

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ ENERJİ ENSTİTÜSÜ

**EÜAŞ AMBARLI DOĞALGAZ KOMBİNE ÇEVİRİM SANTRALİNİN ENERJİ
VE EKSERJİ ANALİZİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Serdar ÇİLOĞLU

Enerji Bilim ve Teknoloji Anabilim Dalı

Enerji Bilim ve Teknoloji Programı

NİSAN 2019

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ ENERJİ ENSTİTÜSÜ

**EÜAŞ AMBARLI DOĞALGAZ KOMBİNE ÇEVİRİM SANTRALİNİN ENERJİ
VE EKSERJİ ANALİZİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Serdar ÇİLOĞLU
(301091071)**

Enerji Bilim ve Teknoloji Anabilim Dalı

Enerji Bilim ve Teknoloji Programı

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Murat ÇAKAN

NİSAN 2019

İTÜ, Enerji Enstitüsü'nün 301091071 numaralı Yüksek Lisans öğrencisi Serdar ÇİLOĞLU, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “EÜAŞ AMBARLI DOĞALGAZ KOMBİNE ÇEVİRİM SANTRALİNİN ENERJİ VE EKSERJİ ANALİZİ ” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Dr. Öğr. Üyesi Murat ÇAKAN**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Ahmet DURMAYAZ**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Hasan BEDİR
Boğaziçi Üniversitesi

Teslim Tarihi : **30 NİSAN 2019**
Savunma Tarihi : **12 HAZİRAN 2019**

Sevgili Anneme ve Babama,

ÖNSÖZ

Beni bu çalışmam ve tüm eğitim hayatım süresince büyük fedakârlıklar göstererek destekleyen çok değerli Anneme ve Babama teşekkürü bir borç bilirim. Bana bu tez çalışmam süresince bilgi ve tecrübeleri ile yol gösteren ve yardımlarını esirgemeyen çok değerli hocam Dr. Öğr. Üyesi Murat ÇAKAN'a teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca tez çalışmam için gerekli olan belge ve bilgilerin temini için her türlü yardımları ile destek olan EÜAŞ Ambarlı Doğalgaz Kombine Çevrim Santrali yöneticileri ve çalışanlarına teşekkür ederim.

Nisan 2019

Serdar ÇİLOĞLU
Makina Mühendisi

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xiii
SEMBOLLER	xv
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xvii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xix
ÖZET.....	xxiii
SUMMARY	xxv
1. GİRİŞ	1
1.1 Tezin Amacı	3
1.2 Literatür Araştırması	6
2. EÜAŞ AMBARLI DOĞALGAZ KOMBİNE ÇEVİRİM SANTRALİ	13
2.1. Gaz Türbini Elektrik Üretici Grubu	14
2.1.1. Çok kademeli hava filtresi	15
2.1.2. Gaz türbini.....	16
2.1.3. Gaz türbini jeneratörü	19
2.1.4. Gaz türbini bacası.....	20
2.2. Atık Isı Geri Kazanım Kazanı (AIGKK)	21
2.2.1. Yüksek basınç buhar hattı	23
2.2.2. Alçak basınç buhar hattı.....	24
2.3. Besleme Suyu Sistemi	24
2.3.1. Yoğuşturucu çıkışındaki ana yoğuşmuş su pompası.....	26
2.3.2. Yoğuşmuş su ön ısıtıcı	27
2.3.3. Besleme suyu tankı	27
2.3.4. Besleme suyu pompa sistemi	28
2.3.5. Su saflaştırma sistemi.....	29
2.4. Buhar Türbini Elektrik Üretici Grubu	30
2.4.1. Buhar türbini	31
2.4.2. Sızdırmazlık buhar sistemi.....	33
2.4.3. Buhar türbini jeneratörü	34
2.5. Yoğuşturucu Grubu	35
2.5.1. Yoğuşturucu	35
2.5.2. Soğutma suyu pompası	37
2.6. Destek Ekipmanları ve Sistemleri	39
2.6.1. Yağlama sistemi	39
2.6.3. Yedek yağyakıt tankları	42
2.6.4. Elektrik aktarma sahası	42
2.6.5. Yardımcı soğutma sitemi	42
2.6.6. Hava kompresör sistemi.....	43
2.6.7. Yangın söndürme suyu sistemi	43
2.6.8. Yardımcı buhar kolektörü	44

3. CYCLE-TEMPO PROGRAMI	45
3.1. Cycle-Tempo Programında Kullanılan Ekipmanlar	47
3.1.1. Türbin (Tip 3).....	48
3.1.2. Yoğuşturucu (Tip 4).....	50
3.1.3. Besleme suyu ısıtıcısı (Tip 5).....	52
3.1.4. Standart ısı değıştirici (Tip 6 ve 12).....	54
3.1.5. Gazsızlaştırma ünitesi (gaz alıcı) (Tip 7)	55
3.1.6. Pompa (Tip 8).....	56
3.1.7. Nokta (karıştııcı ve ayırıcı) (Tip 9 ve 11)	57
3.1.8. Kaynak (Tip 10)	59
3.1.9. Isı kaynağı veya ısı kuyusu (Tip 10)	60
3.1.10. Baca (Tip 10).....	61
3.1.11. Yanma odası (Tip 13).....	62
3.1.12. Vana (Tip 14)	63
3.1.13. Doymuş sıvı buhar ayırıcı kazan (Tip 15).....	65
3.1.14. Kompresör (Tip 29).....	66
3.1.15. Gaz türbini grubu (Tip 30)	67
3.1.16. Elektrik üreticisi (Tip G)	68
3.2 Cycle-Tempo Programının Kullanılışı	69
3.3. Cycle-Tempo Programının Temel Çalışma Prensibi.....	71
4. EÜAŞ AMBARLI DOĞALGAZ KOMBİNE ÇEVİRİM SANTRALİNİN CYCLE-TEMPO PROGRAMI İLE MODELLENMESİ.....	81
5. ENERJİ VE EKSERJİ ANALİZİ	87
5.1 Bazı Temel Termodinamik Kavramları ve Tanımları	88
5.1.1. Entropi.....	90
5.1.2. Ekserji.....	92
5.1.3. Ekserji çeşitleri.....	94
5.1.3.1. Fiziksel ekserji.....	94
5.1.3.2. Kimyasal ekserji.....	94
5.1.3.3. Madde akışı ile ekserji transferi	97
5.1.3.4. İşin ekserji eşdeğeri.....	97
5.1.3.5. Isı transferinin ekserji eşdeğeri	97
5.1.4. Ekserji analizi	98
5.1.5. Enerji ve ekserji analizlerinde performans kriterleri.....	100
5.1.5.1. Türbinlerde genişleme prosesi	102
5.1.5.2. Pompalarda sıkıştırma prosesi.....	103
5.1.5.3. Isı değıştiriciler ve yoğuşturucular	103
5.1.5.4. Yanma odasında enerji dönüşümü	103
5.1.5.5. Gaz türbini.....	104
5.2. EÜAŞ Ambarlı DGKÇS Enerji ve Ekserji Analizi Hesapları.....	104
5.2.1. Doğalgaz debisi hesabı.....	107
5.2.2. Doğalgaz termodinamik özellikleri hesabı.....	107
5.2.3. Yoğuşturucu	107
5.2.4. Sızıntı buharı yoğuşturucusu	109
5.2.5. Buhar türbinleri	110
5.2.5.1. Yüksek basınç buhar türbini (YBT)	111
5.2.5.2. Alçak basınç buhar türbini (ABT).....	112
5.2.6. Gaz türbini.....	114
5.2.7. Atık ısı geri kazanım kazanı (AIGKK)	116
5.2.8. Besleme suyu tankı - Gazsızlaştırma ünitesi (Gaz alıcı):.....	117

5.2.9. Pompa güçleri	118
5.2.9.1. Ana yoğuşmuş su pompası.....	118
5.2.9.2. AB besleme suyu pompası.....	119
5.2.9.3. YB besleme suyu pompası.....	120
5.2.9.4. Deniz suyu pompası.....	121
5.2.9.5. YB buharlaştırıcı devridaim pompası	122
5.2.9.6. AB buharlaştırıcı devridaim pompası	123
5.2.10. Santralin ısı verimi ve ekserji verimi analizi	124
6. SANTRALDE ÖLÇÜLEN VERİLER VE CTP MODELİ İLE ENERJİ VE EKSERJİ ANALİZİ	127
7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	133
KAYNAKLAR	137
EKLER.....	141
ÖZGEÇMİŞ.....	167

