıtma eklenmesi durumunda çevrimin verimi, birinci kademenin eklenmesiyle artan verimin yarısı kadar artacaktır. İki'den fazla ara ısıtma eklenmesi ekonomik açıdan uygun değildir.

Ara ısıtmanın sistemdeki tek amacı türbin çıkışındaki buharın kuruluk derecesini arttırmaktır. Eğer sistem elemanları yüksek sıcaklıklara dayanabilecek şekilde tasarlanabilseydi ve imal edilebilseydi ara ısıtmaya gerek kalmazdı [28].

4.2.3 İdeal ara buhar almalı Rankine çevrimi

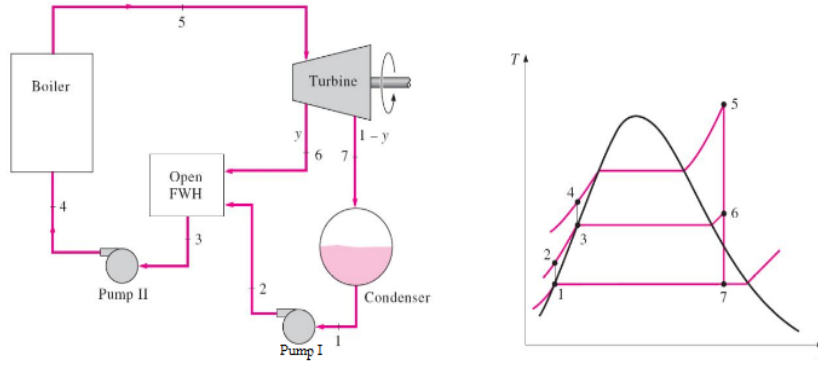
Türbinde genişleyen buharın bir bölümünün belirli noktalardan türbinden dışarıya alınması ve bu alınan ara buhar ile kazan besleme suyunun ısıtılması mümkündür. Bu işleme ara buhar alma veya rejenerasyon adı verilir. Kazan besleme suyunun, türbinden ayrılan buharla ısıtıldığı ısı değiştiricilere ise besleme suyu ısıtıcısı veya jeneratör denir.

Ara buhar alma, sistemin verimini arttırmının yanı sıra kazan besleme suyuna yoğunlaştırucuda karışmış olan havanın atılması içinde olanak sağlar. Havanın bu yolla atılmasıyla kazanın paslanmasının da önüne geçilmiş olur. Ara buhar almanın diğer bir yararı da türbindeki genişlemenin son aşamalarında özgül hacimdeki artışlardan dolayı oluşan yüksek hacimsel debileri denetim altına alabilmektir.

Besleme suyu ısıtıcısı esas olarak, iki akışkanın doğrudan karışarak (açık besleme suyu ısıtıcısı) veya birbirine karışmadan (kapalı besleme suyu ısıtıcısı) ısı alışverişinde buldukları bir ısı değiştiricisidir [28].

1- Açık Besleme Suyu Isıtıcıları

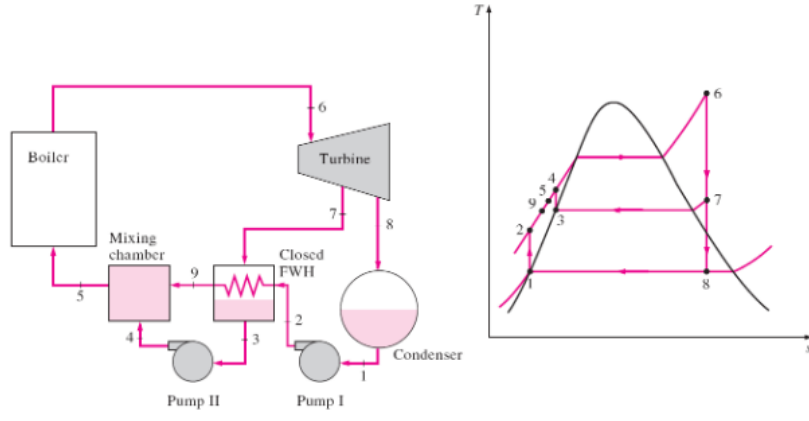
Temelde türbinden çıkan buharla pompadan çıkan besleme suyunun karıştığı bir karışım odasıdır. İdeal durumda karışım ısıtıcısından, ısıtıcı basıncında doymuş sıvı olarak çıkar.



Şekil 4.8 : Tek besleme suyu ısıtıcısı olan ideal ara buhar almalı Rankine çevrimi ve T-s diyagramı.

2- Kapalı Besleme Suyu Isıtıcıları

Bu sistemde türbinden ayrılan buharla kazan besleme suyuna olan ısı geçişi, akışlar birbirine karışmadan gerçekleşir. Karışma olmadığından iki akış farklı basınçlarda olabilir. Kapalı besleme suyu ısıtıcıları, içlerindeki boru düzeneği nedeniyle daha karmaşık ve maliyetlidir. Akışlar doğrudan temas etmediklerinden kapalı besleme suyu ısıtıcılarındaki ısı geçişi daha az etkindir.



Şekil 4.9 : Kapalı besleme suyu ısıtıcısı olan ideal ara buhar almalı Rankine çevrimi ve T-s diyagramı.

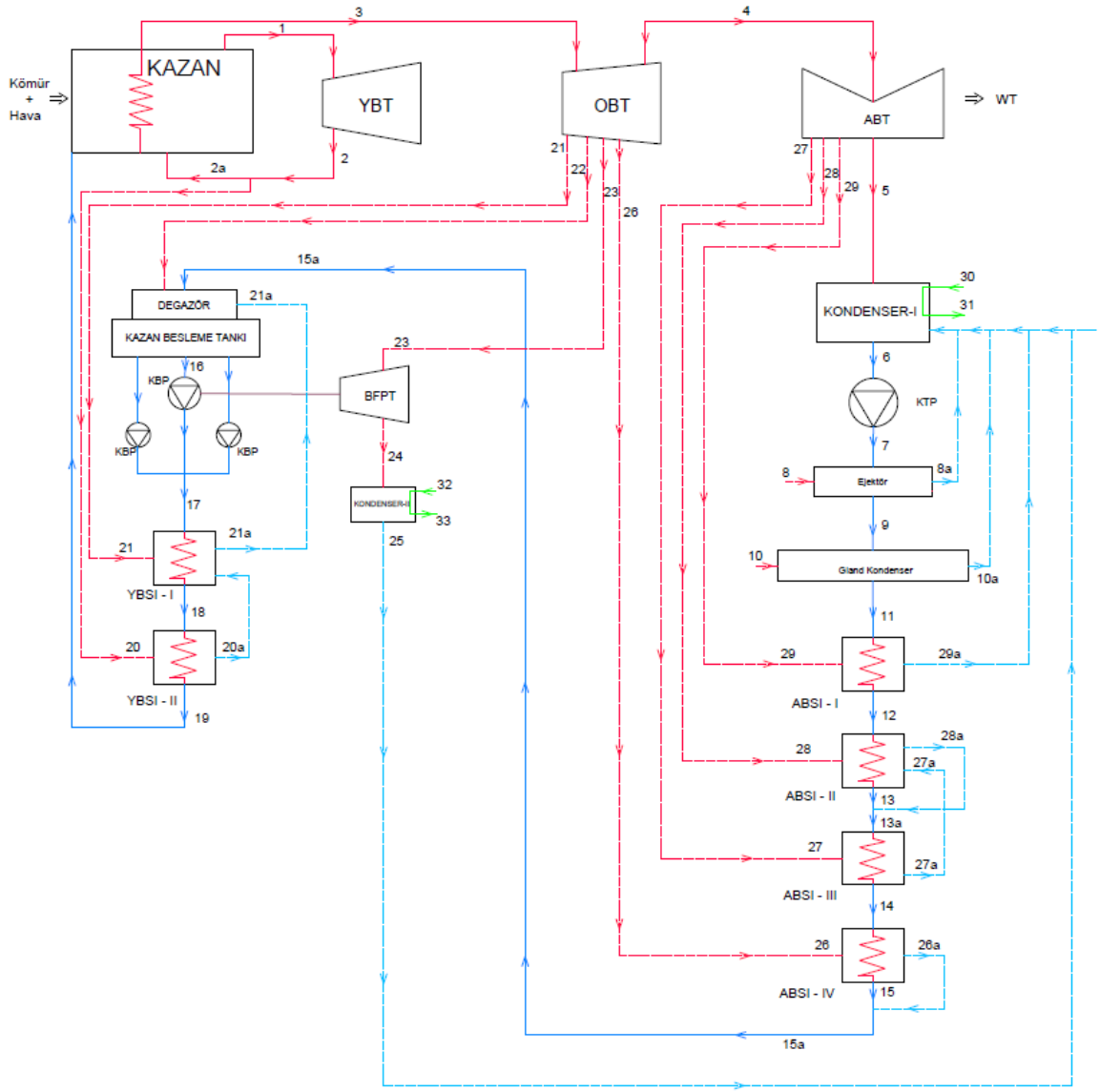
5. A SANTRALİNİN ENERJİ VE EKSERJİ HESAPLAMALARI

Hesaplamalara başlamadan önce A santralının şematik çizimi yapılmış ve düğüm noktaları belirlenmiştir. Belirlenen düğüm noktalarının termodinamik özellikleri o noktadaki sıcaklık ve basınç değerlerine göre belirlenmiştir.

Sistemde bazı düğüm noktalarında sensor bulunmamasından o noktalarda ki değerler tablolardan okunamamıştır. Okunamayan bu değerler işletmede görev yapan personeller tarafından yaklaşık değerler olarak belirtilmiştir ve hesaplamalar bu değerlere göre yapılmıştır.

Ayrıca hesaplamalar yapılırken bazı varsayımlar yapılmıştır ve bu varsayımlar aşağıdaki gibidir;

- Kazanda ısı transferinin sabit basınçta gerçekleştiği
- Kondenserde sabit basınçta yoğuşma olduğu
- Pompada akışkanın izantropik olarak sıkıştırıldığı
- Türbinde akışkanın izantropik genleştiği
- Isıtıcılarda gerçekleşen ısı taşınımının tersinir olduğu
- Kinetik ve potansiyel enerjideki değişimlerin ihmal edilebilir düzeyde olacağı varsayılacaktır.

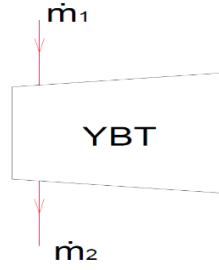


Şekil 5.1 : A Santralinin enerji ve ekserji dönüşüm şeması.

Çizelge 5.1 : A Santralinin düğüm noktalarına ait termodinamik özellikler.

Noktalar	Sıcaklık [°C]	Sıcaklık [K]	Basınç [Bar]	Basınç [kPa]	Debi [ton/h]	Debi [kg/s]	Entalpi [kJ/kg]	Entropi [kJ/kgK]
0	25	298,15	1	100	-		104,833	0,3672
1	530	803,15	181	18100	983	273,06	3359,17	6,3335
2	319,9	593,05	42,9	4290	894	248,33	3007,51	6,4136
2a	319,9	593,05	42,9	4290	983	273,06	3007,51	6,4136
3	530	803,15	38,4	3840	894	248,33	3516,08	7,1993
4	276,2	549,35	6,04	604	721	200,28	3011,96	7,2816
5	38,1	311,25	0,0666	6,66	610	169,44	2570,14	8,2917
6	38,1	311,25	0,0666	6,66	704	195,56	159,6	0,5469
7	38,1	311,25	19,5	1950	704	195,56	161,74	0,5476
8	319,9	593,05	42,9	4290	0,3	0,08	3007,51	6,4136
8a	65	338,15		0	0,3	0,08	2617,51	7,8295
9	38,2	311,35	19,5	1950	704	195,56	161,76	0,5476
10	200,1	473,25	1	100	0,7	0,19	2875,67	7,8359
10a	183	456,15		0	0,7	0,19	2779,78	6,5603
11	38,4	311,55	19,5	1950	704	195,56	162,2	0,549
12	68	341,15	19,5	1950	704	195,56	286,22	0,9293
13	93	366,15	19,5	1950	704	195,56	391,03	1,2258
13a	93,3	366,45	19,5	1950	777	215,83	392,29	1,2293
14	124,3	397,45	19,5	1950	777	215,83	523,27	1,5724
15	156	429,15	19,5	1950	777	215,83	659,04	1,901
15a	156,2	429,35	19,5	1950	823	228,61	659,9	1,903
16	176,3	449,45	9,39	939	984	273,33	746,88	2,1035
17	181,4	454,55	267	26700	984	273,33	782,86	2,1196
18	214,6	487,75	267	26700	984	273,33	927,73	2,4271
19	253,1	526,25	267	26700	984	273,33	1101,53	2,77
20	318,4	591,55	42,9	4290	89	24,72	3003,42	6,4066
20a	251,4	524,55		0	89	24,72	1090,55	2,8025
21	437	710,15	20,56	2056	51	14,17	3328,72	7,2329
21a	211,3	484,45		0	140	38,89	902,29	2,4341
22	333,4	606,55	9,39	939	21	5,83	3124,23	7,2761
23	340	613,15	9,48	948	55	15,28	3138,02	7,2944
24	42,7	315,85	0,082	8,2	55	15,28	2578,46	8,2231
25	42,7	315,85		0	55	15,28	175,89	0,599
26	275,8	548,95	5,74	574	46	12,78	3012,42	7,3056
26a	156,4	429,55		0	46	12,78	659,94	1,9066
27	182	455,15	2,33	233	43	11,94	2832,59	7,3562
27a	124,6	397,75		0	43	11,94	523,35	1,5772
28	94,8	367,95	0,839	83,9	30	8,33	2667,3	7,418
28a	94,8	367,95		0	73	20,28	397,17	1,2478
29	69,2	342,35	0,301	30,1	38	10,56	2624,73	7,7664
29a	69,2	342,35		0	38	10,56	289,66	0,9452
30	22	295,15	2,4	240	24410	6780,56	92,51	0,3249
31	36,3	309,45	2	200	24410	6780,56	152,25	0,5226
32	22	295,15	2,1	210	2400	666,67	92,47	0,3249
33	35	308,15	1,7	170	2400	666,67	146,79	0,5051

5.1 Yüksek Basınç Türbini



Şekil 5.2 : YBT' nin şematik gösterimi.

Çizelge 5.2 : YBT' nin düğüm noktalarına ait termodinamik özellikler.