KISALTMALAR

ABT	: Alçak Basınç Buhar Türbini
AIGKK	: Atık Isı Geri Kazanım Kazanı
BOTAŞ	: Boru Hatları ve Petrol Taşıma Anonim Şirketi
BT	: Buhar Türbini
CTP	: Cycle-Tempo Programı
DKÇS	: Doğalgaz Kombine Çevrim Santrali
DSBAK	: Doymuş Sıvı Buhar Ayırıcı Kazan
EÜAŞ	: Elektrik Üretim Anonim Şirketi
GT	: Gaz Türbini
GTEÜG	: Gaz Türbini Elektrik Üreticisi Grubu
kW	: Kilo Watt
K	: Kompresör
MW	: Mega Watt
P	: Pompa
AID	: Yakıt Alt Isıl Değeri (LHV)
YBT	: Yüksek Basınç Buhar Türbini

SEMBOLLER

V	: Akış Yönünde Ortalama Hız, (m/s)
A	: Akış Yönüne Dik Kesit Alanı, (m ²)
n	: Azot
P	: Basınç, (bar)
η	: Birinci Yasa Verimi
$\dot{W}$	: Birim Zamandaki İş, (kW)
$\dot{Q}$	: Birim Zamandaki Isı Geçişi, (kW)
$\dot{I}$	: Birim Zamandaki Tersinmezlik, (kW)
E	: Birim Zamandaki Enerji Akışı, (kW)
$\dot{E}_x$	: Birim Zamandaki Ekserji Akışı, (kW)
ε	: Birim Kütle İçin Ekserji, (kJ/kg)
buhar	: Buhar
çev	: Çevre
P_0	: Çevre (Ölü Hal) Basıncı, (bara)
h_0	: Çevre (Ölü Hal) Entalpisi, (kJ/kg)
s_0	: Çevre (Ölü Hal) Entropisi, (kJ/kg K)
T_0	: Çevre (Ölü Hal) Sıcaklığı, (K)
ç	: Çıkış
dog.gaz	: Doğal gaz
elk	: Elektrik
h	: Entalpi, (kJ/kg)
s	: Entropi, (kJ/kg K)
fz	: Fiziksel
gaz	: Gaz
gazsız	: Gazsızlaştırma ünitesi – besleme suyu tankı – gaz alıcı
g	: Giriş
Q	: Isı
I	: Isıl
ψ	: İkinci Yasa Verimi
W	: İş
jen	: Jeneratör
c	: Karbon
kim	: Kimyasal
k	: Kinetik
komp	: Kompresör
kh	: Kontrol Hacmi
kuru	: Kuru
M	: Kütle
$\dot{m}$	: Kütleli Debi, (kg/s)

maks	: Maksimum
mek	: Mekanik
min	: Minimum
o	: Oksijen
ön	: Ön ısıtıcı
0	: Ölü Hal
v	: Özgöl Hacim, (m ³ /kg)
p	: Pompa, potansiyel
T	: Sıcaklık, (K)
sıvı	: Sıvı
sız.buh.yog.	: Sızıntı buharı yoğuşturucu
sistem	: Sistem
s	: Sülfür
th	: Termal
ter	: Tersinir
δ	: Tersinmezlik Oranı
turb	: Türbin
üretim	: Üretim
yakıt	: Yakıt
ε^0	: Yakıt Ekserjisi, (kJ/kg)
ϕ	: Yakıt Ekserjisinin Isıl Değere Oranı
yanmaodası	: Yanma odası
yü	: Yanma ürünü gazlar
yard buhar	: Yardımcı buhar
g	: Yerçekimi İvmesi, (m/s ²)
ρ	: Yoğunluk, (kg/m ³)
yogus	: Yoğuşturucu
yog.su	: Yoğuşmuş su
z	: Yükseklik, (m)

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : Gaz türbini nominal yük dizayn değerleri.....	17
Çizelge 2.2 : Gaz türbini jeneratörü nominal yük dizayn değerleri.....	20
Çizelge 2.3 : Atık ısı geri kazanım kazanı nominal yük dizayn değerleri.....	23
Çizelge 2.4 : Buhar türbini nominal yük dizayn değerleri	32
Çizelge 2.5 : Buhar türbini jeneratörü nominal yük dizayn değerleri	35
Çizelge 2.6 : Yoğuşturucu nominal yük dizayn değerleri	36
Çizelge 3.1 : Cycle-Tempo Programı ekipman listesi, sistem eşitliği ve semboller .	45
Çizelge 3.2 : Örnek hesaplama için başlangıç değerleri.....	74
Çizelge 5.1 : Başlıca gazların ϕ oranları	97
Çizelge 5.2 : Referans çevre modeli	99
Çizelge 5.3 : Borulardan geçen akışkanların ölçülen termodinamik özellikleri.....	106
Çizelge 6.1 : Borulardan geçen akışkanların dizayn değerleri	127
Çizelge 6.2 : Ortalama doğal gaz debisi	127
Çizelge 6.3 : Borulardan geçen akışkanların enerjinin korunumu ilkesine göre hesaplanan değerleri	128
Çizelge 6.4 : Borulardan geçen akışkanların ölçülen, hesaplanan, dizayn ve kabul edilen ortalama değerleri	129
Çizelge 6.5 : EÜAŞ Ambarlı DKÇS CTP modeli termodinamik analizi sonuçları	130
Çizelge 6.6 : CTP modelinde hesaplanan ekipmanların güç ve santralin güç ve verim değerleri	131
Çizelge 6.7 : EÜAŞ Ambarlı DKÇS ölçülen ve CTP ile hesaplanan brüt güç değerleri	131
Çizelge 7.1 : Ekipman ve borularda transfer edilen ekserji değerleri.....	133

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Gaz türbini elektrik üretici grubu	15
Şekil 2.2 : Çok kademeli hava filtresi ve trafo	16
Şekil 2.3 : Gaz türbini.....	18
Şekil 2.4 : Gaz türbini jeneratörü.....	19
Şekil 2.5 : Gaz türbini bacası.....	21
Şekil 2.6 : Atık ısı geri kazanım kazanı	22
Şekil 2.7 : Besleme suyu tankı.....	28
Şekil 2.8 : Buhar türbini grubu	31
Şekil 2.9 : Buhar türbini jeneratörü	34
Şekil 2.10 : Yoğuşturucu ve buhar türbini grubu	36
Şekil 2.11 : Yağlama sistemi	40
Şekil 3.1 : Türbin modeli için simgeler ve giriş-çıkış bilgileri.....	48
Şekil 3.2 : Türbin modeli için girdilenebilen değişkenler ve girdilenme yapılacak arayüz	49
Şekil 3.3 : Yoğuşturucu modeli için simgeler ve giriş-çıkış bilgileri.....	50
Şekil 3.4 : Yoğuşturucu modeli için girdilenebilen değişkenler ve girdilenme yapılacak arayüz.....	51
Şekil 3.5 : Besleme suyu ısıtıcısı modeli için simgeler ve giriş-çıkış bilgileri.....	53
Şekil 3.6 : Besleme suyu ısıtıcısı modeli için girdilenebilen değişkenler ve girdilenme yapılacak arayüz.....	53
Şekil 3.7 : Standart ısı değiştirici için simgeler ve giriş-çıkış bilgileri.....	54
Şekil 3.8 : Standart ısı değiştirici modeli için girdilenebilen değişkenler ve girdilenme yapılacak arayüz.....	55
Şekil 3.9 : Gazsızlaştırma ünitesi modeli için simgeler ve giriş-çıkış bilgileri	55
Şekil 3.10 : Gazsızlaştırma ünitesi modeli için girdilenebilen değişkenler ve girdilenme yapılacak arayüz.....	56
Şekil 3.11 : Pompa modeli için simgeler ve giriş-çıkış bilgileri	56
Şekil 3.12 : Pompa modeli için girdilenebilen değişkenler ve girdilenme yapılacak arayüz	57
Şekil 3.13 : Nokta modeli için simgeler ve giriş-çıkış bilgileri.....	58
Şekil 3.14 : Nokta modeli için girdilenebilen değişkenler ve girdilenme yapılacak arayüz	58
Şekil 3.15 : Kaynak modeli için simgeler ve giriş-çıkış bilgileri	60
Şekil 3.16 : Kaynak modeli için girdilenebilen değişkenler ve girdilenme yapılacak arayüz	60
Şekil 3.17 : Isı kaynağı veya kuyusu modeli için simgeler ve giriş-çıkış bilgileri..	61
Şekil 3.18 : Isı kaynağı veya kuyusu modeli için girdilenebilen değişkenler ve girdilenme yapılacak arayüz.....	61
Şekil 3.19 : Baca modeli için simgeler ve giriş-çıkış bilgileri.....	62