Noktalar	Sıcaklık [°C]	Sıcaklık [K]	Basınç [Bar]	Basınç [kPa]	Debi [ton/h]	Debi [kg/s]	Entalpi [kJ/kg]	Entropi [kJ/kgK]
0	25	298,15	1	100	-		104,83	0,3672
1	530	803,15	181	18100	983	273,06	3359,17	6,3335
2	319,9	593,05	42,9	4290	983	273,06	3007,51	6,4136

Süreklilik Denklemi

$$\Sigma \dot{m}_c - \Sigma \dot{m}_g = 0 \quad (5.1)$$

$$\dot{m}_2 - \dot{m}_1 = 0$$

$$273,06 - 273,06 = 0$$

Termodinamiğin Birinci Kanunu

$$\dot{Q} - \dot{W} = \Sigma \dot{m}_c \left(h + \frac{v^2}{2} + gz \right)_c - \Sigma \dot{m}_g \left(h + \frac{v^2}{2} + gz \right)_g \quad (5.2)$$

$$-\dot{W}_{YBT} = \dot{m}_2 h_2 - \dot{m}_1 h_1$$

$$-\dot{W}_{YBT} = 821217,3 - 917240,03$$

$$\dot{W}_{YBT} = 96022,2 \text{ kW}$$

Tersinir İş

$$\dot{W}_{tr} = \Sigma \dot{m}_g \left(h - T_0 s + \frac{v^2}{2} + gz \right)_g - \Sigma \dot{m}_c \left(h - T_0 s + \frac{v^2}{2} + gz \right)_c \quad (5.3)$$

$$\dot{W}_{tr} = \Sigma \dot{m}_g (h - T_0 s)_g - \Sigma \dot{m}_c (h - T_0 s)_c$$

$$\dot{W}_{tr} = \dot{m}_1 (h_1 - T_0 s_1) - \dot{m}_2 (h_2 - T_0 s_2)$$

$$= 401620,21 - 299076,43$$

$$\dot{W}_{tr} = 102543,78 \text{ kW}$$

Termodinamiğin İkinci Kanunu

$$\Delta S_{net} = S_{\text{üretim}} = \sum \dot{m}_\zeta s_\zeta - \sum \dot{m}_g s_g - \frac{\dot{Q}_A}{T_k} \quad (5.4)$$

$$\Delta S_{net} = \dot{m}_2 s_2 - \dot{m}_1 s_1$$

$$\Delta S_{net} = 1751,27 - 1729,40$$

$$\Delta S_{net} = 21,87 \text{ kW/K}$$

Tersinmezlik

$$I = T_0 \Delta S_{net} = T_0 S_{\text{üretim}} = 298,15 * 21,87 \quad (5.5)$$

$$I = 6521,06 \text{ kW}$$

Veya

$$I = \dot{W}_{tr} - \dot{W}_{YBT} = 102543,78 - 96022,2 \quad (5.6)$$

$$I = 6521,06 \text{ kW}$$

Akışın Kullanılabilirliği

$$\psi_0 = (h - h_0) - T_0(s - s_0) \quad (5.7)$$

$$\psi_1 = (h_1 - h_0) - T_0(s_1 - s_0)$$

$$\psi_1 = 1475,42 \text{ kJ/kg}, \psi_2 = 1099,88 \text{ kJ/kg}$$

(Bu değerler Excel de hesaplanmıştır)

Kayıp Kullanılabilir Ekserji

$$\dot{W}_{fay} = \dot{W}_{YBT} = \eta_c \dot{Q}_A + \sum \dot{m}_g \psi_g - \sum \dot{m}_\zeta \psi_\zeta - X_{kyp} \quad (5.8)$$

$$\dot{W}_{YBT} = \sum \dot{m}_g \psi_g - \sum \dot{m}_\zeta \psi_\zeta - X_{kyp}$$

$$\dot{W}_{YBT} = \dot{m}_1 \psi_1 - \dot{m}_2 \psi_2 - X_{kyp}$$

$$96022,2 = 402873,82 - 300330,04 - X_{kyp}$$

$$X_{kyp} = 6521,06 \text{ kW}$$

Kayıp kullanılabilir ekserji aynı zamanda tersinmezliğe eşittir.

Termodinamiğin İkinci Yasa Verimi

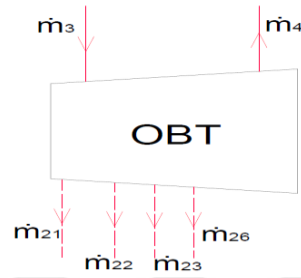
$$\eta_{II,YBT} = \frac{\dot{W}_{YBT}}{\dot{W}_{tr}} = \frac{96022,2}{102543,78} = 0,869 \rightarrow \eta = \%93,6 \quad (5.9)$$

Veya

$$\eta_{II,YBT} = 1 - \frac{X_{kyp}}{\dot{W}_{tr}} = 1 - \frac{6521,06}{102543,78} = 0,869 \rightarrow \eta = \%93,6 \quad (5.10)$$

Olarak bulunur.

5.2 Orta Basıç Türbini



Şekil 5.3 : OBT' nin şematik gösterimi.

Çizelge 5.3 : OBT' nin düğüm noktalarına ait termodinamik özellikler.

Noktalar	Sıcaklık [°C]	Sıcaklık [K]	Basınc [Bar]	Basınc [kPa]	Debi [ton/h]	Debi [kg/s]	Entalpi [kJ/kg]	Entropi [kJ/kgK]
0	25	298,15	1	100	-		104,83	0,3672
3	530	803,15	38,4	3840	894	248,33	3516,08	7,1993
4	276,2	549,35	6,04	604	721	200,28	3011,96	7,2816
21	437	710,15	20,56	2056	51	14,17	3328,72	7,2329
22	333,4	606,55	9,39	939	21	5,83	3124,23	7,2761
23	340	613,15	9,48	948	55	15,28	3138,02	7,2944
26	275,8	548,95	5,74	574	46	12,78	3012,42	7,3056

Süreklilik Denklemi

$$\Sigma \dot{m}_ç - \Sigma \dot{m}_g = 0 \quad (5.1)$$

$$\dot{m}_4 + \dot{m}_{21} + \dot{m}_{22} + \dot{m}_{23} + \dot{m}_{26} - \dot{m}_3 = 0$$

$$248,33 - 200,28 - 14,17 - 5,83 - 15,28 - 12,78 = 0$$

Termodinamiğin Birinci Kanunu

$$\dot{Q} - \dot{W} = \sum \dot{m}_\zeta \left(h + \frac{v^2}{2} + gz \right)_\zeta - \sum \dot{m}_g \left(h + \frac{v^2}{2} + gz \right)_g \quad (5.2)$$

$$-\dot{W}_{\text{OBT}} = \dot{m}_4 h_4 + \dot{m}_{21} h_{21} + \dot{m}_{22} h_{22} + \dot{m}_{23} h_{23} + \dot{m}_{26} h_{26} - \dot{m}_3 h_3$$

$$-\dot{W}_{\text{OBT}} = 603228,66 + 47156,87 + 18224,68 + 47941,97 + 38492,03 - 873159,87$$

$$\dot{W}_{\text{OBT}} = 118115,66 \text{ kW}$$

Tersinir İş

$$\dot{W}_{\text{tr}} = \sum \dot{m}_g \left(h - T_0 s + \frac{v^2}{2} + gz \right)_g - \sum \dot{m}_\zeta \left(h - T_0 s + \frac{v^2}{2} + gz \right)_\zeta \quad (5.3)$$

$$\dot{W}_{\text{tr}} = \sum \dot{m}_g (h - T_0 s)_g - \sum \dot{m}_\zeta (h - T_0 s)_\zeta$$

$$\dot{W}_{\text{tr}} = \dot{m}_3 (h_3 - T_0 s_3) - \dot{m}_4 (h_4 - T_0 s_4) - \dot{m}_{21} (h_{21} - T_0 s_{21}) - \dot{m}_{22} (h_{22} - T_0 s_{22})$$

$$- \dot{m}_{23} (h_{23} - T_0 s_{23}) - \dot{m}_{26} (h_{26} - T_0 s_{26})$$

$$= 340119 - 168423,79 - 16606,60 - 5570,02 - 14715,47 - 10659,93$$

$$\dot{W}_{\text{tr}} = 124143,68 \text{ kW}$$

Termodinamiğin İkinci Kanunu

$$\Delta S_{\text{net}} = S_{\text{üretim}} = \sum \dot{m}_\zeta s_\zeta - \sum \dot{m}_g s_g - \frac{\dot{Q}_A}{T_k} \quad (5.4)$$

$$\Delta S_{\text{net}} = \dot{m}_4 s_4 + \dot{m}_{21} s_{21} + \dot{m}_{22} s_{22} + \dot{m}_{23} s_{23} + \dot{m}_{26} s_{26} - \dot{m}_3 s_3$$

$$\Delta S_{\text{net}} = 1458,34 + 102,47 + 42,44 + 111,44 + 93,35 - 1787,83$$

$$\Delta S_{\text{net}} = 20,22 \text{ kW/K}$$

Tersinmezlik

$$I = T_0 \Delta S_{\text{net}} = T_0 S_{\text{üretim}} = 298,15 \cdot 20,22 \quad (5.5)$$

$$I = 6028,01 \text{ kw}$$

Veya

$$I = \dot{W}_{\text{tr}} - \dot{W}_{\text{OBT}} = 124143,68 - 118115,66 \quad (5.6)$$

$$I = 6028,01 \text{ kw}$$

Akışın Kullanılabilirliği

$$\psi_0 = (h - h_0) - T_0(s - s_0) \quad (5.7)$$

$$\psi_3 = (h_3 - h_0) - T_0(s_3 - s_0)$$

$$\psi_3 = 1374,2 \text{ kJ/kg}$$

$$\psi_4 = 845,54 \text{ kJ/kg}, \psi_{21} = 1176,82 \text{ kJ/kg}, \psi_{22} = 959,45 \text{ kJ/kg},$$

$$\psi_{23} = 967,78 \text{ kJ/kg}, \psi_{26} = 838,84 \text{ kJ/kg}$$

(Bu değerler Excel de hesaplanmıştır)

Kayıp Kullanılabilir Ekserji

$$\dot{W}_{\text{fay}} = \dot{W}_{\text{YBT}} = \eta_c \dot{Q}_A + \sum \dot{m}_g \psi_g - \sum \dot{m}_\zeta \psi_\zeta - X_{\text{kyp}} \quad (5.8)$$

$$\dot{W}_{\text{OBT}} = \sum \dot{m}_g \psi_g - \sum \dot{m}_\zeta \psi_\zeta - X_{\text{kyp}}$$

$$\dot{W}_{\text{OBT}} = \dot{m}_3 \psi_3 - \dot{m}_4 \psi_4 - \dot{m}_{21} \psi_{21} - \dot{m}_{22} \psi_{22} - \dot{m}_{23} \psi_{23} - \dot{m}_{26} \psi_{26} - X_{\text{kyp}}$$

$$118115,66 = 341259,61 - 169343,27 - 16671,64 - 5596,80 - 14785,61 - 10718,59 - X_{\text{kyp}}$$

$$X_{\text{kyp}} = 6028,02 \text{ kW}$$

Kayıp kullanılabilir enerji aynı zamanda tersinmezliğe eşittir.

Termodinamiğin İkinci Yasa Verimi

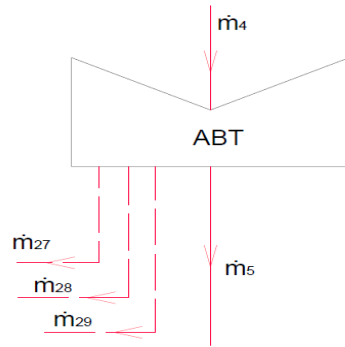
$$\eta_{\text{II,OBT}} = \frac{\dot{W}_{\text{OBT}}}{\dot{W}_{\text{tr}}} = \frac{118115,66}{124143,68} = 0,966 \rightarrow \eta = \%95,14 \quad (5.9)$$

Veya

$$\eta_{\text{II,OBT}} = 1 - \frac{X_{\text{kyp}}}{\dot{W}_{\text{tr}}} = 1 - \frac{6028,02}{124143,68} = 0,966 \rightarrow \eta = \%95,14 \quad (5.10)$$

Olarak bulunur.

5.3 Alçak Basınç Türbini



Şekil 5.4 : ABT' nin şematik gösterimi.

Çizelge 5.4 : ABT' nin düğüm noktalarına ait termodinamik özellikler.

Noktalar	Sıcaklık [°C]	Sıcaklık [K]	Basınç [Bar]	Basınç [kPa]	Debi [ton/h]	Debi [kg/s]	Entalpi [kJ/kg]	Entropi [kJ/kgK]
0	25	298,15	1	100	-		104,83	0,3672
4	276,2	549,35	6,04	604	721	200,28	3011,96	7,2816
5	38,1	311,25	0,068	6,8	610	169,44	2570,14	8,2917
27	182	455,15	2,33	233	43	11,94	2832,59	7,3562
28	94,8	367,95	0,839	83,9	30	8,33	2667,3	7,418
29	69,2	342,35	0,301	30,1	38	10,56	2624,73	7,7664

Süreklilik Denklemi

$$\Sigma \dot{m}_c - \Sigma \dot{m}_g = 0 \quad (5.1)$$

$$\dot{m}_4 - \dot{m}_5 - \dot{m}_{27} - \dot{m}_{28} - \dot{m}_{29} = 0$$

$$200,28 - 169,44 - 11,94 - 8,33 - 10,56 = 0$$

Termodinamiğin Birinci Kanunu

$$\dot{Q} - \dot{W} = \Sigma \dot{m}_c \left(h + \frac{v^2}{2} + gz \right)_c - \Sigma \dot{m}_g \left(h + \frac{v^2}{2} + gz \right)_g \quad (5.2)$$

$$-\dot{W}_{ABT} = \dot{m}_5 h_5 + \dot{m}_{27} h_{27} + \dot{m}_{28} h_{28} + \dot{m}_{29} h_{29} - \dot{m}_4 h_4$$

$$-\dot{W}_{ABT} = 435495,94 + 33833,71 + 22227,50 + 27705,48 - 603228,66$$

$$\dot{W}_{ABT} = 83966,01 \text{ kW}$$

Tersinir İş

$$\dot{W}_{tr} = \sum \dot{m}_g \left(h - T_0 s + \frac{v^2}{2} + gz \right)_g - \sum \dot{m}_\zeta \left(h - T_0 s + \frac{v^2}{2} + gz \right)_\zeta \quad (5.3)$$

$$\dot{W}_{tr} = \sum \dot{m}_g (h - T_0 s)_g - \sum \dot{m}_\zeta (h - T_0 s)_\zeta$$

$$\dot{W}_{tr} = \dot{m}_4 (h_4 - T_0 s_4) - \dot{m}_5 (h_5 - T_0 s_5) - \dot{m}_{27} (h_{27} - T_0 s_{27}) - \dot{m}_{28} (h_{28} - T_0 s_{28}) - \dot{m}_{29} (h_{29} - T_0 s_{29})$$

$$= 168423,79 - 16600,41 - 7636,55 - 3796,86 - 3263,54$$

$$\dot{W}_{tr} = 137126,42 \text{ kW}$$

Termodinamiğin İkinci Kanunu

$$\Delta S_{net} = S_{\text{üretim}} = \sum \dot{m}_\zeta s_\zeta - \sum \dot{m}_g s_g - \frac{\dot{Q}_A}{T_k} \quad (5.4)$$

$$\Delta S_{net} = \dot{m}_5 s_5 + \dot{m}_{27} s_{27} + \dot{m}_{28} s_{28} + \dot{m}_{29} s_{29} - \dot{m}_4 s_4$$

$$\Delta S_{net} = 1407,98 + 87,87 + 61,82 + 81,98 - 1458,34$$

$$\Delta S_{net} = 178,30 \text{ kW/K}$$

Tersinmezlik

$$I = T_0 \Delta S_{net} = T_0 S_{\text{üretim}} = 298,15 \cdot 178,30 \quad (5.5)$$

$$I = 53160,41 \text{ kW}$$

Veya

$$I = \dot{W}_{tr} - \dot{W}_{ABT} = 137126,42 - 83966,01 \quad (5.6)$$

$$I = 53160,41 \text{ kW}$$

Akışın Kullanılabilirliği

$$\psi_0 = (h - h_0) - T_0 (s - s_0) \quad (5.7)$$

$$\psi_4 = (h_4 - h_0) - T_0 (s_4 - s_0)$$

$$\psi_4 = 845,54 \text{ kJ/kg}, \psi_5 = 102,56 \text{ kJ/kg}, \psi_{27} = 643,93 \text{ kJ/kg}, \psi_{28} = 460,21 \text{ kJ/kg},$$

$$\psi_{29} = 313,76 \text{ kJ/kg}$$

(Bu değerler Excel de hesaplanmıştır)

Kayıp Kullanılabilir Ekserji

$$\dot{W}_{fay} = \dot{W}_{ABT} = \eta_c \dot{Q}_A + \sum \dot{m}_g \psi_g - \sum \dot{m}_\zeta \psi_\zeta - X_{kyp} \quad (5.8)$$

$$\dot{W}_{ABT} = \sum \dot{m}_g \psi_g - \sum \dot{m}_\zeta \psi_\zeta - X_{kyp}$$

$$\dot{W}_{ABT} = \dot{m}_4 \psi_4 - \dot{m}_5 \psi_5 - \dot{m}_{27} \psi_{27} - \dot{m}_{28} \psi_{28} - \dot{m}_{29} \psi_{29} - X_{kayıp(kyp)}$$

$$83966,01 = 169343,27 - 17378,34 - 7691,38 - 3835,11 - 3312 - X_{kyp}$$

$$X_{kyp} = 53160,41 \text{ kW}$$

Kayıp kullanılabilir enerji aynı zamanda tersinmezliğe eşittir.