Şekil 3.20 : Baca modeli için girdilenebilen değişkenler ve girdilenme yapılacak arayüz	62
Şekil 3.21 : Yanma odası modeli için simgeler ve giriş-çıkış bilgileri.....	63
Şekil 3.22 : Yanma odası ekipmanı için girdilenebilen değişkenler ve girdilenme yapılacak arayüz	63
Şekil 3.23 : Vana modeli için simgeler ve giriş-çıkış bilgileri	64
Şekil 3.24 : Vana modeli için girdilenebilen değişkenler ve girdilenme yapılacak arayüz	64
Şekil 3.25 : Doymuş sıvı buhar ayırıcı kazan modeli için simgeler ve giriş-çıkış bilgileri	65
Şekil 3.26 : Doymuş sıvı buhar ayırıcı kazan modeli için girdilenebilen değişkenler ve girdilenme yapılacak arayüz.....	65
Şekil 3.27 : Kompresör modeli için simgeler ve giriş-çıkış bilgileri.....	66
Şekil 3.28 : Kompresör modeli için girdilenebilen değişkenler ve girdilenme yapılacak arayüz	66
Şekil 3.29 : Gaz türbini elektrik üreticisi grubu modeli için simgeler ve giriş-çıkış bilgileri	67
Şekil 3.30 : Cycle-Tempo Programında gaz türbini elektrik üreticisi grubu seçim ekranı.....	67
Şekil 3.31 : Elektrik üreticisi ekipmanı için simgeler ve giriş-çıkış bilgileri	68
Şekil 3.32 : Elektrik üreticisi ekipmanı için girdilenebilen değişkenler ve girdilenme yapılacak arayüz	68
Şekil 3.33 : Cycle-Tempo Programı ana penceresi.....	69
Şekil 3.34 : Cycle-Tempo Programı çalışma alanı sayfası	70
Şekil 3.35 : Cycle-Tempo Programı çalışma sonuçlarının görüntülenmesi	71
Şekil 3.36 : Cycle-Tempo Programı ile hazırlanan basit bir Rankine çevrimi.....	72
Şekil 3.37 : Basit Rankine çevrimi için sistem matrisi	72
Şekil 3.38 : Cycle-Tempo Programı örnek modelinde verilen değerlerin birimleri	73
Şekil 3.39 : Modelin sorunsuz çalıştığını gösteren pencere.....	74
Şekil 3.40 : Sistemin çözümünü özetleyen bilgi penceresi.....	75
Şekil 3.41 : Cycle-Tempo Programı örnek modelinin çalıştırıldıktan sonra başlangıç değerlerinin pencerede görünüşü.....	76
Şekil 3.42 : Cycle-Tempo Programı sistem verim bilgi ekranı	76
Şekil 3.43 : Cycle-Tempo Programı enerji dengelerini bilgi ekranı.....	77
Şekil 3.44 : Cycle-Tempo Programı borulardaki akışkan bilgileri ekranı	77
Şekil 3.45 : Cycle-Tempo Programı enerji ve ekserji akışı bilgileri ekranı	78
Şekil 3.46 : Cycle-Tempo Programı sistemin ekserji iletim bilgileri ekranı	78
Şekil 3.47 : Cycle-Tempo Programı enerji ve T-s diyagramı ekranı.....	79
Şekil 4.1 : Gaz türbini elektrik üretici grubu CTP modeli.....	82
Şekil 4.2 : Atık ısı geri kazanım kazanı CTP modeli.....	83
Şekil 4.3 : Buhar türbini elektrik üretici grubu CTP modeli	84
Şekil 4.4 :Yoğuşturucu sistemi CTP modeli.....	84
Şekil 4.5 : Besleme Suyu sistemi CTP modeli	85
Şekil 5.1 : Tek girişli ve tek çıkışlı açık sistem	88
Şekil 5.2 : Enerji, çevre ve sürdürülebilirliğin ekserji ile ilişkisi	93
Şekil 5.3 : Yoğuşturucu kontrol hacmi	108
Şekil 5.4 : Sızıntı buharı yoğuşturucusu kontrol hacmi.....	109
Şekil 5.5 : Buhar türbinleri	111
Şekil 5.6 : Yüksek basınç buhar türbini kontrol hacmi.....	111
Şekil 5.7 : Alçak basınç buhar türbini kontrol hacmi	113

Şekil 5.8 : Gaz türbini kontrol hacmi.....	114
Şekil 5.9 : Besleme suyu tankı - Gazsızlaştırma ünitesi (Gaz alıcı) kontrol hacmi.....	117
Şekil 5.10 : Ana yoğuşmuş su pompası kontrol hacmi.....	118
Şekil 5.11 : AB besleme suyu pompası kontrol hacmi.....	119
Şekil 5.12 : YB besleme suyu pompası kontrol hacmi.....	120
Şekil 5.13 : Deniz suyu pompası kontrol hacmi	121
Şekil 5.14 : YB buharlaştırıcı devridaim pompası kontrol hacmi	122
Şekil 5.15 : AB buharlaştırıcı devridaim pompası kontrol hacmi	123

EÜAŞ AMBARLI DOĞALGAZ KOMBİNE ÇEVİRİM SANTRALİNİN ENERJİ VE EKSERJİ ANALİZİ

ÖZET

Bu çalışmada İstanbul’da bulunan Elektrik Üretim Anonim Şirketi Ambarlı Doğalgaz Kombine Çevrim Santralinin termodinamik çevrimi incelenmiş, enerji ve ekserji analizi hesaplamaları Cycle-Tempo 5.0 bilgisayar yazılımı ile oluşturulan EÜAŞ Ambarlı Doğalgaz Kombine Çevrim Santrali termodinamik analiz modeli ile yapılmıştır. Enerji ihtiyacının giderek arttığı günümüzde enerji üretimi kaynaklı çevre kirliliği giderek artan bir sorun olarak karşımıza çıkmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanıldığı santrallerde enerji arzının çevresel etkenlere doğrudan bağlı olması ve fosil yakıtlı santrallerde enerji arzının devamlılığının sağlanabilmesi sebebiyle fosil yakıtlı santraller toplam enerji talebinin karşılanmasındaki önemlerini korumaktadır. Bu nedenle yeni inşa edilen fosil yakıtlı enerji santrallerinin tasarımlarında yüksek verim elde edilmesi ve üretilen birim enerji başına çevre kirliliğine sebep olan emisyon değerlerinin azaltılması amaçlanmaktadır. Yeni kurulacak santrallerin tasarımında uygulanacak bilgisayar yazılımı destekli enerji ve ekserji analizi çalışmaları sayesinde yatırım ve işletme masraflarını en aza indirerek santral tasarımları geliştirilebilmektedir. Ayrıca, yeni santrallerin kurulması planlanan bölgelerdeki atmosferik hava şartlarının yıllık değişimi kullanılarak yapılan parametrik enerji ve ekserji analizi çalışmaları ile uygun santral kurulum yeri tespit edilebilmektedir. Diğer taraftan mevcut santrallerin verimini arttırmaya yönelik iyileştirme çalışmalarında ihtiyaç duyulan enerji ve ekserji analizi çalışmaları bilgisayar yazılımları ile yapılarak, yapılacak iyileştirmelerin etkisi henüz fiziki olarak yatırım gerçekleştirilmeden yani yatırım masrafı yapılmaksızın öngörülebilmektedir. Bu tez çalışmasında mevcut bir santralin bilgisayar yazılımı ile kurulan termodinamik modeli sayesinde enerji ve ekserji analizi hesaplamaları yapılmış ve bu analiz sonuçlarının santralden ölçülen değerlerle uyumlu olduğu gözlemlenmiştir. Bu çalışmada yapılan analizlerde kullanılan veriler EÜAŞ Ambarlı Doğalgaz Kombine Çevrim Santrali kumanda odasındaki merkezi veri izleme ve kayıt sisteminden elde edilmiş, bu sistemlerle ölçülemeyen değerler ise santralin dizaynına esas teşkil eden dokümanlardan alınmıştır. Delft Teknoloji Üniversitesi’nde (Delft University of Technology) geliştirilen Cycle-Tempo 5.0 bilgisayar yazılımı ile oluşturulan EÜAŞ Ambarlı Doğalgaz Kombine Çevrim Santrali termodinamik modeli kullanılarak enerji ve ekserji analizi hesaplamaları yapılmıştır. Gerçekleştirilen bu enerji ve ekserjiye dayalı termodinamik analiz sonucunda santrali oluşturan ekipmanlarda oluşan tersinmezlikler ayrı ayrı hesaplanarak karşılaştırmalı olarak irdelenmiştir. Bu sayede, santrali oluşturan ekipmanlar için enerjiye ve ekserjiye dayalı verim iyileştirmelerine müsait olanlar belirlenmiştir.

EÜAŞ AMBARLI NATURAL GAS COMBINED CYCLE POWER PLANT ENERGY AND EXERGY ANALYSIS

SUMMARY

Ambarlı Combined Cycle Power Plant which is located in Istanbul is examined in this study for the purpose of an energy and exergy analysis. Calculations are done with the thermodynamic models created with Cycle-Tempo 5.0 software. With rapidly increasing population and its eventual energy demand that has reached 14 Gtoe, pollution caused by energy production at fossil fuel power plants is becoming a major environmental problem.

Although there is a growing interest in harvesting renewable energy sources, taking into consideration that energy supply by power plants using renewable energy resources are directly dependent on environmental conditions and energy supply by fossil fuel power plants is relatively more sustainable, as for time being thermal power plants are believed to be keeping their leader position in total energy supply.

Therefore, it is one of the main goals of the thermodynamic studies to increase the efficiency of new thermal power plant designs in order to reduce the pollution caused by unit energy produced.

Computer aided energy and exergy analysis are used for increasing the efficiency and reducing the investment and running costs of thermal power plants. Also with the help of such energy and exergy analysis it has become possible to make feasibility studies for selecting geographical locations and thus climatic conditions for new power thermal plants according to yearly change of environmental conditions without investment costs of construction. On the other hand, for the existing thermal power plants, the investigation of opportunities for potential improvements without any investment cost can be foreseen with the help of computer based energy and exergy analysis software which are widely in use today.

This study deals with setting the thermodynamic model of an already existing power plant; EÜAŞ Ambarlı Natural Gas Combined Cycle Thermal Power Plant that has been empowering the base load of Istanbul and its periphery since 1988. Ambarlı Natural Gas CCPP has three blocks of combined cycles; each of them having an installed power capacity of 450 MW. Each combined cycle block consists of two identical gas turbine groups which has installed power capacity of 138.8 MW each and one steam turbine group which has installed power capacity of 172.2 MW. Total installed power capacity of EÜAŞ Ambarlı Natural Gas CCPP is 1350 MW and its thermal efficiency is around 52%.

The dynamic data used in the analysis was taken directly from the central data monitoring and recording system of Ambarlı Natural Gas Combined Cycle Power Plant. The data, which neither can be taken from the central data monitoring and recording room of Ambarlı Natural Gas Combined Cycle Power Plant nor from the

design documents of the power plant, have been retrieved with the help thermodynamic equations such as mass and energy conservations of the closed system.

The thesis makes use of Cycle-Tempo 5.0 software which was developed by TU Delft to run energy and exergy calculations based on CCPP's dynamical data and on relevant thermodynamical equations.

Section 1.2 focuses on thermodynamical analysis conducted for various thermal and nuclear power plants by using Cycle-Tempo 5.0 software. This section also explains different strategies followed in modelling thermal power plants and their energy-exergy outcomes.

The following Chapter describes the working scheme of Ambarlı CCPP and introduces the different equipments of the entire system including gas turbine groups, steam power group, heat recovery steam generator, feed water system, deaerator, condenser, water demineralisation system, main condensate pump and the stack unit.

In Chapter 3, the Cycle-Tempo 5.0 software, which was developed at TU Delft was described in detail. Concepts such as how to run the software, how to form its modelling scenarios, how to enter the data and how the analysis is run were considered separately and in detail. Besides, in order to get acquainted with the usage of the program, initially a simple gas turbine cycle model was formed and run by using the Cycle-Tempo 5.0 software.

The sub-systems of the entire Ambarlı Natural Gas CCPP were modelled in Chapter 4. In order to prove the credibility of the software and cross checking the accuracy of the model, the sub-systems need to be handled one by one before they were consolidated. These sub-systems were separately run so that the probable errors could be detected immediately if any erroneous result occurred.

The fundamental concepts and descriptions on energy and exergy analysis were explained in Chapter 5. The energy and exergy analysis equations derived by assessing the energy balance diagram of Ambarlı Natural Gas CCPP were described in detail.

Chapter 6 is reserved for feeding the Ambarlı Natural Gas CCPP model with the data obtained either from the instantaneously recorded parametric values that were measured by pressure, temperature and mass flow rate sensors, the design data and the results obtained through mass and energy conservation equations. The measurements reflects the fact that the performance of Ambarlı Natural Gas CCPP was affected by both the outdoor and sea water temperature variations. But moreover, the performance of the plant varied with respect to the manual and automatic fine tuning of power plant equipment that aimed to set the operation at a steady regime. Therefore the Cycle-Tempo 5.0 software analysis was assessed only for the fix outdoor temperature of 30°C not for the entire year. Finally, a good agreement was found between the power generated by the plant and the power predicted by the Cycle-Tempo 5.0 software for the specific outdoor temperature of 30°C. Under these conditions, the success of the software prediction was thus proved.

In the last chapter, the results pertaining to equipment irreversibilities for each system component were assessed through energy and exergy analysis of Cycle-Tempo 5.0 software. Based on this analysis, exergy transfer, rather than energy loss of various components, were compared to each other in order to specify system improvement possibilities. The results show that the highest irreversibilities occurred, with descending order, in the combustion chamber, gas turbine, low pressure steam turbine, compressor, condenser and high pressure steam turbine.

The thesis proposes improvement strategies for all of the above mentioned equipments in order to decrease the ratio of irreversibilities to the energy transferred to the system which would naturally increase the efficiency of the Ambarlı Natural Gas CCPP.

1. GİRİŞ

Fosil yakıt rezervlerinin azalmasına karşın artan enerji ihtiyacının karşılanabilmesi için bilim adamları; rüzgâr enerjisi, güneş enerjisi, jeotermal enerji, dalga enerjisi gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının etkin bir şekilde kullanılabilmesini sağlayacak bilimsel çalışmalara yönelmiştir, fakat bu alandaki teknolojiler henüz gelişim sürecindedir. Diğer taraftan mevcut fosil yakıtların yüz yılı aşan rezerv ömürleri ve mevcut enerji yatırımlarının büyük kısmının fosil yakıtlara dayalı olmasından dolayı fosil yakıtların daha verimli kullanılabilmesini sağlayacak bilimsel çalışmalar önem arz etmektedir. Elektrik enerjisi üretiminde kullanılan fosil yakıtlı ısı güç santrallerin ısı veriminin artırılması sonucunda daha az yakıt yakılarak daha fazla elektrik enerjisi üretilmesi, bu sayede bir taraftan birim elektrik enerjisi üretim maliyetleri azaltılırken diğer taraftan da çevreye zararlı madde salınımının azaltılması amaçlanmaktadır. Halen işletmede bulunan birçok ısı güç santralının tasarımı sadece termodinamiğin birinci yasasına dayanan enerji analizi sonuçlarına göre yapılmıştır. Fakat son yıllardaki birçok bilimsel çalışma enerji analizine ek olarak termodinamiğin ikinci yasasına dayanan ekserji analizinin de yapılarak faydalanabilir enerjinin kullanım etkinliğinin ve tersinmezliklerin tespit edilmesinin önemine işaret etmektedir.