Termodinamiğin İkinci Yasa Verim

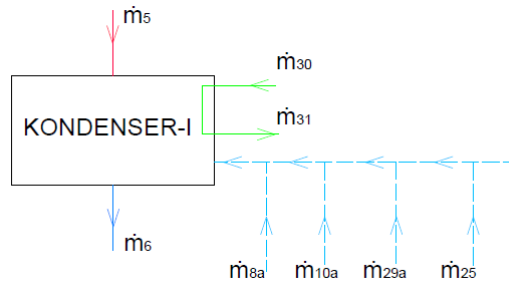
$$\eta_{II,ABT} = \frac{\dot{W}_{ABT}}{\dot{W}_{tr}} = \frac{83966,01}{137126,42} = 0,612 \rightarrow \eta = \%61,2 \quad (5.9)$$

Veya

$$\eta_{II,ABT} = 1 - \frac{X_{kyp}}{\dot{W}_{tr}} = 1 - \frac{53160,41}{137126,42} = 0,612 \rightarrow \eta = \%61,2 \quad (5.10)$$

Olarak bulunur.

5.4 Kondenser-I



Şekil 5.5 : Kondenser-I' in şematik gösterimi.

Çizelge 5.5 : Kondenserin düğüm noktalarına ait termodinamik özellikler.

Noktalar	Sıcaklık [°C]	Sıcaklık [K]	Basınç [Bar]	Basınç [kPa]	Debi [ton/h]	Debi [kg/s]	Entalpi [kJ/kg]	Entropi [kJ/kgK]
0	25	298,15	1	100	-		104,83	0,3672
5	38,1	311,25	0,068	6,8	610	169,44	2570,14	8,2917
6	38,1	311,25	0,068	6,8	704	195,56	159,6	0,5469
8a	65	338,15	-	-	0,3	0,08	2617,51	7,8295
10a	183	456,15	-	-	0,7	0,19	2779,78	6,5603
25	42,7	315,85	-	-	55	15,28	175,89	0,599
29a	69,2	342,35	-	-	38	10,56	289,66	0,9452
30	22	295,15	2,4	240	24410	6780,56	92,51	0,3249
31	36,3	309,45	2	200	24410	6780,56	152,25	0,5226

Süreklilik Denklemi

$$\Sigma \dot{m}_c - \Sigma \dot{m}_g = 0 \quad (5.1)$$

$$\dot{m}_6 + \dot{m}_{31} - \dot{m}_5 - \dot{m}_{8a} - \dot{m}_{10a} - \dot{m}_{25} - \dot{m}_{29a} - \dot{m}_{30} = 0$$

$$195,56 + 6780,56 - 169,44 - 0,08 - 0,19 - 15,28 - 10,56 - 6780,56 = 0$$

Termodinamiğin İkinci Kanunu

$$\Delta S_{net} = S_{üretim} = \Sigma \dot{m}_c s_c - \Sigma \dot{m}_g s_g - \frac{\dot{Q}_A}{T_k} \quad (5.4)$$

$$\Delta S_{net} = \dot{m}_6 s_6 + \dot{m}_{31} s_{31} - \dot{m}_5 s_5 - \dot{m}_{8a} s_{8a} - \dot{m}_{10a} s_{10a} - \dot{m}_{25} s_{25} - \dot{m}_{29a} s_{29a} - \dot{m}_{30} s_{30}$$

$$\Delta S_{net} = 106,95 + 3543,52 - 1404,98 - 0,65 - 1,28 - 9,15 - 9,98 - 2203$$

$$\Delta S_{net} = 21,43 \text{ kW/K}$$

Tersinmezlik

$$I = T_0 \Delta S_{net} = T_0 S_{üretim} = 298,15 * 21,43 \quad (5.5)$$

$$I = 6388,19 \text{ kW}$$

Akışın Kullanılabilirliği

$$\psi_0 = (h - h_0) - T_0(s - s_0) \quad (5.7)$$

$$\psi_5 = (h_5 - h_0) - T_0(s_5 - s_0)$$

$$\psi_5 = 102,561 \text{ kJ/kg}, \psi_6 = 1,133 \text{ kJ/kg}, \psi_{8a} = 287,736 \text{ kJ/kg},$$

$$\psi_{10a} = 828,418 \text{ kJ/kg}, \psi_{25} = 1,889 \text{ kJ/kg}, \psi_{29a} = 12,44 \text{ kJ/kg},$$

$$\psi_{30} = 0,232 \text{ kJ/kg}, \psi_{31} = 1,028 \text{ kJ/kg}$$

(Bu değerler Excel de hesaplanmıştır)

Termodinamiğin İkinci Yasa Verimi

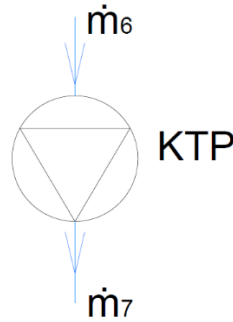
$$\eta_{II,KON-I} \quad (5.11)$$

$$= 1 - \frac{T_0 \Delta S_{net}(I)}{\dot{m}_5(\psi_5 - \psi_6) + \dot{m}_{8a}(\psi_8 - \psi_6) + \dot{m}_{10a}(\psi_{10a} - \psi_6) + \dot{m}_{25}(\psi_{25} - \psi_6) + \dot{m}_{29a}(\psi_{29a} - \psi_6)}$$

$$\eta_{II,KON-I} = 1 - \frac{6388,19}{17502,04} = 0,635 \rightarrow \eta = \%63,5$$

Olarak bulunur.

5.5 Kondesat Pompası



Şekil 5.6 : Kondesat pompasının şematik gösterimi.

Çizelge 5.6 : Kondesat pompasının düğüm noktalarına ait termodinamik özellikler.

Noktalar	Sıcaklık [°C]	Sıcaklık [K]	Basınç [Bar]	Basınç [kPa]	Debi [ton/h]	Debi [kg/s]	Entalpi [kJ/kg]	Entropi [kJ/kgK]
0	25	298,15	1	100	-		104,83	0,3672
6	38,1	311,25	0,0666	6,66	704	195,56	159,6	0,5469
7	38,1	311,25	19,5	1950	704	195,56	161,74	0,5476

Süreklilik Denklemi

$$\Sigma \dot{m}_ç - \Sigma \dot{m}_g = 0 \quad (5.1)$$

$$\dot{m}_7 - \dot{m}_6 = 0$$

$$195,56 - 195,56 = 0$$

Termodinamiğin Birinci Kanunu

$$\dot{Q} - \dot{W} = \sum \dot{m}_c \left(h + \frac{v^2}{2} + gz \right)_c - \sum \dot{m}_g \left(h + \frac{v^2}{2} + gz \right)_g \quad (5.2)$$

$$-\dot{W}_{KTP} = \dot{m}_7 h_7 - \dot{m}_6 h_6$$

$$-\dot{W}_{KTP} = 31629,16 - 31210,67$$

$$\dot{W}_{KTP} = -418,49 \text{ kW}$$

Tersinir İş

$$\dot{W}_{tr} = \sum \dot{m}_g \left(h - T_0 s + \frac{v^2}{2} + gz \right)_g - \sum \dot{m}_c \left(h - T_0 s + \frac{v^2}{2} + gz \right)_c \quad (5.3)$$

$$\dot{W}_{tr} = \sum \dot{m}_g (h - T_0 s)_g - \sum \dot{m}_c (h - T_0 s)_c$$

$$\dot{W}_{tr} = \dot{m}_6 (h_6 - T_0 s_6) - \dot{m}_7 (h_7 - T_0 s_7)$$

$$= -676,28 + 298,60$$

$$\dot{W}_{tr} = -377,68 \text{ kW}$$

Termodinamiğin İkinci Kanunu

$$\Delta S_{net} = S_{\text{üretim}} = \sum \dot{m}_c s_c - \sum \dot{m}_g s_g - \frac{\dot{Q}_A}{T_k} \quad (5.4)$$

$$\Delta S_{net} = \dot{m}_7 s_7 - \dot{m}_6 s_6$$

$$\Delta S_{net} = 107,09 - 106,95$$

$$\Delta S_{net} = 0,14 \text{ kW/K}$$

Tersinmezlik

$$I = T_0 \Delta S_{net} = T_0 S_{\text{üretim}} = 298,15 \cdot 0,14 \quad (5.5)$$

$$I = 40,81 \text{ kW}$$

Veya

$$I = \dot{W}_{tr} - \dot{W}_{KTP} = -377,68 - (-418,49) \quad (5.6)$$

$$I = 40,81 \text{ kW}$$

Akışın Kullanılabilirliği

$$\psi_0 = (h - h_0) - T_0 (s - s_0) \quad (5.7)$$

$$\psi_6 = (h_6 - h_0) - T_0(s_6 - s_0)$$

$$\psi_6 = 1,133 \text{ kJ/kg}, \psi_7 = 3,064 \text{ kJ/kg}$$

(Bu değerler Excel de hesaplanmıştır)

Kayıp Kullanılabilir Ekserji

$$\dot{W}_{\text{fay}} = \dot{W}_{\text{KTP}} = \eta_c \dot{Q}_A + \sum \dot{m}_g \psi_g - \sum \dot{m}_\zeta \psi_\zeta - X_{\text{kyp}} \quad (5.8)$$

$$\dot{W}_{\text{KTP}} = \sum \dot{m}_g \psi_g - \sum \dot{m}_\zeta \psi_\zeta - X_{\text{kyp}}$$

$$\dot{W}_{\text{KTP}} = \dot{m}_6 \psi_6 - \dot{m}_7 \psi_7 - X_{\text{kyp}}$$

$$-418,49 = 221,52 - 599,20 - X_{\text{kyp}}$$

$$X_{\text{kyp}} = 40,81 \text{ kW}$$

Kayıp kullanılabilir ekserji aynı zamanda tersinmezliğe eşittir.

Termodinamiğin İkinci Yasa Verimi

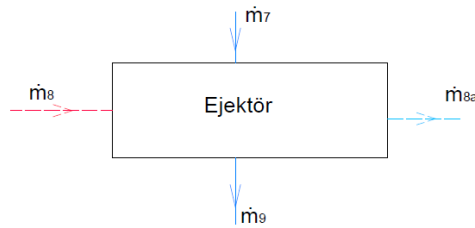
$$\eta_{\text{II,KON POM}} = \frac{\dot{W}_{\text{tr}}}{\dot{W}_{\text{KTP}}} = \frac{377,68}{418,49} = 0,902 \rightarrow \eta = \%90,2 \quad (5.9)$$

Veya

$$\eta_{\text{II,KON POM}} = 1 - \frac{X_{\text{kyp}}}{\dot{W}_{\text{KTP}}} = 1 - \frac{40,81}{418,49} = 0,902 \rightarrow \eta = \%90,2 \quad (5.10)$$

Olarak bulunur.

5.6 Ejektör



şekil 5.7 : Ejektörün şematik gösterimi.

Çizelge 5.7 : Ejektörün düğüm noktalarına ait termodinamik özellikler.

Noktalar	Sıcaklık [°C]	Sıcaklık [K]	Basınç [Bar]	Basınç [kPa]	Debi [ton/h]	Debi [kg/s]	Entalpi [kJ/kg]	Entropi [kJ/kgK]
0	25	298,15	1	100	-		104,83	0,3672
7	38,1	311,25	19,5	1950	704	195,56	161,74	0,5476
8	319,9	593,05	42,9	4290	0,3	0,08	3007,51	6,4136
8a	65	338,15		0	0,3	0,08	2617,51	7,8295
9	38,2	311,35	19,5	1950	704	195,56	161,76	0,5476

Süreklilik Denklemi

$$\Sigma \dot{m}_c - \Sigma \dot{m}_g = 0 \quad (5.1)$$

$$\dot{m}_7 + \dot{m}_8 - \dot{m}_{8a} - \dot{m}_9 = 0$$

$$195,56 + 0,08 - 0,08 - 195,56 = 0$$

Termodinamiğin İkinci Kanunu

$$\Delta S_{net} = S_{üretim} = \Sigma \dot{m}_c s_c - \Sigma \dot{m}_g s_g - \frac{\dot{Q}_A}{T_k} \quad (5.4)$$

$$\Delta S_{net} = \dot{m}_{8a} s_{8a} + \dot{m}_9 s_9 - \dot{m}_7 s_7 - \dot{m}_8 s_8$$

$$\Delta S_{net} = 0,65 + 107,09 - 107,09 - 0,53$$

$$\Delta S_{net} = 0,12 \text{ kW/K}$$

Tersinmezlik

$$I = T_0 \Delta S_{net} = T_0 S_{üretim} = 298,15 \cdot 0,37 \quad (5.5)$$

$$I = 35,17 \text{ kW}$$

Akışın Kullanılabilirliği

$$\psi_0 = (h - h_0) - T_0(s - s_0) \quad (5.7)$$

$$\psi_8 = (h_8 - h_0) - T_0(s_8 - s_0)$$

$$\psi_8 = 1099,88 \text{ kJ/kg}, \psi_7 = 3,06 \text{ kJ/kg}, \psi_{8a} = 287,73 \text{ kJ/kg},$$

$$\psi_9 = 3,06 \text{ kJ/kg},$$

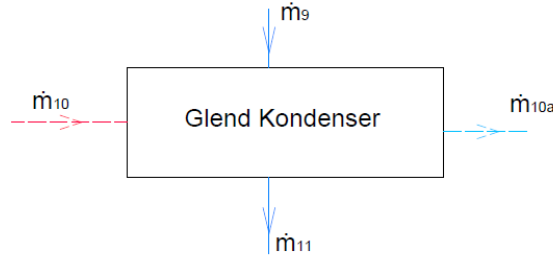
(Bu değerler Excel de hesaplanmıştır)

Termodinamiğin İkinci Yasa Verimi

$$\eta_{II,EJK} = 1 - \frac{T_0 \Delta S_{net}(i)}{\dot{m}_g(\psi_8 - \psi_{8a})} = 1 - \frac{35,17}{67,67} = 0,480 \rightarrow \eta = \%48,0 \quad (5.11)$$

Olarak bulunur.

5.7 Glend Kondenser



Şekil 5.8 : Glend kondenserin şematik gösterimi.

Çizelge 5.8 : Glend kondenserin düğüm noktalarına ait termodinamik özellikler

Noktalar	Sıcaklık [°C]	Sıcaklık	Basınç [Bar]	Basınç [kPa]	Debi [ton/h]	Debi	Entalpi [kJ/kg]	Entropi [kJ/kgK]
0	25	298,15	1	100	-		104,83	0,3672
9	38,2	311,35	19,5	1950	704	195,56	161,87	0,5480
10	200,1	473,25	1	100	0,7	0,19	2875,67	7,8359
10a	183	456,15		0	0,7	0,19	2779,78	6,5603
11	38,4	311,55	19,5	1950	704	195,56	162,2	0,5490

Süreklilik Denklemi

$$\Sigma \dot{m}_ç - \Sigma \dot{m}_g = 0 \quad (5.1)$$

$$\dot{m}_9 + \dot{m}_{10} - \dot{m}_{10a} - \dot{m}_{11} = 0$$

$$195,56 + 0,19 - 0,19 - 195,56 = 0$$

Termodinamiğin İkinci Kanunu

$$\Delta S_{net} = S_{üretim} = \Sigma \dot{m}_ç s_ç - \Sigma \dot{m}_g s_g - \frac{\dot{Q}_A}{T_k} \quad (5.4)$$

$$\Delta S_{net} = \dot{m}_{10a} s_{10a} + \dot{m}_{11} s_{11} - \dot{m}_9 s_9 - \dot{m}_{10} s_{10}$$

$$\Delta S_{net} = 1,28 + 107,36 - 107,16 - 1,52$$

$$\Delta S_{\text{net}} = 0,03 \text{ kW/K}$$

Tersinmezlik

$$I = T_0 \Delta S_{\text{net}} = T_0 S_{\text{üretim}} = 298,15 \cdot 0,14 \quad (5.5)$$

$$I = 7,68 \text{ kW}$$

Akışın Kullanılabilirliği

$$\psi_0 = (h - h_0) - T_0(s - s_0) \quad (5.7)$$

$$\psi_9 = (h_9 - h_0) - T_0(s_9 - s_0)$$

$$\psi_9 = 3,075 \text{ kJ/kg}, \psi_{10} = 543,98 \text{ kJ/kg}, \psi_{10a} = 828,41 \text{ kJ/kg},$$

$$\psi_{11} = 3,107 \text{ kJ/kg},$$

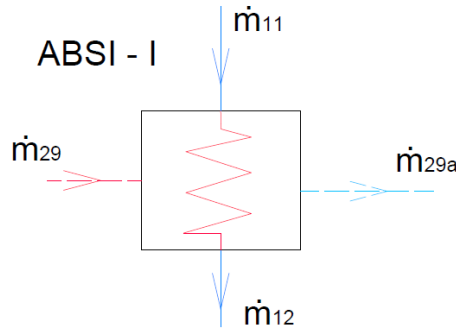
(Bu değerler Excel de hesaplanmıştır)

Termodinamiğin İkinci Yasa Verimi

$$\eta_{\text{II,EJK}} = 1 - \frac{T_0 \Delta S_{\text{net}}(I)}{\dot{m}_{10}(\psi_{10} - \psi_{10a})} = 1 - \frac{7,68}{55,31} = 0,861 \rightarrow \eta = \%86,1 \quad (5.11)$$

Olarak bulunur.