Enerji ve ekserji analizlerinin birlikte yapılmasıyla elde edilen sonuçlar doğrultusunda santrallerin ısı verimlerinin artırılmasına yönelik geliştirmelerin daha etkin bir şekilde değerlendirilebileceğine vurgu yapılmaktadır. Ayrıca değişen çevre şartlarının ısı güç santrallerinin ısı verimine olan etkilerinin anlaşılabilmesi ve santral tasarımlarının çevre şartlarına göre optimize edilmesi veya yer seçimi konularında yapılan çalışmalarda da enerji ve ekserji analizleri birlikte uygulanmaktadır. Bu çalışmaların bir kısmında termodinamik analizlerde bilgisayar yazılımlarından yararlanılarak modelleme ve benzetim uygulamaları kullanılmıştır. Bu tür bilgisayar yazılımları kullanılarak yapılan termodinamik analizlerin ısı güç santrali çalışma yükü, dış hava sıcaklığı, dış hava basıncı, dış hava bağıl nemi ve soğutma suyu

sıcaklığı gibi değişkenler için farklı değerlerde tekrarlanması ile ısı verime olan etkilerinin tespit edilmesi kolaylaşmıştır.

Elektrik üretim şirketi olan EÜAŞ Ambarlı Doğalgaz Kombine Çevrim Santrali (DKÇS), Türkiye Cumhuriyeti Elektrik Üretim Anonim Şirketi Termik Santraller ve Maden Sahaları Dairesi Başkanlığı'na bağlı olarak 1988 yılından bu yana elektrik üretmektedir. EÜAŞ Ambarlı Doğalgaz Kombine Çevrim Santrali her biri 450 MW kurulu güce sahip üç kombine bloktan oluşmaktadır ve toplam kurulu gücü 1350 MW'tır. Her kombine bloğunda 138.8 MW kurulu gücünde iki gaz türbini ve 172.4 MW kurulu güce sahip bir buhar türbini bulunmaktadır.

Kombine bloklarında bulunan gaz türbinleri Brayton çevrimini kullanarak, dış ortamdan aldıkları havayı gaz türbini kompresör basamakları boyunca sıkıştırarak gaz türbini yanma odasına iletmektedir. Gaz türbini yanma odasında kompresör basamaklarından gelen hava BOTAŞ hattından sağlanan doğal gaz ile karıştırılarak yakılmakta ve gaz türbini kanatlarına gönderilmektedir. Yüksek sıcaklıkta ve basınçta gaz türbini kanatlarına ulaşan yanma gazları türbin basamakları boyunca ilerlerken genişlemekte ve türbin kanatlarının dönmesini sağlamaktadır. Türbin kanatlarının dönmesi ile elde edilen mekanik iş bir mil vasıtası ile gaz türbini jeneratörüne iletilmekte ve burada elektrik enerjisine dönüştürülmektedir. Gaz türbini kanatlarında genişleyen yanma gazları bir baca ile atmosfere atılabilmekte veya atık ısı geri kazanım kazanına (AIGKK'ya) iletilerek buhar üretimi için kullanılabilir. Sadece gaz türbini kullanılarak %30 ile %40 arasında ısı verim elde edilebilmektedir, buna karşın Brayton çevrimine ek olarak atık ısıdan faydalanarak AIGKK'da buhar üretilebilmekte ve üretilen buharı kullanarak buhar türbinlerinde Rankine çevrimini ile güç üretilebilmektedir. Fazladan yakıt yakmadan sadece atık ısıdan yararlanılarak ısı verim seviyesi yeni geliştirilen teknolojiler yardımı ile %50 ile %60 arasına çıkarılabilmektedir. Bu şekilde güç üretilen santraller kombine (birleşik) çevrim santrali olarak adlandırılmaktadır.

AIGKK içerisinde boru demetleri şeklinde ısı değiştiriciler ve bu ısı değiştiricilerin bağlı olduğu kubbeler (*İng.* dome) bulunmaktadır. Boru demetlerinin içerisinde iş akışkanı olarak sıvı su ve su buharı bulunmaktadır. AIGKK'ya gönderilen sıcak yanma gazları (baca gazı) AIGKK'yı oluşturan boru demetleri içerisinde geçmekte olan iş akışkanına (sıvı su, su buharı) ısı vererek soğumakta ve AIGKK en üst noktasından atmosfere bırakılmaktadır. AIGKK içerisindeki boru demetleri ve kubbeler sayesinde

iki farklı basınç seviyesinde buhar üretilmektedir. Üretilen yüksek basınçlı buhar yüksek basınç türbinine gönderilmekte ve burada genişleyerek yüksek basınç buhar türbini kanatlarının dönmesini sağlamaktadır. Genişleyerek sıcaklığı ve basıncı azalan buhar, yüksek basınç buhar türbininden çıkmakta ve alçak basınç buhar hattından gelen buhar ile karışmaktadır. Karışan buhar alçak basınç buhar türbinine gönderilmekte ve burada genişleyerek alçak basınç buhar türbini kanatlarının dönmesini sağlamaktadır. Alçak basınç buhar türbininde genişlemekte olan buhardan iki farklı kademede ara buhar çekilmektedir. Çekilen ara buharlar besleme suyunun ısıtılmasında ve buhar türbinlerinden buhar sızmasının önlenmesinde kullanılmaktadır. Yüksek ve alçak basınç türbinlerinin milleri birbirlerine ve aynı zamanda buhar türbini jeneratörüne bağlı durumdadır. Bu sayede buhar türbini kanatlarının dönmesiyle oluşan mekanik iş mil vasıtasıyla jeneratöre iletilmekte ve burada da elektrik enerjisine dönüştürülmektedir. Alçak basınç buhar türbininden soğumuş ve basıncını kaybetmiş olarak çıkan buhara çürük buhar denmektedir. Çürük buhar türbinden çıktıktan sonra yoğuşturucuya girmektedir. Yoğuşturucu çürük buharın denizden alınan soğutma suyuna ısı vererek yoğuştuğu özel bir tür ısı değiştiricidir. Yoğuşturucudan çıkan yoğuşmuş su ana yoğuşmuş su pompası ile basınçlandırılarak sızıntı buharı yoğuşturucusuna ve sonrasında AIGKK en üstünde bulunan yoğuşmuş su ön ısıtıcıya iletilmektedir. Ön ısıtma işleminden sonra besleme suyu tankına gönderilen su burada ara buhar hattından gelen buhar ile karışarak hem ısınmakta hem de oksitleyici gazlardan yani oksijen içeren havadan ayrılmaktadır. Besleme suyu tankından çıkan su, besleme suyu pompaları ile AIGKK'ya iletilmektedir. Böylece sistem kapalı çevrim olarak çalışmaya devam etmektedir. Santralin ekipmanları ve çalışması hakkında detaylı bilgi Bölüm 2'de sunulmuştur.

EÜAŞ Ambarlı DKÇS'yi oluşturan üç blok birlikte veya ayrı ayrı çalıştırılabilmektedir. Ayrıca her bir bloğu oluşturan gaz türbinleri ve buhar türbini birlikte çalıştırılabileceği gibi gaz türbinleri tek başına da çalıştırılabilmektedir.

1.1 Tezin Amacı

Bu tez çalışmasının amacı İstanbul Avcılar/Ambarlı sahilinde bulunan EÜAŞ Ambarlı Doğalgaz Kombine Çevrim Santralinin santrali oluşturan borulardaki iş akışkanlarına ait termodinamik verilerin ölçülmesi ve ölçülen bu veriler kullanılarak enerji ve ekserji analizlerinin yapılması, birinci ve ikinci yasa verimlerinin hesaplanmasıdır. Enerji ve

ekserji analizleri için gereken veriler EÜAŞ Ambarlı DKÇS kumanda odasında bulunan merkezi veri izleme ve kayıt sisteminden okunmuştur ve ayrıca sistemden anlık olarak okunamayan az sayıdaki değerler ise santralin dizayn değerlerinden alınmış veya enerjinin ve kütlenin korunumu ilkesine göre hesaplanmıştır. Ayrıca bu tez çalışmasının diğer bir amacı ise; santralden okunan veriler kullanılarak yapılan enerji ve ekserji analizleri için kullanılan modelden elde edilen sonuçlar ile santralden ölçülen değerlerin uyuşmakta olduğunu ortaya koymak ve böylece ileride yararlanılabilecek verimini arttırmaya yönelik iyileştirmeler için ön tasarım enerji ve ekserji analizlerinin yapılabileceği bir model elde etmektir.