5.8 Alçak Basınç Isıtıcısı- I



Şekil 5.9 : ABSI-I' in şematik gösterimi.

Çizelge 5.9 : ABSI-I' in düğüm noktalarına ait termodinamik özellikler.

Noktalar	Sıcaklık [°C]	Sıcaklık [K]	Basınç [Bar]	Basınç [kPa]	Debi [ton/h]	Debi [kg/s]	Entalpi [kJ/kg]	Entropi [kJ/kgK]
0	25	298,15	1	100	-		104,833	0,3672
11	38,4	311,55	19,5	1950	704	195,56	162,2	0,549
12	68	341,15	19,5	1950	704	195,56	286,22	0,9293
29	69,2	342,35	0,301	30,1	38	10,56	2624,73	7,7664
29a	69,2	342,35		0	38	10,56	289,66	0,9452

Süreklilik Denklemi

$$\Sigma \dot{m}_ç - \Sigma \dot{m}_g = 0 \quad (5.1)$$

$$\dot{m}_{11} + \dot{m}_{29} - \dot{m}_{12} - \dot{m}_{29a} = 0$$

$$195,56 + 10,56 - 195,56 - 10,56 = 0$$

Termodinamiğin İkinci Kanunu

$$\Delta S_{net} = S_{üretim} = \Sigma \dot{m}_ç s_ç - \Sigma \dot{m}_g s_g - \frac{\dot{Q}_A}{T_k} \quad (5.4)$$

$$\Delta S_{net} = \dot{m}_{12} s_{12} + \dot{m}_{29a} s_{29a} - \dot{m}_{11} s_{11} - \dot{m}_{29} s_{29}$$

$$\Delta S_{net} = 181,73 + 9,98 - 107,36 - 81,98$$

$$\Delta S_{net} = 2,37 \text{ kw/K}$$

Tersinmezlik

$$I = T_0 \Delta S_{net} = T_0 S_{üretim} = 298,15 * 2,37 \quad (5.5)$$

$$I = 706,08 \text{ kW}$$

Akışın Kullanılabilirliği

$$\psi_0 = (h - h_0) - T_0(s - s_0) \quad (5.7)$$

$$\psi_{11} = (h_{11} - h_0) - T_0(s_{11} - s_0)$$

$$\psi_{11} = 54,26 \text{ kJ/kg}, \psi_{12} = 167,65 \text{ kJ/kg}, \psi_{29} = 2206,13 \text{ kJ/kg},$$

$$\psi_{29a} = 172,39 \text{ kJ/kg},$$

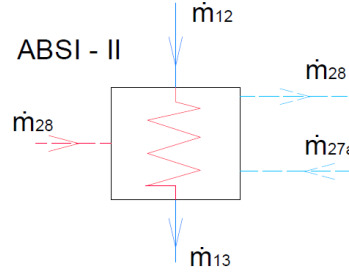
(Bu değerler Excel de hesaplanmıştır)

Termodinamiğin İkinci Yasa Verimi

$$\eta_{II,ABSII-I} = 1 - \frac{T_0 \Delta S_{net}(i)}{\dot{m}_{29}(\psi_{29} - \psi_{29a})} = 1 - \frac{706,08}{21467,26} = 0,967 \rightarrow \eta = \%96,7 \quad (5.11)$$

Olarak bulunmuştur.

5.9 Alçak Basınç Isıtıcısı- II



Şekil 5.10 : ABSI-II' nin şematik gösterimi.

Çizelge 5.10 : ABSI-II' nin düğüm noktalarına ait termodinamik özellikler

Noktalar	Sıcaklık [°C]	Sıcaklık [K]	Basınç [Bar]	Basınç [kPa]	Debi [ton/h]	Debi [kg/s]	Entalpi [kJ/kg]	Entropi [kJ/kgK]
0	25	298,15	1	100	-		104,833	0,3672
12	68	341,15	19,5	1950	704	195,56	286,22	0,9293
13	91,2	364,35	19,5	1950	704	195,56	383,46	1,2051
27a	124,6	397,75		0	43	11,94	523,35	1,5772
28	94,8	367,95	0,839	83,9	30	8,33	2667,3	7,418
28a	94,8	367,95		0	73	20,28	397,17	1,2478

Süreklilik Denklemi

$$\Sigma \dot{m}_c - \Sigma \dot{m}_g = 0 \quad (5.1)$$

$$\dot{m}_{13} + \dot{m}_{28a} - \dot{m}_{12} - \dot{m}_{27a} - \dot{m}_{28} = 0$$

$$195,56 + 20,28 - 195,56 - 11,94 - 8,33 = 0$$

Termodinamiğin İkinci Kanunu

$$\Delta S_{net} = S_{üretim} = \Sigma \dot{m}_c s_c - \Sigma \dot{m}_g s_g - \frac{\dot{Q}_A}{T_k} \quad (5.4)$$

$$\Delta S_{net} = \dot{m}_{13} s_{13} + \dot{m}_{28a} s_{28a} - \dot{m}_{12} s_{12} - \dot{m}_{27a} s_{27a} - \dot{m}_{28} s_{28}$$

$$\Delta S_{\text{net}} = 239,71 + 25,30 - 181,73 - 18,84 - 61,82$$

$$\Delta S_{\text{net}} = 2,63 \text{ kw/K}$$

Tersinmezlik

$$I = T_0 \Delta S_{\text{net}} = T_0 S_{\text{üretim}} = 298,15 * 0,38 \quad (5.5)$$

$$I = 783,95 \text{ kW}$$

Akışın Kullanılabilirliği

$$\psi_0 = (h - h_0) - T_0(s - s_0) \quad (5.7)$$

$$\psi_{12} = (h_{12} - h_0) - T_0(s_{12} - s_0)$$

$$\psi_{12} = 13,74 \text{ kJ/kg}, \psi_{13} = 30,14 \text{ kJ/kg}, \psi_{27a} = 57,69 \text{ kJ/kg},$$

$$\psi_{28} = 460,214 \text{ kJ/kg}, \psi_{28a} = 29,72 \text{ kJ/kg},$$

(Bu değerler Excel de hesaplanmıştır)

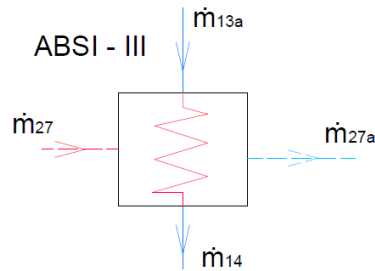
Termodinamiğin İkinci Yasa Verimi

$$\eta_{II, \text{ABSI-I}} = 1 - \frac{T_0 \Delta S_{\text{net}}(i)}{\dot{m}_{28}(\psi_{28} - \psi_{28a}) + \dot{m}_{27a}(\psi_{27a} - \psi_{28a})} \quad (5.11)$$

$$= 1 - \frac{783,95}{3921,45} = 0,800 \rightarrow \eta = \%80,0$$

Olarak bulunmuştur.

5.10 Alçak Basınç Isıtıcısı- III



Şekil 5.11 : ABSI-III' ün şematik gösterimi.

Çizelge 5.11 : ABSI-III' ün düğüm noktalarına ait termodinamik özellikler.

Noktalar	Sıcaklık [°C]	Sıcaklık [K]	Basınç [Bar]	Basınç [kPa]	Debi [ton/h]	Debi [kg/s]	Entalpi [kJ/kg]	Entropi [kJ/kgK]
0	25	298,15	1	100	-		104,833	0,3672
13a	93,3	366,45	19,5	1950	777	215,83	392,29	1,2293
14	124,3	397,45	19,5	1950	777	215,83	523,27	1,5724
27	182	455,15	2,33	233	43	11,94	2832,59	7,3562
27a	124,6	397,75		0	43	11,94	523,35	1,5772

Süreklilik Denklemi

$$\Sigma \dot{m}_ç - \Sigma \dot{m}_g = 0 \quad (5.1)$$

$$\dot{m}_{13a} + \dot{m}_{27} - \dot{m}_{14} - \dot{m}_{27a} = 0$$

$$215,83 + 11,94 - 215,83 - 11,94 = 0$$

Termodinamiğin İkinci Kanunu

$$\Delta S_{net} = S_{üretim} = \Sigma \dot{m}_ç s_ç - \Sigma \dot{m}_g s_g - \frac{\dot{Q}_A}{T_k} \quad (5.4)$$

$$\Delta S_{net} = \dot{m}_{14} s_{14} + \dot{m}_{27a} s_{27a} - \dot{m}_{13a} s_{13a} - \dot{m}_{27} s_{27}$$

$$\Delta S_{net} = 339,38 + 18,84 - 265,32 - 87,87$$

$$\Delta S_{net} = 5,03 \text{ kW/K}$$

Tersinmezlik

$$I = T_0 \Delta S_{net} = T_0 S_{üretim} = 298,15 \cdot 5,03 \quad (5.5)$$

$$I = 1498,34$$

Akışın Kullanılabilirliği

$$\psi_0 = (h - h_0) - T_0(s - s_0) \quad (5.7)$$

$$\psi_{13a} = (h_{13a} - h_0) - T_0(s_{13a} - s_0)$$

$$\psi_{13a} = 30,149 \text{ kJ/kg}, \psi_{14} = 59,05 \text{ kJ/kg}, \psi_{27} = 643,93 \text{ kJ/kg},$$

$$\psi_{27a} = 57,69 \text{ kJ/kg},$$

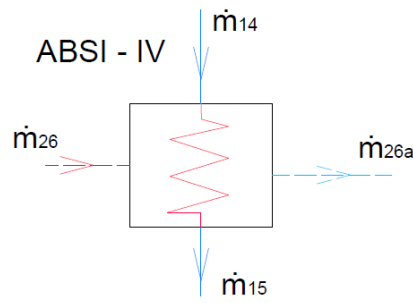
(Bu değerler Excel de hesaplanmıştır)

Termodinamiğin İkinci Yasa Verimi

$$\eta_{II,ABS\text{-}IV} = 1 - \frac{T_0 \Delta S_{\text{net}}(I)}{\dot{m}_{27} (\psi_{27} - \psi_{27a})} \quad (5.11)$$
$$= 1 - \frac{1498,34}{7002,21} = 0,786 \rightarrow \eta = \%78,6$$

Olarak bulunmuştur.

5.11 Alçak Basınç Isıtıcısı- IV



Şekil 5.12 : ABS-IV' ün şematik gösterimi.

Çizelge 5.12 ABS-IV' ün düğüm noktalarına ait termodinamik özellikler

Noktalar	Sıcaklık [°C]	Sıcaklık [K]	Basınç [Bar]	Basınç [kPa]	Debi [ton/h]	Debi [kg/s]	Entalpi [kJ/kg]	Entropi [kJ/kgK]
0	25	298,15	1	100	-		104,833	0,3672
14	124,3	397,45	19,5	1950	777	215,83	523,27	1,5724
15	154	427,15	19,5	1950	777	215,83	650,4	1,8808
26	275,8	548,95	5,74	574	46	12,78	3012,42	7,3056
26a	156,4	429,55		0	46	12,78	659,94	1,9066

Süreklilik Denklemi

$$\Sigma \dot{m}_c - \Sigma \dot{m}_g = 0 \quad (5.1)$$

$$\dot{m}_{15} + \dot{m}_{26a} - \dot{m}_{14} - \dot{m}_{26} = 0$$

$$215,83 + 12,78 - 215,83 - 12,78 = 0$$

Termodinamiğin İkinci Kanunu

$$\Delta S_{\text{net}} = S_{\text{üretim}} = \sum \dot{m}_{\text{ç}} s_{\text{ç}} - \sum \dot{m}_{\text{g}} s_{\text{g}} - \frac{\dot{Q}_A}{T_k} \quad (5.4)$$

$$\Delta S_{\text{net}} = \dot{m}_{15} s_{15} + \dot{m}_{26a} s_{26a} - \dot{m}_{14} s_{14} - \dot{m}_{26} s_{26}$$

$$\Delta S_{\text{net}} = 410,30 + 24,36 - 339,38 - 93,35$$

$$\Delta S_{\text{net}} = 1,94 \text{ kW/K}$$

Tersinmezlik

$$I = T_0 \Delta S_{\text{net}} = T_0 S_{\text{üretim}} = 298,15 \cdot 1,94 \quad (5.5)$$

$$I = 577,10 \text{ kW}$$

Akışın Kullanılabilirliği

$$\psi_0 = (h - h_0) - T_0 (s - s_0) \quad (5.7)$$

$$\psi_{14} = (h_{13a} - h_0) - T_0 (s_{13a} - s_0)$$

$$\psi_{14} = 59,05 \text{ kJ/kg}, \psi_{15} = 96,84 \text{ kJ/kg}, \psi_{26} = 838,843 \text{ kJ/kg},$$

$$\psi_{26a} = 96,07 \text{ kJ/kg},$$

(Bu değerler Excel de hesaplanmıştır)

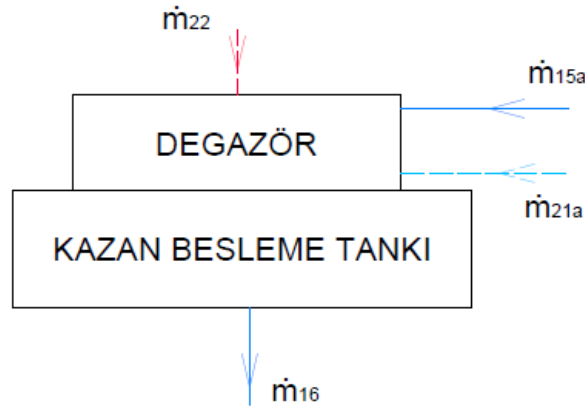
Termodinamiğin İkinci Yasa Verimi

$$\eta_{\text{II,ABSI-III}} = 1 - \frac{T_0 \Delta S_{\text{net}}(I)}{\dot{m}_{26} (\psi_{26} - \psi_{26a})} \quad (5.11)$$

$$= 1 - \frac{1498,34}{9490,92} = 0,939 \rightarrow \eta = \%93$$

Olarak bulunmuştur.

5.12 Kazan Besleme Tankı ve Degazör



Şekil 5.13 : KBTD' nin şematik gösterimi.

Çizelge 5.13 : KBTD' nin düğüm noktalarına ait termodinamik özellikler.