Santrale ait “Su-Buhar Çevrim Sistemi” şemasından (Ek A) yola çıkılarak Cycle-Tempo 5.0 bilgisayar yazılımı ile enerji dengesi diyagramı oluşturulmuştur. Cycle-Tempo 5.0 bilgisayar yazılımı ile oluşturulan enerji dengesi diyagramı kullanılarak santralin termodinamik analiz modeli oluşturulmuştur. Cycle-Tempo 5.0 bilgisayar yazılımı ile oluşturulan termodinamik model ile bilgisayar ortamında enerji ve ekserji analizleri santralden ölçülen gerçek veriler ile yapılmıştır.

Cycle-Tempo 5.0 bilgisayar yazılımının belleğinin yetersiz olması nedeniyle modelleme yapılırken EÜAŞ Ambarlı DKÇS’nin üç bloğundan birisine ait iki adet gaz türbini ve bir adet buhar türbini çevrimi, gaz türbini debisi sabit olmak kaydıyla buhar türbini debisi yarıya indirilerek, bir adet gaz türbini ve bir adet buhar türbini çevrimine indirgenmiştir. Cycle-Tempo 5.0 bilgisayar yazılımı ile bu şekilde yapılan analizlerin sonuçları iki ile çarpıldığında EÜAŞ Ambarlı DKÇS’nin iki adet gaz türbini bir adet buhar türbini çevriminden oluşan bir bloktan ve bu da üç ile çarpılarak üç bloktan oluşan santralden ölçülenlere çok yakın değerlere ulaşılması mümkün olmuştur.

Bu tez kapsamında, Bölüm 1.2’de; Cycle-Tempo 5.0 bilgisayar yazılımı kullanılarak yapılan başka tesislere ait termodinamik analiz çalışmaları, ısı gücü santrali modellemelerinde farklı yaklaşımlar, dinamik termodinamik modelleme çalışmaları, enerji ve ekserji analizi çalışmaları incelenmiştir.

Bölüm 2’de EÜAŞ Ambarlı DKÇS’nin “Su-Buhar Çevrim Sistemi” şemasında yer alan ekipmanlar hakkında bilgi verilmiştir. Ayrıca EÜAŞ Ambarlı DKÇS’yi oluşturan; gaz türbini elektrik üreticisi grubu, buhar türbini elektrik üreticisi grubu, atık ısı geri kazanım kazanı, besleme suyu sistemi, besleme suyu tankı (gazsızlaştırma ünitesi), yoğunlaştırıcı, su saflaştırma sistemi, ana yoğunlaşmış su pompası ve baca sistemi gibi ekipmanlar detaylı olarak incelenmiştir.

Bölüm 3'te, Delft Teknoloji Üniversitesi'nde geliştirilen Cycle-Tempo 5.0 bilgisayar yazılımı detaylı olarak tanıtılmıştır. Cycle-Tempo 5.0 bilgisayar yazılımının nasıl kullanılacağı, modellerin nasıl oluşturulacağı, verilerin nasıl girdileneceği ve analizin nasıl yapılacağı detaylı olarak açıklanmıştır. EÜAŞ Ambarlı DKÇS'yi oluşturan ekipmanların Cycle-Tempo 5.0 bilgisayar yazılımı ile modellenmesinde kullanılacak karşılıkları olan Cycle-Tempo 5.0 bilgisayar yazılımı ekipmanları tanıtılmıştır. Ayrıca yazılımın temel çalışma prensiplerinin anlaşılabilmesi için elektrik üreten basit bir gaz türbini çevrimi oluşturulmuş ve Cycle-Tempo 5.0 bilgisayar yazılımı ile modellenerek termodinamik analizi yapılmıştır.

Bölüm 4'de, Cycle-Tempo 5.0 bilgisayar yazılımı ile EÜAŞ Ambarlı DKÇS gibi büyük bir tesisin modellenebilmesi için daha küçük kısımlara ayrılması ve modellenen kısımların ayrı ayrı çalıştırılarak kontrolünün yapılması gerekliliği anlatılmıştır. Aksi takdirde oluşan hatanın modelin hangi kısmından kaynaklandığı tespit edilemeyecektir. Ayrıca EÜAŞ Ambarlı DKÇS termodinamik modelini oluşturan kısımların ayrı ayrı Cycle-Tempo 5.0 bilgisayar yazılımı ile nasıl modellendiği ve modelin çalışan kısımlarının nasıl birleştirildiği açıklanmıştır. Her kısmı oluşturan ekipmanların, Cycle-Tempo 5.0 bilgisayar yazılımında nasıl modellendiği ve verilerin nasıl girdilendiği açıklanmıştır.

Bölüm 5'te, enerji ve ekserji analizi konusundaki bazı temel kavram ve tanımlar açıklanmıştır. EÜAŞ Ambarlı DKÇS'nin enerji dengesi diyagramı incelenerek oluşturulan enerji ve ekserji analizi eşitlikleri ekipman ve sistem bazlı olarak detaylı olarak açıklanmıştır.

Bölüm 6'da Cycle-Tempo 5.0 bilgisayar yazılımı ile oluşturulan EÜAŞ Ambarlı DKÇS termodinamik modeline santralin kumanda odasındaki merkezi veri izleme ve kayıt sisteminden okunan değerler ve ayrıca sistemden anlık olarak okunamayan az sayıdaki değerler ise santralin dizayn değerlerinden alınan değerler veya enerjinin ve kütlenin korunumu ilkesine göre hesaplanan değerler girdilenecek enerji ve ekserji analizi yapılmıştır. Kumanda odasından okunan veriler santralin çeşitli noktalarında bulunan sensörlerin anlık ölçümlerine dayanmaktadır. Bu veriler ile yapılan ölçümler EÜAŞ Ambarlı DKÇS performansının dış hava ve soğutma suyu sıcaklığının değişiminden etkilendiğini göstermektedir, fakat buna ek olarak santralin performansı; otomatik ve elle kumandalı kontrol sistemlerinin santralin sürekli rejiminde kalmasını sağlayabilmek için yaptığı müdahalelerden de etkilenebilmektedir. Örneğin, besleme

suyu yüksek basınç pompası vasıtasıyla AIGKK'ya iletilen suyun basıncındaki değişim, yüksek basınç kubbesinde bulunan buharın sıcaklık ve basıncını etkilemekte, bu değişim yüksek basınç türbinine iletilen buharın sıcaklık ve basıncını etkilemekte ve sonuç olarak yüksek basınç buhar türbininde üretilen güç etkilenmektedir. Bu nedenle, Bölüm 6'da yapılan enerji ve ekserji analizi için belirli bir dış hava sıcaklığı için anlık olarak ölçülen değerler kullanılmıştır. Bu bölümde Cycle-Tempo 5.0 bilgisayar yazılımı ile oluşturulan EÜAŞ Ambarlı DKÇS termodinamik modeli ile yapılan enerji ve ekserji analizlerinde elde edilen net güç değerleri ile EÜAŞ Ambarlı DKÇS kumanda odasındaki merkezi veri izleme ve kayıt sisteminden okunan değerler karşılaştırılarak kurulan modelin doğruluğu teyit edilmiştir.

Son bölüm olan 7. Sonuç ve Öneriler Bölümü'nde ise bütün tez çalışması boyunca elde edilmiş sonuçlar irdelenerek değerlendirilmiştir. Bu bölümde EÜAŞ Ambarlı DKÇS enerji ve ekserji analizleri ile elde edilen sonuçlar detaylı olarak incelenmiş ve bu sonuçlardan yola çıkarak santral verimini arttırmaya yönelik öneriler sunulmuştur.

1.2 Literatür Araştırması

Bu bölümde ısı güç santralleri için yapılan enerji ve ekserji analizi uygulamaları, değişken meteorolojik koşulların santral ısı verimine etkileri, bilgisayar yazılımları ile yapılan ısı güç santrali modelleme ve benzetim uygulamaları konularında literatürde yer alan çalışmalardan bir kısmı verilmektedir.

Ekserji kavramı geçmişte ilk olarak J.W. Gibbs tarafından 1878 yılında ifade edilmiştir [1]. Kelime karşılığı olarak ise Z. Rant tarafından 1953 yılında tanımlanmıştır [2]. 1972 yılında ise Bodvarsson ve Eggers tarafından tek ve çift buharlaştırmalı iki farklı sistemden oluşan bir jeotermal güç santralinde ilk ekserji analizi çalışması yapılmıştır ve santral geneli için ekserji verimliliği hesaplanmıştır [3].

“Ara Isıtmalı ve Isı Geri Kazanımlı Rankine Çevriminin İkinci Yasa Analizi” adlı bir çalışmada ısı geri kazanımlı ve ara ısıtmalı bir Rankine çevriminin ikinci yasa analizi yapılmıştır. Sistemi oluşturan her bir elemana ait enerji ve ekserji analizi ayrı ayrı yapılarak sonuçlar çizelgeler halinde sunulmuştur. Sistemin tersinmezlik ve kullanılabilirlik değerleri incelenmiştir. Sistem üzerinde tersinmezlikler ve diğer sebepler dolayısı ile oluşan gerçek kayıpların hesaplanmasında ekserji analizinin en etkili yol olduğu vurgulanmıştır. Çalışma sonunda geri kazanım sistemi

kullanıldığında çevrimin termik veriminin yükseldiğine işaret edilmiştir. Ayrıca sistemde en büyük tersinmezliklerin sisteme ısı alınırken, sistemden ısı çekilirken ve ısı geri kazanım sürecinde olduğu ifade edilmiştir [4].

“Termik Santrallerin Enerji ve Ekserji Analizi” başlıklı bir yüksek lisans tezi çalışmasında Orhaneli, Seyit Ömer ve Yatağan termik santrallerinin karşılaştırmalı enerji ve ekserji analizleri yapılmıştır. Bu çalışmada ekserji analizlerini gerçekleştirebilmek için gerekli temel kavramlar ve yöntemler anlatılmıştır. Bu çalışmanın amacı, denk güçteki üç farklı ısı gücü santralının verimlilik değerlerinin hesaplanması, enerji ve ekserji analizlerinin karşılaştırılması olarak yapılmasıdır. Bu çalışmada ilaveten Dünyada ve özellikle de ülkemizde hızla artan enerji talebinin karşılanabilmesi için fosil yakıta dayalı ısı gücü santrallerinin gerekliliğine ve verimliliğin önemine vurgu yapılmıştır. Bu çalışmada ayrıca elektrik enerjisi üretim sistemleri ve bunların çalışma prensipleri anlatılarak, ülkemizin önemli yerli kaynağa dayanan elektrik enerjisi üretim sistemlerinden birisi olan katı yakıtlı (linyit) ısı gücü tesislerinden üç ayrı çevre koşulunda kurulmuş olan Yatağan Termik Santrali, Orhaneli Termik Santrali ve Seyit Ömer Termik Santrali’nin termodinamik incelemesi yapılmıştır. Santrallere ait birinci yasa analizlerinin yanı sıra ikinci yasa analizleri de yapılmıştır. Sistemlerin hem bütün olarak hem de sistem elemanlarının ayrı ayrı enerji ve ekserji değerleri hesaplanarak elde edilen verimlilik değerleri karşılaştırılmıştır. Gerçek çevre şartlarının yanı sıra farklı çevre şartlarında sistem verimliliklerinin değişiminin gözlenebilmesi için; hesaplamalar 0°C, 25°C ve 40°C atmosferik hava sıcaklıkları için ayrı ayrı tekrarlanmıştır. Yapılan hesaplamalarda linyit santrallerine ait enerji ve ekserji değerleri hesaplanmıştır. Ayrıca her bir türbin sistemi için ayrı ayrı enerji ve ekserji değerleri bulunmuştur. Elde edilen sonuçlar; Orhaneli, Yatağan ve Seyit Ömer Santrallerinin yıllık ortalama iklim şartları için ekserji verimlilikleri sırasıyla; %37,86, %28,58 ve %19,35 olduğunu göstermiştir. Verimlerdeki bu farklılıkların sebebi araştırıldığında kazan performanslarının en büyük etkiye sahip olduğu görülmüştür [5].

“Birleşik Çevrimli Kojenerasyon Tesisinin Performansına Hava Şartlarının, Yük Faktörünün ve Ara Soğutmanın Etkisi” başlıklı başka bir yüksek lisans tezi çalışmasında, Bursa’da bulunan 104 MW gücündeki doğalgaz kojenerasyon tesisinin performansına ara soğutmanın, meteorolojik koşulların ve santral yük faktörünün etkileri incelenmiştir. Çalışmada konu edilen doğalgaz kojenerasyon tesisinde tek

çevrim devrede iken sadece Brayton çevrimi ile gaz türbini ve bağlı bulunan jeneratör vasıtasıyla elektrik enerjisi üretilmektedir. Birleşik çevrim devrede iken Brayton ve Rankine çevrimlerinin bir arada kullanılması ile devreye giren buhar türbinleri sayesinde daha fazla elektrik enerjisi ve ek olarak endüstriyel uygulamalarda kullanılmak üzere buhar üretilmektedir. Ayrıca santralde su püskürtülmesi ile kompresör sıcaklığının azaltılması, böylece performansın artırılması yöntemi uygulanmıştır [6].

Çalışmada Cycle-Tempo 5.0 bilgisayar yazılımı kullanılarak santralin ısıl denge diyagramına karşılık gelen basitleştirilmiş termodinamik analiz modeli oluşturulmuştur. Cycle-Tempo 5.0 ile oluşturulan modele santralden alınan veriler girilerek ve modelin sürekli hal kütle ve enerji denklemleri kullanılarak yapılan hesaplamalar sonucunda modelde kullanılan her ekipmanın giriş ve çıkışına ait termodinamik özelliklere ulaşılmıştır. Ayrıca yazılım hesapladığı termodinamik özellikleri kullanarak güç çıktısını ve santral ısıl verimini de hesaplamaktadır. Bu çalışmada farklı hava şartlarında, farklı yük faktörlerinde, ara soğutmanın olması durumunda ve ara soğutmanın olmaması durumunda tekrarlanan termodinamik analiz hesaplamaları sonucunda söz konusu farklılıkların santralin performansı üzerindeki etkileri elde edilmiştir. Santral verimini arttırabilecek muhtemel iyileştirmelerin sonucunun öngörülmesi için model üzerinde yapılan iyileştirmeler sonucunda hesaplanan santral ısıl verimleri ve güç çıktıları karşılaştırılmış, böylece yapılması muhtemel iyileştirme yatırımlarına karar verme aşamasında belirleyici öneme sahip bilgiler elde edilmiştir. Bu çalışmanın sonucunda; en yüksek güç çıktısı değerine - 5°C'lik dış hava sıcaklığı değerinde ve en yüksek ısı güç oranı değerine -10°C'lik dış hava sıcaklığı değerinde ulaşıldığı tespit edilmiştir. Ayrıca ara soğutma işleminin artan dış hava sıcaklığı nedeniyle oluşan santral verimi kaybını azalttığı, dış hava basıncının artmasının santralde üretilen gücü artırdığı ve bağlı nemdeki artışın santral verimini azalttığı sonuçlarına varılmıştır. Brayton çevrimi ile üretilen güç, dış hava sıcaklığı - 10°C ile 40°C aralığında arttıkça, sürekli azalmaktadır. Santral ısıl veriminin santral yük faktörünün azaltılmasına bağlı olarak azalmasının yüksek dış hava sıcaklıklarda daha fazla gerçekleştiği tespit edilmiştir [6].

“CANDU 6 Nükleer Güç Santrallerinin Ekserji Analizi” başlıklı diğer bir yüksek lisans tezi çalışmasında Cycle-Tempo 5.0 bilgisayar yazılımını kullanarak ve CANDU 6 nükleer güç santralinin ısıl denge diyagramından yararlanılarak basitleştirilmiş bir

termodinamik analiz modeli ve bu modelin sürekli hal kütle, enerji ve ekserji dengeleri oluşturulmuştur. Cycle-Tempo 5.0 ile oluşturulan modele 700 MWe serisinde yer alan CANDU 6 nükleer güç santraline ait tasarım verileri girilerek referans çevre koşullarında denklemlerin yazılıma çözdürülmesi sonucunda tesisin modelinde kullanılan bütün ekipmanların giriş ve çıkışına ait termodinamik özellikler, tersinmezlikler, ekserji yıkımları, tesiste üretilen güç ve tesisin ısı verimi hesaplanmıştır. Ayrıca CANDU 6 nükleer güç santraline ait Cycle-Tempo 5.0 modelinde yer alan bütün borulara ait termodinamik özellikler, kütle akış hızı, toplam enerji ve ekserji akış hızları hesaplanmıştır. Bu çalışma sonucunda CANDU 6 nükleer güç santralinde bulunan ekipmanların ısı verimleri, enerji ve ekserji değerleri elde edilmiş ve sonuçlar değerlendirilerek ekserji kayıplarının yerleri ve büyüklükleri tespit edilmiştir. Termodinamiğin birinci yasasına göre yapılan enerji analizi yoğunlaştırıcunun en fazla enerji kaybı olan ekipman olduğuna işaret etmesine karşın, termodinamiğin birinci ve ikinci yasalarının beraber dikkate alınmasıyla birlikte yapılan enerji ve ekserji analizi sonuçları; enerjinin yararlanılabilir özel bir formu olarak tanımlanabilecek ekserjinin, büyükten küçüğe sırasıyla reaktör, türbin, buhar üretici yoğunlaştırucu ekipmanlarında kaybolduğunu ortaya koymuştur [7].