Noktalar	Sıcaklık [°C]	Sıcaklık [K]	Basınç [Bar]	Basınç [kPa]	Debi [ton/h]	Debi [kg/s]	Entalpi [kJ/kg]	Entropi [kJ/kgK]
0	25	298,15	1	100	-		104,833	0,3672
15a	156,2	429,35	19,5	1950	823	228,61	659,9	1,903
16	176,3	449,45	9,39	939	984	273,33	746,88	2,1035
21a	211,3	484,45		0	140	38,89	902,29	2,4341
22	333,4	606,55	9,39	939	21	5,83	3124,23	7,2761

Süreklilik Denklemi

$$\Sigma \dot{m}_ç - \Sigma \dot{m}_g = 0 \quad (5.1)$$

$$\dot{m}_{15a} + \dot{m}_{21a} + \dot{m}_{22} - \dot{m}_{16} = 0$$

$$273,33 - 228,61 - 38,89 - 5,83 = 0$$

Termodinamiğin İkinci Kanunu

$$\Delta S_{net} = S_{üretim} = \Sigma \dot{m}_ç s_ç - \Sigma \dot{m}_g s_g - \frac{\dot{Q}_A}{T_k} \quad (5.4)$$

$$\Delta S_{net} = \dot{m}_{16} s_{16} - \dot{m}_{15a} s_{15a} - \dot{m}_{21a} s_{21a} - \dot{m}_{22} s_{22}$$

$$\Delta S_{net} = 450,45 - 287,06 - 59,80 - 94,79$$

$$\Delta S_{\text{net}} = 2,81 \text{ kW/K}$$

Tersinmezlik

$$I = T_0 \Delta S_{\text{net}} = T_0 S_{\text{üretim}} = 298,15 \cdot 2,81 \quad (5.5)$$

$$I = 836,71 \text{ kW}$$

Akışın Kullanılabilirliği

$$\psi_0 = (h - h_0) - T_0(s - s_0) \quad (5.7)$$

$$\psi_{15a} = (h_{15a} - h_0) - T_0(s_{15a} - s_0)$$

$$\psi_{15a} = 97,112 \text{ kJ/kg}, \psi_{16} = 123,313 \text{ kJ/kg}, \psi_{21a} = 181,154 \text{ kJ/kg}, \psi_{22} = 959,452 \text{ kJ/kg},$$

(Bu değerler Excel de hesaplanmıştır)

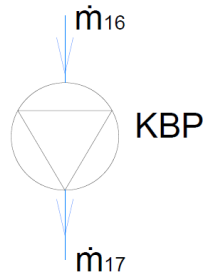
Termodinamiğin İkinci Yasa Verimi

$$\eta_{\text{II,KBTD}} = 1 - \frac{T_0 \Delta S_{\text{net}}(i)}{\dot{m}_{21a}(\psi_{21a} - \psi_{16}) + \dot{m}_{22}(\psi_{22} - \psi_{16})} \quad (5.11)$$

$$= 1 - \frac{836,71}{2210,5 + 4871,64} = 0,881 \rightarrow \eta = \%88,1$$

Olarak bulunmuştur.

5.13 Kazan Besleme Pompası



Şekil 5.14 : KBP' nin şematik gösterimi.

Çizelge 5.14 : BFPT Pompa'nın düğüm noktalarına ait termodinamik özellikler.

Noktalar	Sıcaklık [°C]	Sıcaklık [K]	Basınç [Bar]	Basınç [kPa]	Debi [ton/h]	Debi [kg/s]	Entalpi [kJ/kg]	Entropi [kJ/kgK]
0	25	298,15	1	100	-		104,833	0,3672
16	176,3	449,45	9,39	939	984	273,33	746,88	2,1035
17	181,4	454,55	267	26700	984	273,33	782,86	2,1196

Süreklilik Denklemi

$$\Sigma \dot{m}_\zeta - \Sigma \dot{m}_g = 0 \quad (5.1)$$

$$\dot{m}_{17} - \dot{m}_{16} = 0$$

$$273,33 - 273,33 = 0$$

Termodinamiğin Birinci Kanunu

$$\dot{Q} - \dot{W} = \Sigma \dot{m}_\zeta \left(h + \frac{v^2}{2} + gz \right)_\zeta - \Sigma \dot{m}_g \left(h + \frac{v^2}{2} + gz \right)_g \quad (5.2)$$

$$-\dot{W}_{KBP} = \dot{m}_{17}h_{17} - \dot{m}_{16}h_{16}$$

$$-\dot{W}_{KBP} = 213981,73 - 204147,20$$

$$\dot{W}_{KBP} = -9834,53 \text{ kW}$$

Tersinir İş

$$\dot{W}_{tr} = \Sigma \dot{m}_g \left(h - T_0s + \frac{v^2}{2} + gz \right)_g - \Sigma \dot{m}_\zeta \left(h - T_0s + \frac{v^2}{2} + gz \right)_\zeta \quad (5.3)$$

$$\dot{W}_{tr} = \Sigma \dot{m}_g (h - T_0s)_g - \Sigma \dot{m}_\zeta (h - T_0s)_\zeta$$

$$\dot{W}_{tr} = \dot{m}_{16}(h_{16} - T_0s_{16}) - \dot{m}_{17}(h_{17} - T_0s_{17})$$

$$= 32723,87 - 41246,34$$

$$\dot{W}_{tr} = -8522,47 \text{ kW}$$

Termodinamiğin İkinci Kanunu

$$\Delta S_{net} = S_{\text{üretim}} = \Sigma \dot{m}_\zeta s_\zeta - \Sigma \dot{m}_g s_g - \frac{\dot{Q}_A}{T_k} \quad (5.4)$$

$$\Delta S_{net} = \dot{m}_{17}s_{17} - \dot{m}_{16}s_{16}$$

$$\Delta S_{\text{net}} = 579,36 - 574,96$$

$$\Delta S_{\text{net}} = 4,40 \text{ kW/K}$$

Tersinmezlik

$$I = T_0 \Delta S_{\text{net}} = T_0 S_{\text{üretim}} = 298,15 \cdot 4,40 \quad (5.5)$$

$$I = 1312,06 \text{ kW}$$

Veya

$$I = \dot{W}_{\text{tr}} - \dot{W}_{\text{KBP}} = -8522,47 - (-9834,53) \quad (5.6)$$

$$I = 1312,06 \text{ kW}$$

Akışın Kullanılabilirliği

$$\psi_0 = (h - h_0) - T_0(s - s_0) \quad (5.7)$$

$$\psi_{16} = (h_{16} - h_0) - T_0(s_{16} - s_0)$$

$$\psi_{16} = 124,313 \text{ kJ/kg}, \psi_{17} = 155,492 \text{ kJ/kg}$$

(Bu değerler Excel de hesaplanmıştır)

Kayıp Kullanılabilir Ekserji

$$\dot{W}_{\text{fay}} = \dot{W}_{\text{KBP}} = \eta_c \dot{Q}_A + \sum \dot{m}_g \psi_g - \sum \dot{m}_c \psi_c - X_{\text{kyp}} \quad (5.8)$$

$$\dot{W}_{\text{KBP}} = \sum \dot{m}_g \psi_g - \sum \dot{m}_c \psi_c - X_{\text{kyp}}$$

$$\dot{W}_{\text{KBP}} = \dot{m}_{16} \psi_{16} - \dot{m}_{17} \psi_{17} - X_{\text{kyp}}$$

$$-9834,53 = 33978,75 - 42501,23 - X_{\text{kyp}}$$

$$X_{\text{kyp}} = 1312,06 \text{ kW}$$

Kayıp kullanılabilir ekserji aynı zamanda tersinmezliğe eşittir.

Termodinamiğin İkinci Yasa Verimi

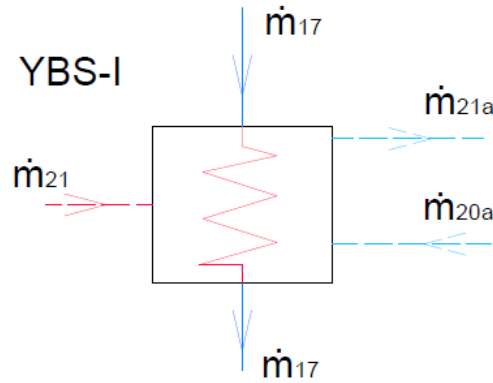
$$\eta_{\text{II,KON POM}} = \frac{\dot{W}_{\text{tr}}}{\dot{W}_{\text{KBP}}} = \frac{8522,47}{9834,53} = 0,867 \rightarrow \eta = \%86,7 \quad (5.9)$$

Veya

$$\eta_{\text{II,KON POM}} = 1 - \frac{X_{\text{kyp}}}{\dot{W}_{\text{KBP}}} = 1 - \frac{1312,06}{9834,53} = 0,867 \rightarrow \eta = \%86,7 \quad (5.10)$$

Olarak bulunur.

5.14 Yüksek Basınç Isıtıcısı- I



Şekil 5.15 : YBSI-I' in şematik gösterimi.

Çizelge 5.15 : YBSI-I' in düğüm noktalarına ait termodinamik özellikler.

Noktalar	Sıcaklık [°C]	Sıcaklık [K]	Basınç [Bar]	Basınç [kPa]	Debi [ton/h]	Debi [kg/s]	Entalpi [kJ/kg]	Entropi [kJ/kgK]
0	25	298,15	1	100	-		104,833	0,3672
17	181,4	454,55	267	26700	984	273,33	782,86	2,1196
18	214,6	487,75	267	26700	984	273,33	927,73	2,4271
20a	251,4	524,55		0	89	24,72	1090,55	2,8025
21	437	710,15	20,56	2056	51	14,17	3328,72	7,2329
21a	211,3	484,45		0	140	38,89	902,29	2,4341

Süreklilik Denklemi

$$\Sigma \dot{m}_ç - \Sigma \dot{m}_g = 0 \quad (5.1)$$

$$\dot{m}_{18} + \dot{m}_{21a} - \dot{m}_{17} - \dot{m}_{20a} - \dot{m}_{21} = 0$$

$$273,33 + 38,89 - 273,33 - 24,72 - 14,17 = 0$$

Termodinamiğin İkinci Kanunu

$$\Delta S_{net} = S_{üretim} = \Sigma \dot{m}_ç s_ç - \Sigma \dot{m}_g s_g - \frac{\dot{Q}_A}{T_k} \quad (5.4)$$

$$\Delta S_{net} = \dot{m}_{18} s_{18} + \dot{m}_{21a} s_{21a} - \dot{m}_{17} s_{17} - \dot{m}_{20a} s_{20a} - \dot{m}_{21} s_{21}$$

$$\Delta S_{net} = 663,41 + 102,47 - 579,36 - 69,28 - 102,47$$

$$\Delta S_{net} = 6,96 \text{ kW/K}$$

Tersinmezlik

$$I = T_0 \Delta S_{\text{net}} = T_0 S_{\text{üretim}} = 298,15 * 6,96 \quad (5.5)$$

$$I = 2074,93 \text{ kW}$$

Akışın Kullanılabilirliği

$$\psi_0 = (h - h_0) - T_0(s - s_0) \quad (5.7)$$

$$\psi_{17} = (h_{17} - h_0) - T_0(s_{17} - s_0)$$

$$\psi_{17} = 155,49 \text{ kJ/kg}, \psi_{18} = 208,68 \text{ kJ/kg}, \psi_{20a} = 259,57 \text{ kJ/kg}, \psi_{21} = 1176,82 \text{ kJ/kg},$$

$$\psi_{21a} = 181,154 \text{ kJ/kg}$$

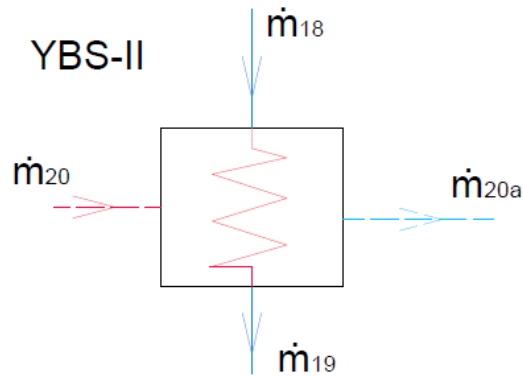
(Bu değerler Excel de hesaplanmıştır)

Termodinamiğin İkinci Yasa Verimi

$$\eta_{II,ABSI-I} = 1 - \frac{T_0 \Delta S_{\text{net}}(i)}{\dot{m}_{20a}(\psi_{20a} - \psi_{21a}) + \dot{m}_{21}(\psi_{21} - \psi_{21a})} \quad (5.11)$$
$$= 1 - \frac{2074,93}{16044,04} = 0,870 \rightarrow \eta = \%87,0$$

Olarak bulunmuştur.

5.15 Yüksek Basınç Isıtıcısı- II



Şekil 5.16 : YBSI-II' nin şematik gösterimi.

Çizelge 5.16 : YBSI-II' nin düğüm noktalarına ait termodinamik özellikler.

Noktalar	Sıcaklık [°C]	Sıcaklık [K]	Basınç [Bar]	Basınç [kPa]	Debi [ton/h]	Debi [kg/s]	Entalpi [kJ/kg]	Entropi [kJ/kgK]
0	25	298,15	1	100	-		104,833	0,3672
18	214,6	487,75	267	26700	984	273,33	927,73	2,4271
19	253,1	526,25	267	26700	984	273,33	1101,53	2,7700
20	318,4	591,55	42,9	4290	89	24,72	3003,42	6,4066
20a	251,4	524,55		0	89	24,72	1090,55	2,8025

Süreklilik Denklemi

$$\Sigma \dot{m}_ç - \Sigma \dot{m}_g = 0 \quad (5.1)$$

$$\dot{m}_{19} + \dot{m}_{20a} - \dot{m}_{18} - \dot{m}_{20} = 0$$

$$273,33 + 24,72 - 273,33 - 24,72 = 0$$

Termodinamiğin İkinci Kanunu

$$\Delta S_{net} = S_{üretim} = \Sigma \dot{m}_ç s_ç - \Sigma \dot{m}_g s_g - \frac{\dot{Q}_A}{T_k} \quad (5.4)$$

$$\Delta S_{net} = \dot{m}_{19} s_{19} + \dot{m}_{20a} s_{20a} - \dot{m}_{18} s_{18} - \dot{m}_{20} s_{20}$$

$$\Delta S_{net} = 757,13 + 69,28 - 663,41 - 158,39$$

$$\Delta S_{net} = 4,62 \text{ kw/K}$$

Tersinmezlik

$$I = T_0 \Delta S_{net} = T_0 S_{üretim} = 298,15 * 4,62$$

$$I = 1378,83 \text{ kW}$$

Akışın Kullanılabilirliği

$$\psi_0 = (h - h_0) - T_0(s - s_0) \quad (5.7)$$

$$\psi_{18} = (h_{18} - h_0) - T_0(s_{18} - s_0)$$

$$\psi_{18} = 208,68 \text{ kJ/kg}, \psi_{19} = 280,24 \text{ kJ/kg}, \psi_{20} = 1097,88 \text{ kJ/kg},$$

$$\psi_{20a} = 259,57 \text{ kJ/kg},$$

(Bu değerler Excel de hesaplanmıştır)

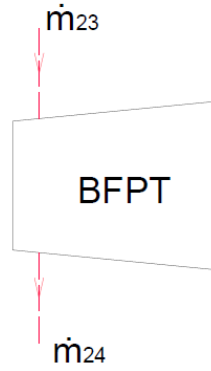
Termodinamiğin İkinci Yasa Verimi

$$\eta_{II,ABSI-I} = 1 - \frac{T_0 \Delta S_{net}(i)}{\dot{m}_{20}(\psi_{20} - \psi_{20a})} \quad (5.11)$$

$$= 1 - \frac{1378,83}{20724,82} = 0,933 \rightarrow \eta = \%93,3$$

Olarak bulunmuştur.

5.16 BFPT



Şekil 5.17 : BFPT' nin şematik gösterimi.

Çizelge 5.17 : BFPT' nin düğüm noktalarına ait termodinamik özellikler.

Noktalar	Sıcaklık [°C]	Sıcaklık [K]	Basınç [Bar]	Basınç [kPa]	Debi [ton/h]	Debi [kg/s]	Entalpi [kJ/kg]	Entropi [kJ/kgK]
0	25	298,15	1	100	-		104,83	0,3672
23	340	613,15	9,48	948	55	15,28	3138,02	7,2944
24	42,7	315,85	0,082	8,2	55	15,28	2578,46	8,2231

Süreklilik Denklemi

$$\Sigma \dot{m}_ç - \Sigma \dot{m}_g = 0 \quad (5.1)$$

$$\dot{m}_{24} - \dot{m}_{23} = 0$$

$$15,28 - 15,28 = 0$$

Termodinamiğin Birinci Kanunu

$$\dot{Q} - \dot{W} = \sum \dot{m}_c \left(h + \frac{v^2}{2} + gz \right)_c - \sum \dot{m}_g \left(h + \frac{v^2}{2} + gz \right)_g \quad (5.2)$$

$$-\dot{W}_{\text{BFPT}} = \dot{m}_{24} h_{24} - \dot{m}_{23} h_{23}$$

$$-\dot{W}_{\text{BFPT}} = 39393,34 - 47941,97$$

$$\dot{W}_{\text{BFPT}} = 8548,83 \text{ kW}$$

Tersinir İş

$$\dot{W}_{\text{tr}} = \sum \dot{m}_g \left(h - T_0 s + \frac{v^2}{2} + gz \right)_g - \sum \dot{m}_c \left(h - T_0 s + \frac{v^2}{2} + gz \right)_c \quad (5.3)$$

$$\dot{W}_{\text{tr}} = \sum \dot{m}_g (h - T_0 s)_g - \sum \dot{m}_c (h - T_0 s)_c$$

$$\dot{W}_{\text{tr}} = \dot{m}_{23} (h_{23} - T_0 s_{23}) - \dot{m}_{24} (h_{24} - T_0 s_{24})$$

$$= 14715,47 - 1936,35$$

$$\dot{W}_{\text{tr}} = 12779,13 \text{ kW}$$

Termodinamiğin İkinci Kanunu

$$\Delta S_{\text{net}} = S_{\text{üretim}} = \sum \dot{m}_c s_c - \sum \dot{m}_g s_g - \frac{\dot{Q}_A}{T_k} \quad (5.4)$$

$$\Delta S_{\text{net}} = \dot{m}_{24} s_{24} - \dot{m}_{23} s_{23}$$

$$\Delta S_{\text{net}} = 125,63 - 111,44$$

$$\Delta S_{\text{net}} = 14,19 \text{ kW/K}$$

Tersinmezlik

$$I = T_0 \Delta S_{\text{net}} = T_0 S_{\text{üretim}} = 298,15 * 14,19 \quad (5.5)$$

$$I = 4230,29 \text{ kW}$$

Veya

$$I = \dot{W}_{\text{tr}} - \dot{W}_{\text{BFPT}} = 12779,13 - 8548,83 \quad (5.6)$$

$$I = 4230,29 \text{ kW}$$

Akışın Kullanılabilirliği

$$\psi_0 = (h - h_0) - T_0 (s - s_0) \quad (5.7)$$

$$\psi_{23} = (h_{23} - h_0) - T_0(s_{23} - s_0)$$

$$\psi_{23} = 967,78 \text{ kJ/kg}, \psi_{24} = 131,33 \text{ kJ/kg}$$

(Bu değerler Excel de hesaplanmıştır)

Kayıp Kullanılabilir Ekserji

$$\dot{W}_{\text{fay}} = \dot{W}_{\text{BFPT}} = \eta_c \dot{Q}_A + \sum \dot{m}_g \psi_g - \sum \dot{m}_\zeta \psi_\zeta - X_{\text{kyp}} \quad (5.8)$$

$$\dot{W}_{\text{BFPT}} = \sum \dot{m}_g \psi_g - \sum \dot{m}_\zeta \psi_\zeta - X_{\text{kyp}}$$

$$\dot{W}_{\text{BFPT}} = \dot{m}_{23} \psi_{23} - \dot{m}_{23} \psi_{24} - X_{\text{kyp}}$$

$$8548,83 = 14785,61 - 2006,48 - X_{\text{kyp}}$$

$$X_{\text{kyp}} = 4230,29 \text{ kW}$$

Kayıp kullanılabilir ekserji aynı zamanda tersinmezliğe eşittir.

Termodinamiğin İkinci Yasa Verimi

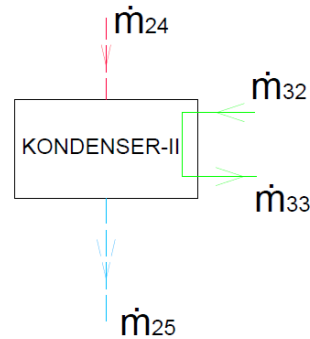
$$\eta_{\text{II,YBT}} = \frac{\dot{W}_{\text{BFPT}}}{\dot{W}_{\text{tr}}} = \frac{8548,83}{12779,13} = 0,668 \rightarrow \eta = \%66,8 \quad (5.9)$$

Veya

$$\eta_{\text{II,YBT}} = 1 - \frac{X_{\text{kyp}}}{\dot{W}_{\text{tr}}} = 1 - \frac{4230,29}{12779,13} = 0,668 \rightarrow \eta = \%66,8 \quad (5.10)$$

Olarak bulunur.

5.17 Kondenser-II



Şekil 5.18 : Kondenser-II' nin şematik gösterimi.

Çizelge 5.18 : Kondenser-II' nin düğüm noktalarına ait termodinamik özellikler.

Noktalar	Sıcaklık [°C]	Sıcaklık [K]	Basınç [Bar]	Basınç [kPa]	Debi [ton/h]	Debi [kg/s]	Entalpi [kJ/kg]	Entropi [kJ/kgK]
0	25	298,15	1	100	-		104,833	0,3672
24	42,7	315,85	0,082	8,2	55	15,28	2578,46	8,2231
25	42,7	315,85		0	55	15,28	175,89	0,599
32	22	295,15	2,1	210	2400	666,67	92,47	0,3249
33	35	308,15	1,7	170	2400	666,67	146,79	0,5051

Süreklilik Denklemi

$$\Sigma \dot{m}_ç - \Sigma \dot{m}_g = 0 \quad (5.1)$$

$$\dot{m}_{24} + \dot{m}_{32} - \dot{m}_{25} - \dot{m}_{33} = 0$$

$$15,28 + 666,67 - 15,28 - 666,67 = 0$$

Termodinamiğin İkinci Kanunu

$$\Delta S_{net} = S_{üretim} = \Sigma \dot{m}_ç s_ç - \Sigma \dot{m}_g s_g - \frac{\dot{Q}_A}{T_k} \quad (5.4)$$

$$\Delta S_{net} = \dot{m}_{25} s_{25} + \dot{m}_{33} s_{33} - \dot{m}_{24} s_{24} - \dot{m}_{32} s_{32}$$

$$\Delta S_{net} = 9,15 + 336,73 - 125,63 - 216,60$$

$$\Delta S_{net} = 3,65 \text{ kW/K}$$

Tersinmezlik

$$I = T_0 \Delta S_{net} = T_0 S_{üretim} = 298,15 * 3,65 \quad (5.5)$$

$$I = 1089,44 \text{ kW}$$

Akışın Kullanılabilirliği

$$\psi_0 = (h - h_0) - T_0(s - s_0) \quad (5.7)$$

$$\psi_{24} = (h_{24} - h_0) - T_0(s_{24} - s_0)$$

$$\psi_{24} = 131,33 \text{ kJ/kg}, \psi_{25} = 1,88 \text{ kJ/kg}, \psi_{32} = 0,19 \text{ kJ/kg},$$

$$\psi_{33} = 0,78 \text{ kJ/kg},$$

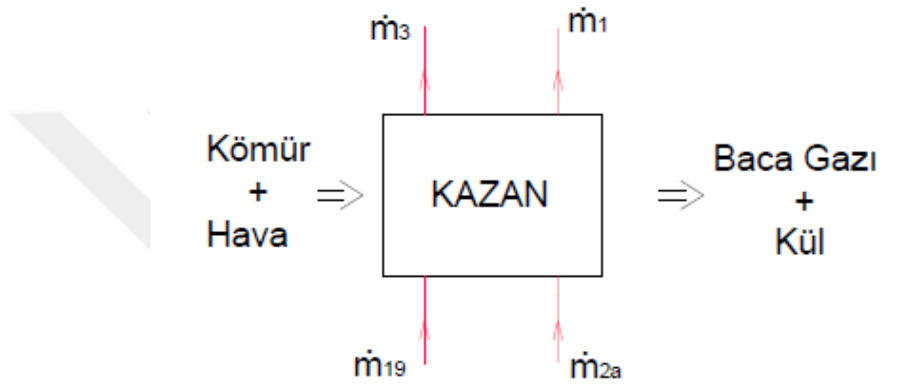
(Bu değerler Excel de hesaplanmıştır)

Termodinamiğin İkinci Yasa Verimi

$$\eta_{II,KON-II} = 1 - \frac{T_0 \Delta S_{net}(i)}{\dot{m}_{24} (\psi_{24} - \psi_{25})} \quad (5.11)$$
$$= 1 - \frac{1089,44}{1977,62} = 0,449 \rightarrow \eta = \%44,9$$

Olarak bulunmuştur.

5.18 Kazan



Şekil 5.19 : Kazanın şematik gösterimi.

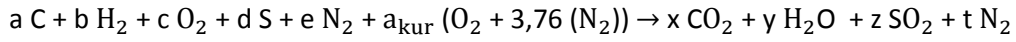
Çizelge 5.19 : Kazanın düğüm noktalarına ait termodinamik özellikler.

Noktalar	Sıcaklık [°C]	Sıcaklık [K]	Basınç [Bar]	Basınç [kPa]	Debi [ton/h]	Debi [kg/s]	Entalpi [kJ/kg]	Entropi [kJ/kgK]
0	25	298,15	1	100	-		104,833	0,3672
1	530	803,15	181	18100	983	273,06	3359,17	6,3335
2a	319,9	593,05	42,9	4290	983	273,06	3007,51	6,4136
3	530	803,15	38,4	3840	894	248,33	3516,08	7,1993
19	253,1	526,25	267	26700	984	273,33	1101,53	2,77

Varsayımlar

Kazandaki yanmanın tam ve stokiyometrik olduğu, yanma ürünlerinin CO₂, SO₂, H₂O ve N₂ olduğu ve yanma gazlarının mükemmel gazlar olduğu varsayılacaktır.

5.18.1 Linyitin yanma denklemi



Çizelge 5.20 : Linyitin bileşen oranları ve mol değerleri.

Linyit Bileşenleri	Molekül Ağırlığı (kg/kmol)	Oranları (%)	100 kg linyit için mol değerleri
C	12	35,84	a= 35,84/12 =2,9866
H ₂	2	2,55	b= 2,55/2=1,275
O ₂	32	21,19	c= 21,19/32 = 0,6621
S	32	3,40	d= 3,40/32 = 0,1062
N ₂	28	1,10	e= 1,10/28 = 0,0392
Kül	-	35,92	

C Eşitliği yapılırsa x= 2,9866,

H₂ Eşitliği yapılırsa y=1,275,

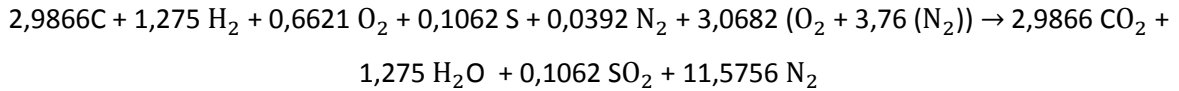
S Eşitliği yapılırsa z= 0,1062,

O₂ Eşitliği yazılırsa $2c+2a_{kur}=2x+y+2z \rightarrow 2 \cdot 0,6621+ 2 a_{kur} = 2 \cdot 2,9866+ 1,275+ 2 \cdot 0,1062$ buradan

$$a_{kur} = 3,0682,$$

N₂ Eşitliği yazılırsa $2e+a_{kur} \cdot 3,76 \cdot 2 = 2t \rightarrow 2 \cdot 0,0392+ 2 \cdot 3,0682 \cdot 3,76 = 2t$ buradan t= 11,5756 bulunur.

Bulunan değerler yerine yazılırsa yanma denklemi elde edilmiş olur.



Ayrıca santralde yakılan kömürün debisi 212,3 kg/s ve 950 kcal/ kg (3977,46 kJ/kg) dir.

5.18.2 Linyitin kimyasal ve fiziksel ekserji hesapları

Linyit kazana yaklaşık 135°C (408,15 K) sıcaklıkta kazana girmektedir.

$$(\bar{e}x^{kim})_{linyit} = 3977,46 \text{ kJ/kg}$$

$$(\bar{e}x^{fiz})_{linyit} = \bar{c}_{p,linyit} \left[(T - T_0) - T_0 \ln \frac{T}{T_0} \right] + \bar{R} T_0 \ln \frac{P}{P_0} \quad (5.12)$$

Linyit bileşenlerinin sıcaklığa bağlı özgül ısıları ayrı ayrı termodinamik tablolardan aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır [28].

$$\bar{c}_{p,linyit}(T) = a + bT + cT^2 + dT^3, (T \rightarrow K, \bar{c}_p = \text{kJ/kmol K}) \quad (5.13)$$

$$\bar{c}_{p,H_2}(T) = 29,11 + (-0,1916 * 10^{-2} * 408,15) + (0,4003 * 10^{-5} * 408,15^2) + (-0,8704 * 10^{-9} * 408,15^3)$$

$$\bar{c}_{p,H_2} = 28,93 \text{ kJ/kmol K}$$

$$\bar{c}_{p,O_2}(T) = 25,48 + (1,520 * 10^{-2} * 408,15) + (-0,7155 * 10^{-5} * 408,15^2) + (1,319 * 10^{-9} * 408,15^3)$$

$$\bar{c}_{p,O_2} = 30,58 \text{ kJ/kmol K}$$

$$\bar{c}_{p,N_2}(T) = 28,90 + (-0,1571 * 10^{-2} * 408,15) + (0,8081 * 10^{-5} * 408,15^2) + (-2,873 * 10^{-9} * 408,15^3)$$

$$\bar{c}_{p,N_2} = 29,40 \text{ kJ/kmol K}$$

$$(\bar{e}x^{fiz})_{H_2} = \bar{c}_{p,H_2} \left[(T - T_0) - T_0 \ln \frac{T}{T_0} \right] + \bar{R} T_0 \ln \frac{P}{P_0} \quad (5.12)$$

$$= 28,93 \left[(408,15 - 298,1) - 298,15 \ln \frac{408,15}{298,15} \right] + 8,314 \cdot 298,15 \ln \frac{101,6}{100}$$

$$(\bar{e}x^{fiz})_{H_2} = 512,91 \text{ kJ/ kmol}$$

$$(\bar{e}x^{fiz})_{O_2} = \bar{c}_{p,O_2} \left[(T - T_0) - T_0 \ln \frac{T}{T_0} \right] + \bar{R} T_0 \ln \frac{P}{P_0} \quad (5.12)$$

$$= 30,58 \left[(408,15 - 298,1) - 298,15 \ln \frac{408,15}{298,15} \right] + 8,314 \cdot 298,15 \ln \frac{101,6}{100}$$

$$(\bar{e}x^{fiz})_{O_2} = 539,78 \text{ kJ/ kmol}$$

$$(\bar{e}x^{fiz})_{N_2} = \bar{c}_{p,N_2} \left[(T - T_0) - T_0 \ln \frac{T}{T_0} \right] + \bar{R} T_0 \ln \frac{P}{P_0} \quad (5.12)$$

$$= 29,40 \left[(408,15 - 298,1) - 298,15 \ln \frac{408,15}{298,15} \right] + 8,314 \cdot 298,15 \ln \frac{101,6}{100}$$

$$(\bar{e}x^{fiz})_{N_2} = 520,58 \text{ kJ/ kmol}$$

$$(\bar{e}x^{fiz})_{linyit} = (\bar{e}x^{fiz})_{H_2} + (\bar{e}x^{fiz})_{O_2} + (\bar{e}x^{fiz})_{N_2} \quad (5.14)$$

$$= 512,91 + 539,78 + 520,58$$

$$(\bar{e}x^{fiz})_{linyit} = 1573,27 \text{ kJ/kmol}$$

5.18.3 Baca gazının özellikleri

Yanma sonucu oluşan ürünlerin mol toplamı

$$x + y + z + t = 2,9866 + 1,275 + 0,1062 + 11,5756 = 15,9434 \text{ kmol dur.}$$

Çizelge 5.21 : Baca gazı bileşenleri, mol kesirleri ve molar oranları

Baca gazı bileşenleri	Mol kesirleri (kmol)	Molar oran (M) (%)
CO ₂	2,9866	2,9866/ 15,9434= 0,1873
H ₂ O	1,275	1,275/ 15,9434= 0,0799
SO ₂	0,1062	0,1062/ 15,9434= 0,0066
N ₂	11,5756	11,5756/ 15,9434= 0,7260
Toplam	15,9434	1

Kazandan çıkan baca gazı 1,2 kPa'lık fanla çekilmekte olup sıcaklığı 180°C, debisi 423,88 kg/s ve yoğunluğu 0,6 kg/m³ dür.

İdeal gaz denklemi yazıldığında;

$$P \dot{V} = \dot{n}_{\text{bacagazi}} R T \quad (5.15)$$

$$\dot{V} = \frac{\dot{m}}{d} = \frac{423,88}{0,6} = 706,47 \text{ m}^3/\text{s} \quad (5.16)$$

$$(100 + 1,2)706,47 = \dot{n}_{\text{bacagazi}} 8,314 (180 + 273,15)$$

$$\dot{n}_{\text{bacagazi}} = 18,97 \text{ kmol / s}$$

Çizelge 5.22 : Baca gazı bileşenlerinin, molar debileri, molar oranları ve standart molar kimyasal ekserjileri [29].

Baca gazı bileşenleri	Mol kesirleri (kmol/s)	Molar oran (M) (%)	Standart Molar Kimyasal Ekserji (\bar{e}_{kim}) (kJ/kmol)
CO ₂	18,97*0,1873=3,5530	0,1873	19870
H ₂ O	18,97*0,0799=1,5157	0,0799	9500
SO ₂	18,97*0,0066=0,1252	0,0066	313400
N ₂	18,97*0,7260=13,7722	0,7260	720
Toplam	18,97	1	-

Baca gazı 453,15 K (180+273,15) sıcaklıkta olup özgül ısı termodinamik tablolardan yararlanılarak aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır.

$$\bar{c}_{p,\text{bacagazi}} = M_{\text{CO}_2} \bar{c}_{p,\text{CO}_2} + M_{\text{H}_2\text{O}} \bar{c}_{p,\text{H}_2\text{O}} + M_{\text{SO}_2} \bar{c}_{p,\text{SO}_2} + M_{\text{N}_2} \bar{c}_{p,\text{N}_2}$$

$$\bar{c}_p(T) = a + bT + cT^2 + dT^3, (T \rightarrow K, \bar{c}_p = \text{kJ / kmol K}) \quad (5.13)$$

$$\bar{c}_{p,\text{CO}_2}(T) = 22,26 + (5,981 \cdot 10^{-2})(453,15) + (-3,501 \cdot 10^{-5})(453,15^2)$$

$$+(7,469 \cdot 10^{-9})(453,15^3)$$

$$\bar{c}_{p,CO_2}(T) = 42,86 \text{ kJ/kmolK}$$

$$\bar{c}_{p,H_2O}(T) = 32,24 + (0,1923 \cdot 10^{-2})(453,15) + (1,055 \cdot 10^{-5})(453,15^2)$$

$$+(-3,595 \cdot 10^{-9})(453,15^3)$$

$$\bar{c}_{p,H_2O}(T) = 34,94 \text{ kJ/kmolK}$$

$$\bar{c}_{p,SO_2}(T) = 25,78 + (5,795 \cdot 10^{-2})(453,15) + (-3,812 \cdot 10^{-5})(453,15^2)$$

$$+(8,612 \cdot 10^{-9})(453,15^3)$$

$$\bar{c}_{p,SO_2}(T) = 45,01 \text{ kJ/kmolK}$$

$$\bar{c}_{p,N_2}(T) = 28,90 + (-0,1571 \cdot 10^{-2})(453,15) + (0,8081 \cdot 10^{-5})(453,15^2)$$

$$+(-2,873 \cdot 10^{-9})(453,15^3)$$

$$\bar{c}_{p,N_2}(T) = 29,58 \text{ kJ/kmolK}$$

$$\bar{c}_{p,bacagazi} = 42,86 * 0,1873 + 34,94 * 0,0799 + 45,01 * 0,0066$$

$$+ 29,58 * 0,7260$$

$$\bar{c}_{p,bacagazi} = 32,59 \text{ kJ/kmolK}$$

Baca gazının özgül ısısının baca gazı ile atmosfer sıcaklığı farkı ile çarpılması sonucu baca gazı entalpi değeri bulunmuş olur.

$$\bar{c}_{p,bacagazi} = \frac{h - h_0}{T - T_0} \quad (5.17)$$

$$32,59 = \frac{h - h_0}{453,15 - 298,15}$$

$$h - h_0 = 5377,60 \text{ kJ/kmol}$$

5.18.4 Baca gazının kimyasal ve fiziksel ekserji hesapları

$$(\bar{e}x^{kim})_{bacagazi} = \Sigma M \bar{e}x^{kim} + \bar{R} T_0 \ln M \quad (5.18)$$

$$\begin{aligned} (\bar{e}x^{kim})_{bacagazi} = & M_{CO_2} \bar{e}x^{kim}_{CO_2} + \bar{R} T_0 M_{CO_2} \ln M_{CO_2} + M_{H_2O} \bar{e}x^{kim}_{H_2O} + \bar{R} T_0 M_{H_2O} \ln M_{H_2O} \\ & + M_{SO_2} \bar{e}x^{kim}_{SO_2} + \bar{R} T_0 M_{SO_2} \ln M_{SO_2} + M_{N_2} \bar{e}x^{kim}_{N_2} + \bar{R} T_0 M_{N_2} \ln M_{N_2} \end{aligned}$$

$$(\bar{e}^{x^{kim}})_{bacagazi} = 0,1873 * 19870 + 0,0799 * 9500 + 0,0066 * 313400 + 0,726 * 720 \\ + 8,314 * 298,15 (0,1873 \cdot \ln(0,1873) + 0,0799 * \ln(0,0799) + 0,0066 \\ * \ln(0,0066) + 0,726 * \ln(0,726))$$

$$(\bar{e}^{x^{kim}})_{bacagazi} = 5135,3 \text{ kJ/kmol}$$

$$(\bar{e}^{x^{fiz}})_{bacagazi} = \bar{c}_{p,bacagazi} \left[(T - T_0) - T_0 \ln \frac{T}{T_0} \right] + \bar{R} T_0 \ln \frac{P}{P_0} \quad (5.12)$$

$$(\bar{e}^{x^{fiz}})_{bacagazi} = 32,59 \left[(453,15 - 298,15) - 298,15 \ln \frac{453,15}{298,15} \right] + 8,314 \cdot 298,15 \ln \frac{101,2}{100}$$

$$(\bar{e}^{x^{fiz}})_{bacagazi} = 1013,34 \text{ kJ/kmol}$$

5.18.5 Yakma havasının özellikleri

Kazana giren havanın debisi 311,5 kg/s, sıcaklığı 560,15 K (287 + 273,15) dir. Bu verilere göre termodinamik tablo A-17 den yakma havasının entalpisi $h = 555,8 \text{ kJ/kg}$ olarak okunmuştur.

Ayrıca 25°C deki atmosfer havası su buharı ve kuru havadan oluşmaktadır. Ölçümlerde yaş termometre sıcaklığı yaklaşık 19°C ve kuru termometre sıcaklığı 25°C olarak ölçülmüştür [28].

Bu sıcaklık değerlerine göre psikometrik diyagramdan özgül nemi %58, bağıl nem 0,0115 kg su buharı/ kg kuru hava olarak okunmuştur [28].

$$\dot{m}_{hava} = \dot{m}_{kuru hava} + \dot{m}_{nemli hava} \quad (5.19)$$

$$\dot{m}_{hava} = 311,5 \text{ kg/s}$$

$$\dot{m}_{nemli hava} = 311,5 \cdot 0,0115 = 3,5822 \text{ kg/s}$$

$$\dot{m}_{kuru hava} = 311,5 - 3,5822 = 307,9178 \text{ kg/s}$$

Havanın mol kütlesi 28,97 kg/kmol dür (termodinamik tablo A-1) [28].

Kuru hava $\rightarrow 307,9178 / 28,97 = 10,6288 \text{ kmol/s}$

Yakma havasının içindeki su buharının molar debisi;

$$\phi = \frac{P_{subuharı}}{P_{doy,25^\circ C}} \quad (5.20)$$

$$0,58 = \frac{P_{subuharı}}{3,1968}$$

$$P_{subuharı} = 1,8541 \text{ kpa}$$

$$\frac{\dot{n}_{\text{subuharı}}}{\dot{n}_{\text{kuru hava}} + \dot{n}_{\text{subuharı}}} = \frac{P_{\text{subuharı}}}{P_{\text{atm}}} \quad (5.21)$$

$$\frac{\dot{n}_{\text{subuharı}}}{10,6288 + \dot{n}_{\text{subuharı}}} = \frac{1,8541}{100}$$

$$\dot{n}_{\text{subuharı}} = 0,2 \text{ kmol/s}$$

Çizelge 5.23 : Nemli havaya bileşenlerinin, molar debileri, mol kesirleri ve standart molar kimyasal ekserjileri [29].

Nemli havanın bileşenleri	Molar debi (\dot{M}) kmol/s	Molar oran (M)	Standart Molar Kimyasal Ekserji (\bar{e}_{kim}) (kJ/kmol)
H ₂ O	0,2	0,003	9500
N ₂	X= 52,469	0,787	720
O ₂	Y= 13,467	0,202	3970
Toplam	Z= 66,67	1	-

$$z M_{\text{H}_2\text{O}} = \dot{M}_{\text{H}_2\text{O}}$$

$$z * 0,003 = 0,2 \rightarrow z = 66,67 \text{ kmol/s}$$

$$x = 66,66 * 0,787 \rightarrow x = 52,469 \text{ kmol/s}$$

$$y = 66,66 * 0,202 \rightarrow y = 13,467 \text{ kmol/s}$$

Olarak bulunur.

Yakma havasının özgül ısısı 560,15 K (287+273,15) için termodinamik tablolardan $\bar{c}_{p,\text{hava}} = 1,043$ kJ/kg K olarak okunur.

5.18.6 Yakma havasının kimyasal ve fiziksel ekserji hesapları

$$(\bar{e}_x^{\text{kim}})_{\text{hava}} = \Sigma M \bar{e}_x^{\text{kim}} + \bar{R} T_0 \ln M \quad (5.18)$$

$$(\bar{e}_x^{\text{kim}})_{\text{hava}} = M_{\text{H}_2\text{O}} \bar{e}_x^{\text{kim}}_{\text{H}_2\text{O}} + \bar{R} T_0 \ln M_{\text{H}_2\text{O}} + M_{\text{N}_2} \bar{e}_x^{\text{kim}}_{\text{N}_2} + \bar{R} T_0 \ln M_{\text{N}_2}$$

$$+ M_{\text{O}_2} \bar{e}_x^{\text{kim}}_{\text{O}_2} + \bar{R} T_0 \ln M_{\text{O}_2}$$

$$(\bar{e}_x^{\text{kim}})_{\text{hava}} = 0,003 \cdot 9500 + 0,787 \cdot 720 + 0,202 \cdot 3970$$

$$+ 8,314 \cdot 298,15 (0,003 \cdot \ln(0,003) + 0,787 \cdot \ln(0,787) + 0,202 \cdot \ln(0,202))$$

$$(\bar{e}_x^{\text{kim}})_{\text{hava}} = 106,14 \text{ kJ/kmol}$$

$$(\bar{e}_x^{\text{fiz}})_{\text{hava}} = \bar{c}_{p,\text{hava}} \left[(T - T_0) - T_0 \ln \frac{T}{T_0} \right] + \bar{R} T_0 \ln \frac{P}{P_0} \quad (5.12)$$

$$(\bar{e}x^{fiz})_{hava} = 1,043 \left[(560,15 - 298,15) - 298,15 \ln \frac{560,15}{298,15} \right] + 8,314 \cdot 298,15 \ln \frac{101,6}{100}$$

$$(\bar{e}x^{fiz})_{hava} = 116,51 \text{ kJ/kmol}$$

5.18.7 Kazana giren çıkan su ve buharların ekserji hesapları

Termodinamik tablo A-4 den $P_{doy,25^\circ C}$ 'nin 3,1698 kPa olduğu okunmuştur. Ayrıca atmosferdeki suyun standart kısmi basıncı ise $P_\infty = 0,88 \text{ kPa}$ dır [28,30].

$$(\bar{e}x^{kim})_{beslemesuyu} = \bar{R} T_0 \ln \frac{P_{doy,25^\circ C}}{P_\infty} \quad (5.22)$$

$$(\bar{e}x^{kim})_{beslemesuyu} = 8,314 \cdot 298,15 \ln \frac{3,1698}{0,88}$$

$$(\bar{e}x^{kim})_{beslemesuyu} = 3176,6 \text{ kJ/kg}$$

$$(\bar{e}x^{fiz})_{beslemesuyu} = (h_{19} - h_0) - T_0(s_{19} - s_0) \quad (5.7)$$

$$(\bar{e}x^{fiz})_{beslemesuyu} = 280,24 \text{ kJ/kg}$$

$$(\bar{e}x^{fiz})_{2a} = (h_{2a} - h_0) - T_0(s_{2a} - s_0) \quad (5.7)$$

$$(\bar{e}x^{fiz})_{2a} = 1099,88 \text{ kJ/kg}$$

$$(\bar{e}x^{fiz})_1 = (h_1 - h_0) - T_0(s_1 - s_0) \quad (5.7)$$

$$(\bar{e}x^{fiz})_1 = 1475,42 \text{ kJ/kg}$$

$$(\bar{e}x^{fiz})_3 = (h_3 - h_0) - T_0(s_3 - s_0) \quad (5.7)$$

$$(\bar{e}x^{fiz})_3 = 1374,2 \text{ kJ/kg}$$

(Bu değerler Excel de hesaplanmıştır.)

5.18.8 Kazanın çevreye ısı kaybı ve ısı verim hesabı

$$\dot{Q}_{kyp} = \sum \dot{m}_g h_g - \sum \dot{m}_c h_c \quad (5.23)$$

$$= \dot{m}_{2a} h_{2a} + \dot{m}_{19} h_{19} + \dot{m}_{liniyit} h_{liniyit} + \dot{m}_{hava} h_{hava} - \dot{m}_1 h_1 - \dot{m}_3 h_3 - \dot{n}_{bacagazi} h_{bacagazi}$$

$$= 821217,31 + 301084,87 + 212,3 \cdot 3977,46 - 917240,03 - 873159,87 - 18,97 \cdot 5377,60$$

$$= 74303,97 \text{ kW}$$

$$\eta_{\text{ısı}} = \frac{\dot{W}_{\text{net}}}{\dot{Q}_{\text{giren}}} \quad (5.24)$$

$$\eta_{\text{Isıl}} = \frac{\dot{m}_1 h_1 + \dot{m}_3 h_3 - \dot{m}_{2a} h_{2a} + \dot{m}_{19} h_{19}}{\dot{m}_{\text{liniyit}} h_{\text{liniyit}}}$$

$$\eta_{\text{Isıl}} = \frac{917240,03 + 873159,87 - 821217,31 - 301084,87}{212,3 * 3977,46} = 0,791 \rightarrow \eta = \%79,1$$

Bulunur.

5.18.9 Kazandaki tersinmezliğin (ekserji kaybının) hesaplanması

$$\Sigma I = \Sigma \dot{E}x_{\text{kyp}} = \Sigma \dot{E}x_g - \Sigma \dot{E}x_{\text{ç}} \quad (5.25)$$

$$= \dot{E}x_{\text{hava}} + \dot{E}x_{\text{liniyit}} + \dot{E}x_{2c} + \dot{E}x_{17} - \dot{E}x_{\text{bacagazı}} - \dot{E}x_1 - \dot{E}x_3$$

$$\dot{E}x_{\text{hava}} = \dot{M}_{\text{hava}}((\bar{e}x^{\text{kim}})_{\text{hava}} + (\bar{e}x^{\text{fiz}})_{\text{hava}}) \quad (5.26)$$

$$= 66,67(106,14 + 116,51)$$

$$\dot{E}x_{\text{hava}} = 14844,07 \text{ kW}$$

$$\dot{E}x_{\text{liniyit}} = \dot{m}_{\text{liniyit}}(\bar{e}x^{\text{kim}})_{\text{liniyit}} + \dot{M}_{\text{liniyit}}(\bar{e}x^{\text{fiz}})_{\text{liniyit}} \quad (5.27)$$

$$= 212,3 * 3977,46 + 3,313 * 1955,1936$$

$$\dot{E}x_{\text{liniyit}} = 850892,31 \text{ kW}$$

$$\dot{E}x_{2a} = \dot{m}_{2a}(\bar{e}x^{\text{fiz}})_{2a} = 273,06 * 1099,88 \quad (5.28)$$

$$\dot{E}x_{2a} = 273138,4 \text{ kW}$$

$$\dot{E}x_{19} = \dot{m}_{19}(\bar{e}x^{\text{fiz}})_{19} = 273,33 * 280,24 \quad (5.28)$$

$$\dot{E}x_{19} = 76600,45 \text{ kW}$$

$$\Sigma \dot{E}x_g = 14844,07 + 850892,31 + 273138,4 + 76600,45$$

$$\Sigma \dot{E}x_g = 1215475,23 \text{ kW}$$

$$\dot{E}x_{\text{hava}} = \dot{M}_{\text{bacagazı}}((\bar{e}x^{\text{kim}})_{\text{bacagazı}} + (\bar{e}x^{\text{fiz}})_{\text{bacagazı}}) \quad (5.26)$$

$$\dot{E}x_{\text{hava}} = 18,97(5377,6 + 1013,34)$$

$$\dot{E}x_{\text{hava}} = 121236,13 \text{ kW}$$

$$\dot{E}x_1 = \dot{m}_1(\bar{e}x^{\text{fiz}})_1 = 273,06 * 1475,42 \quad (5.28)$$

$$\dot{E}x_1 = 402873,82 \text{ kW}$$

$$\dot{E}x_3 = \dot{m}_3(\bar{e}x^{\text{fiz}})_3 = 248,33 * 1374,2 \quad (5.28)$$

$$\dot{E}x_3 = 341259,61 \text{ kW}$$

$$\dot{E}x_{\text{çıkan}} = 121236,13 + 402873,82 + 341259,61$$

$$\dot{E}x_{\text{çıkan}} = 865369,56 \text{ kW}$$

$$\Sigma I = \Sigma \dot{E}x_{\text{kyp}} = 1215475,23 - 865369,56$$

$$\Sigma I = \Sigma \dot{E}x_{\text{kyp}} = 350105,67 \text{ kW}$$

Kazanın ikinci yasa verimi;

$$\eta_{II, \text{KAZAN}} = 1 - \frac{\Sigma I = \Sigma \dot{E}x_{\text{kyp}}}{\dot{E}x_{\text{liniyit}}} \quad (5.29)$$

$$= 1 - \frac{350105,67}{850892,31} = 0,588 \rightarrow \eta = \%58,8$$

Olarak bulunmuştur.

5.18.10 Santralin ısı verimi ve ikinci yasa verimi

Santralde üretilen net güç;

$$\dot{W}_{\text{net}} = \dot{W}_{\text{türbin}} - \dot{W}_{\text{pompa}} \quad (5.30)$$

$$= \dot{W}_{\text{YBT}} + \dot{W}_{\text{OBT}} + \dot{W}_{\text{ABT}} + \dot{W}_{\text{BFPT}} - \dot{W}_{\text{KTP}} - \dot{W}_{\text{KBP}}$$

$$= 96022,2 + 118115,66 + 89366,01 + 8548,83 - 418,49 - 9834,53$$

$$\dot{W}_{\text{net}} = 301799,68 \text{ kW}$$

$$\dot{Q}_{\text{giren}} = \dot{m}_{\text{liniyit}} h_{\text{liniyit}}$$

$$\dot{Q}_{\text{giren}} = 212,3 * 3977,46 = 844414,76 \text{ kW}$$

Santralin ısı verimi;

$$\eta_{\text{ısı}} = \frac{\dot{W}_{\text{net}}}{\dot{Q}_{\text{giren}}} \quad (5.24)$$

$$\eta_{\text{ısı}} = \frac{301799,68}{844414,76} = 0,357 \rightarrow \eta = \%35,7$$

Bulunur.

Santralin ikinci yasa verimi;

Belirli iki sıcaklık sınırı arasında en verimli çevrimin Carnot çevrimi olmasına rağmen bu çevrimin buharlı güç santralleri için uygun bir çevrim olmadığı daha önce belirtilmişti ancak santralin ikinci yasa verimi Carnot çevrimine göre hesaplanmaktadır.

$$\eta_{II,SANTRAL} = \frac{\text{Santralin Isıl Verimi}}{\text{Santralin Carnot Çevrimine Göre Isıl Verimi}} \quad (5.31)$$

$$\eta_{Isıl,Carnot} = 1 - \frac{T_D}{T_Y} \quad (5.32)$$

$$\eta_{Isıl,Carnot} = 1 - \frac{38,1 + 273,15}{530 + 273,15} = 0,6124 \rightarrow \text{verim \%61,24}$$

Buradan;

$$\eta_{II,SANTRAL} = \frac{\%35,7}{\%61,24} = 0,547 \rightarrow \eta = \%58,29$$

bulunur.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tezde Kahramanmaraş'ın Afşin Elbistan bölgesinde bulunan A Termik Santralinin enerji ve ekserji analizleri yapılmıştır. Yapılan bu analizler 25°C atmosfer sıcaklığı ve 100 kPa atmosfer basıncında 330970 kW kapasite ile çalışan ünite için yapılmıştır.

537°C sıcaklıkta kazandan çıkan kızgın buhar 16300 kPa basınçla yüksek basınç türbinine girmektedir. Yüksek basınç türbininde yapılan iş 96 MW, ekserji kaybı 6526,01 kW ve ikinci yasa verimi %93,6'dır. Orta basınç türbinine 530°C sıcaklık ve 3840 kPa basınçla kazandan (YBT' den çıktıktan sonra kuruluk derecesini arttırmak için ara ısıtma yapılarak) gelen kızgın buhar orta basınç türbininden 276,2°C sıcaklık ve 604 kPa basınçla çıkarak alçak basınç türbinine girmektedir. Orta basınç türbininde yapılan iş 118 MW, ekserji kaybı 6028,01 kW ve ikinci yasa verimi %95,14' dür. 276,2°C sıcaklık ve 604 kPa basınçla alçak basınç türbinine giren kızgın buhar buradan yoğunlaştırılmak üzere kondensere aktarılmaktadır. Alçak basınç türbininde yapılan iş 84 MW, ekserji kaybı 53160,41 kW ve ikinci yasa verimi %61,2' dir. 38,1°C ve 6,66 kPa basınçla alçak basınç türbininden kondensere gelen çürük buhar burada soğutma suyuyla yoğunlaştırılmaktadır. Kondenserin ekserji kaybı 6388,16 kW ve ikinci yasa verimi %63,5'dir. Alçak basınç ısıtıcılarının ikinci yasa verimleri sırasıyla %96,7 (ABSI-I), %80 (ABSI-II), %78,6 (ABSI-III) ve %87,2 (ABSI-IV) dir.

Çizelge 6.1' de görüldüğü gibi santralde en yüksek ikinci yasa verimi ile çalışan ekipman %95,14 ile orta basınç türbini, en düşük ikinci yasa verimi ile çalışan ekipmanlar ise %44,9 ile kondenser-II ve %48 ile ejektördür.

Çizelge 6.1 : A Santraldeki ünitelerin ikinci yasa verimleri.

Ünite	Ünitelerin ikinci yasa verimleri (%)
YBT	93,6
OBT	95,14
ABT	61,2
KON-I	63,5
KTP	90,2
Ejektör	48
Gland Kon	86,1
ABSI-I	96,7
ABSI-II	80
ABSI-III	78,6
ABSI-IV	93,3
DKBT	88,1
KBP	86,7
YBSI-I	87
YBSI-II	93,3
BFPT	66,8
KON-II	44,9
KAZAN	58,8

Türbinlerden yüksek basınç ısıtıcıları, alçak basınç ısıtıcıları ve degazöre çekilen ara buharlar türbinlerdeki ekserji kayıplarını artırıp termodinamiğin ikin yasa verimini düşürüyor olsa da santralin genel verimini arttırmaktadır.

Kazana giren linyit ve yakma havası yanma olayını gerçekleştirmektedir. Yanma sonucunda elde edilen enerji ile su kızgın buhar haline getirilirken yanma sonucu egzoz gazı ve kül oluşmaktadır. Yapılan hesaplamalar sonucunda kazanın ısı verimi yani yanma sonucu elde edilen enerjinin suya aktarılma oranı %79,1, kazanda oluşan ekserji kaybı 350 MW ve kazanın ikinci yasa verimi %58,29 olarak bulunmuştur. Şekil 6.2 de santraldeki bütün ekipmanların ve santralin toplam ekserji kayıpları gösterilmiştir. Santralin toplam ekserji kaybı 436 MW ve kazandaki ekserji kaybının toplam ekserji kaybına oranı %80,15 dir. Santralin ısı verimi %35,7, ikinci yasa verimi ise %58,29 olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 6.2 : Santraldeki ünitelerin ekserji kayıpları ve santraldeki toplam ekserji kaybına oranları.

Ünite	Ekserji kaybı (kw)	Ekipmanların toplam ekserji kaybına göre oranları(%)
YBT	6521,06	1,493003
OBT	6028,01	1,380119
ABT	53160,41	12,17113
KON-I	6388,16	1,462576
KTP	40,81	0,009343
Ejektör	35,17	0,008052
Gland Kon	7,68	0,001758
ABSI-I	706,08	0,161658
ABSI-II	783,95	0,179486
ABSI-III	1498,34	0,343046
ABSI-IV	577,1	0,132128
DKBT	836,71	0,191566
KBP	1312,06	0,300397
YBSI-I	2074,93	0,475057
YBSI-II	1378,83	0,315684
BFPT	4230,29	0,968529
KON-II	1089,44	0,249428
KAZAN	350105,67	80,15704
Toplam	436774,7	-

Sonuç olarak santraldeki en fazla ekserji kaybı %80,15 ile kazanda meydana gelmektedir. Yapılan kaynak araştırmalarında da en fazla ekserji kaybının kazanda gerçekleştiği bulgusuna ulaşılmıştı. Bu nedenle yapılan bu çalışmadaki sonuçlar kaynaklar ile uyumluluk arz etmektedir. Santralde kazandan sonra en fazla ekserji kaybının gerçekleştiği ekipman %12,17 ile alçak basınç türbinidir. Alçak basınç türbininde ekserji kaybının bu oranda yüksek olmasının sebebi alçak basınç türbininden çekilen ara buharlardır.

Santraldeki ekserji kaybının azaltılması;

- Santrali oluşturan ünitelerde yapılacak iyileştirmeler
- Kazan ve kondenserde ısı transferine engel olabilecek faktörlerin ortadan kaldırılması (kazan ve kondenser borularında tortu oluşumunu engellemek gibi)

- Santrali oluşturan bütün ünitelerin ve üniteler arasındaki tesisatın ısı yalıtımının en iyi şekilde sağlanarak çevre ile olan ısı transferini en aza indirmek
- Yanma olayının uygun yakıt ve hava oranlarında gerçekleştirilmesi ile mümkün olabilir.

Ayrıca kondenserde yoğuşturulan çürük buhar enerjisinin soğutma suyuyla atmosfere atılması yerine bölgesel ısıtmada veya santral çevresinde bulunan uygun tarım arazilerinde seracılık faaliyetlerinde kullanılması hem bölge halkına hem de ülkemize fayda sağlayacaktır.



KAYNAKLAR

- [1] **Uluslararası Enerji Ajansı.** (IEA). Erişim: 04 Ekim 2019, <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2018>
- [2] **ABD Enerji Bilgi İdaresi.** (EIA). Erişim: 21 Ağustos 2019, <http://www.eia.gov/beta/international/>
- [3] **British Petroleum.** (BP). Erişim: 17 Eylül 2019, <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2018-full-report.pdf>
- [4] **Eurostat.** Erişim 01 Ekim 2019, <https://ec.europa.eu/eurostat/documents/3217494/9433240/KS-DK-18-001-EN-N.pdf/73283db2-a66b-4d34-9818-b61a08883681>
- [5] **British Petroleum.** (BP). Erişim: 14 Eylül 2019, <https://www.bp.com/content/dam/bp/businesssites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/energy-outlook/bp-energy-outlook-2018.pdf>
- [6] **ABD Enerji Bilgi İdaresi.** (EIA). Erişim: 06 Ekim 2019, <https://www.eia.gov/analysis/studies/worldshalegas/>
- [7] **Intergovernmental Panel on Climate Change.** Erişim: 09 Ekim 2019, https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/WGIIIAR5_SPM_TS_Volume-3.pdf
- [8] **Global Carbon Atlas.** Erişim: 10 Ağustos 2019, <http://globalcarbonatlas.org/en/CO2-emissions>
- [9] **Dönmez, F.** (2018). *2019 Yılı Enerji Bakanlığı Bütçe Sunumu*, Ankara. TBMM Plan ve Bütçe Komisyonu.
- [10] **T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı.** Erişim: 15 Ekim 2019, <http://www.eigm.gov.tr>
- [11] **T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı.** Erişim: 25 Ekim 2019, <https://www.eigm.gov.tr/tr-TR/Denge-Tablolari/Denge-Tablolari>
- [12] **Türkiye İstatistik Kurumu,** “Yıllara Göre İl Nüfusları”. Erişim: 12 Ekim 2019, <http://www.tuik.gov.tr/UstMenu.do?metod=temelist>
- [13] **EÜAŞ.** (EÜAŞ yıllık raporu 2018). Erişim: 6 Ekim 2019, <https://www.euas.gov.tr/tr-TR/yillik-raporlar>
- [14] **EPDK.** (EPDK’ dan lisans almış olan inşa halindeki projelerin ilerleme durumları). Erişim: 5 Ekim 2019, <https://www.epdk.org.tr/Detay/Icerik/3-0-86-3/elektriklisans-islemleri>

- [15] **T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı.** Erişim: 12 Ekim 2019,
<http://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Nukleer-Enerji>
- [16] **EPIAŞ.** Erişim: 15 Eylül 2019,
<https://rapor.epias.com.tr/rapor/xhtml/dgpKatilimciSayisi.xhtml>
- [17] **Tekel, E.** (2006). *Termik Santrallerin Enerji ve Ekserji Analizleri* (Yüksek lisans tezi). Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli.
- [18] **Tüközü, B.** (2008). *Çumra Şeker Fabrikası Ekserji Analizi* (Yüksek lisans tezi). Selçuk Üniversitesi, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Konya.
- [19] **Regulagadda, P. & Dincer, I.** (2009). Exergy analysis of a thermal power plant with measured boiler and turbine losses, *Applied Thermal Engineering*, 30 (10), 970-976.
- [20] **Geredelioğlu, Ç.** (2011). *Çayırhan Termik Santralinin Enerji ve Ekserji Analizi* (Yüksek lisans tezi). Süleyman Demirel Üniversitesi, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Isparta.
- [21] **Filiz, Ç.** (2012). *Bir Buhar Kazanının Enerji ve Ekserji Analizi Yoluyla Performansının Değerlendirilmesi* (Yüksek lisans tezi). Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Karabük.
- [22] **Tontu, M.** (2013). *Energy and Exergy Analysis of Steam Power Plant* (Master of science). Çukurova University, Department Of Mechanical Engineering, Adana.
- [23] **Vuc'kovic', G. D. & Stojiljkovic', M. M.** (2015). First and second level of exergy destruction splitting in advanced exergy analysis for an existing boiler, *Applied Thermal Engineering*, 104 (15), 8-16.
- [24] **Dinçol, Ş.** (2016). *Soma Termik Santralinin Enerji ve Ekserji Analizi* (Yüksek lisans tezi). Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- [25] **Ibrahima, T. K. & Mohammed, M. K.** (2016). A comprehensive review on the exergy analysis of combined cycle power plants, *Applied Thermal Engineering*, 90 (18), 835-850.
- [26] **Erzen, S.** (2018). *Kangal Termik Santralinin Enerji ve Ekserji Analizi* (Yüksek lisans tezi). Cumhuriyet Üniversitesi, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Sivas.
- [27] **Bayrakçeken, H.** (2019). *Doğal Gazlı Kombine Çevrimli Bir Santralin Ekserji Analizi ile İncelenmesi* (Yüksek lisans tezi). Bülent Ecevit Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Zonguldak.
- [28] **Çengel, Y. & Boles, M.** (2013). *Mühendislik Yaklaşımıyla Termodinamik*. Ankara:Palme.

[29] **Yüncü, H.** (2010). *Ekserji Analizi (İkinci Kanun Verimi & Termoekonomi)*. Ankara:ODTÜ Basım İşliği.

[30] **Kotas, T. J.** (1995). *The Exergy Method of Thermal Plant Analysis*. Florida: Krieger Publishing.



ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad: Fikret ALTUNBAŞ

Doğum Yeri ve Tarihi: Bozkır / 22.01.1987

Adres: Yeşilyurt Mah. Halil İbrahim Özdemir Cad. No:2
Çiftçioğlu Apt. Kat 6 İç Kapı No:14
Afşin/KAHRAMANMARAŞ

E- Posta: fikret.altunbas@euas.gov.tr

Lisans: Selçuk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi
Makine Mühendisliği Bölümü (2007-2012)

Yüksek Lisans: İnönü Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı (2017-)