“Isıl Güç Tesislerinin Verimliliklerinin Geliştirilmesinde Tesis Ekipmanlarının Termodinamik Analizi” başlıklı bir bilimsel araştırmada düşük seviyede enerji üreten sistemlerin verimliliklerinin artırılması için yapılabilecek geliştirmeler ele alınmıştır. Jeotermal ve güneş enerjisi gibi düşük entalpili sistemlerin verimliliklerini artırma yöntemleri araştırılmıştır. Bu sistemlerde ısının soğurulması veya ısı dönüştürücüler vasıtasıyla oluşan tersinmezliklerin düşük kaliteli enerji sistemlerinde geliştirilebilecek noktalardan bazıları olduğu ifade edilmiştir. Ayrıca buharın tekrar sisteme döndürülmesinin de sistem veriminin artırılmasındaki önemine işaret edilmiştir. Bu çalışmada özellikle kıyaslamalı entropi üretimi ve iyileştirme teknikleri ve ekserji verimliliği konuları ele alınmıştır [8].

“Kombine Gaz-Buhar Çevriminin Verimliliği” başlıklı diler çalışmada kombine gaz buhar çevrimine dayalı ısı güç santralinin verimlilik analizi gerçekleştirilmiştir. Gaz ve buhar çevriminin; gaz türbininden atılan sıcak egzoz gazlarının, atık ısı geri kazanım kazanındaki ve ısı değiştiricindeki verimlilikleri hesaplanmıştır. Santrale ait enerji ve ekserji verimlilikleri hesaplanmıştır. Çalışma sonucunda ısı üretiminin

gerçekleştiği sıcaklığın, sistemin genel enerji veriminde büyük rol oynadığı görülmüştür [9].

“Gaz Türbinli Güç Santrallerinin Termodinamik Gelişimi” adlı bir çalışmada bir gaz türbinli güç santralının termoeconomik incelemesi ve hesapları yapılmıştır. Santral bir sanayi bölgesinde kurulu durumdadır ve bölgede hem elektrik hem de ısı ihtiyacını karşılamaktadır. Sistem üzerinde termodinamiğin birinci ve ikinci kanunları uygulanmıştır. Ayrıca ekserjiye dayalı maliyet teorisi kullanılarak sistemin termoeconomik analizi yapılmıştır. Termoeconomik analizde sistemden elde edilen elektrik ve buhar üretim maliyetleri hesaplanmıştır. Sistem için ayrıca değişik çalışma koşullarında elde edilen veriler karşılaştırılmıştır [10].

“Bir Doğalgaz Santralinde Atık Isı Kazanım Tesisinin Enerji ve Ekserji Analizi” adlı bir çalışmada Bursa’da kurulu BOSEN santraline ait atık ısı geri kazanım tesisinden alınan gerçek işletme verileri kullanılarak enerji ve ekserji analizleri yapılmıştır. Santraldeki her ekipmanın giriş ve çıkışlarındaki entalpi ve entropi değerleri belirlenerek enerji ve ekserji değerleri hesaplanmıştır. Bu değerlere bağlı olarak her ekipman için enerji ve ekserji kayıpları hesaplanmıştır. Ekserji kayıplarının sürtünme, yanma ve baca gazlarından olduğu düşünülmüştür. Her bir ekipmanın enerji ve ekserji kayıpları birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Tesisdeki toplam enerji kaybı 2,54 MW ve toplam ekserji kaybı 17,08 MW olarak belirlenmiştir. Tesis üzerinde yapılan enerji ve ekserji analizi sonucunda en büyük enerji kaybı buhar türbininde (2,78 MW), ekserji kaybı ise yine buhar türbininde (9,03 MW) olarak tespit edilmiştir. Bu sonuçlara göre iyileştirme çalışmalarının türbinde yapılması gerektiği ifade edilmiştir. Çalışmaya konu olan tesis doğalgazdan elektrik enerjisi üreten bir enerji santralidir. Santral 25 MW gücünde bir adet gaz türbini, 14 MW gücünde bir adet buhar türbini, bir adet yoğunlaştırıcı ve 7 adet ısı değiştirici ısıtıcısı içeren AIGKK’dan oluşmaktadır. Bu tez çalışmasında termodinamiğin birinci yasasına göre yapılan enerji analizinin sonucunda belirlenen, sistemin toplam enerji kaybının büyük kısmının meydana geldiği ekipmanlardaki (örneğin, yoğunlaştırıcıdaki) ikinci yasaya göre yapılan ekserji analiziyle belirlenen kullanılabilir enerji (yani ekserji) kayıplarının sistemin toplam kullanılabilir enerji kaybına oranla daha az olduğu sonucu elde edilmiştir.

Buna karşın termodinamiğin birinci yasasına göre yapılan enerji analizinin sonucunda sistemin toplam enerji kaybının daha az bir kısmının meydana geldiği belirlenen ekipmanlarda (örneğin, yanma odasında) ikinci yasaya göre yapılan ekserji analizinin

sonucunda sistemin toplam kullanılabilir enerji kaybına oranla daha fazla kullanılabilir enerji kaybı olduğu görülmüştür. Diğer bir deyişle bir ekipmanda meydana gelen enerji kaybının fazla olması kullanılabilir enerji kaybının da fazla olduğu anlamına gelmediği görülmektedir. Hesaplamalar sonucunda ekipmanlarda oluşan enerji ve ekserji kaybı değerleri elde edilmiştir. Burada en büyük enerji ve ekserji kaybının türbinlerde olduğu görülmüştür. Türbinden sonra en büyük ekserji kaybı yoğunlaştırıcıda görülmüştür. Yapılan bu çalışmada amaç ekserji kaybının en yüksek olduğu ekipmanın tespit edilmesidir. Buradan hareketle tesis bünyesindeki ekipmanlar içinde en büyük enerji ve ekserji kaybına yol açan ekipmanlar araştırılmıştır. Bu sayede en verimsiz ekipmanların türbinler olduğu ve iyileştirmelerin bu ekipman üzerinde yapılması gerektiğine karar verilmiştir. Bundan dolayı da tesisin verimini arttırmak için, iyileştirme çalışmalarının türbinlerin verimlerini iyileştirmeye yönelik çalışmalar olduğuna karar verilmiştir. Ayrıca bu çalışmada ileri tarihlerde yapılabilecek verim artırma çalışmalarına temel teşkil edebilecek veriler elde edilmiştir [11].

“Ara Isıtmalı Kombine Rankine-Brayton Güç Tesisinin İkinci Yasa Analizi” başlıklı diğer bir çalışmada ara ısıtmalı kombine bir güç tesisi incelenmiştir. Bu çalışmanın amacı incelenen ısıl güç tesisinin ikinci yasa kullanılarak termodinamik analizinin yapılmasıdır. Güç çıktısı, ısıl verim, ekipmanlardaki tersinmezlik ve türbinlerin ikinci yasa verimi gibi değerlerin değişimi dikkate alınarak yapılan hesaplamalar ile termodinamik analiz gerçekleştirilmiştir. Yapılan hesaplamalarda havanın basıncının değişmediği kabul edilmiştir. Bu çalışma ile kompresör sıkıştırma oranı, çevrim sıcaklık oranı, ara ısıtma sayısı ve çevrimin basınç düşümü gibi değişkenlerin kombine çevrimin verimine olan etkisi araştırılmıştır. Çalışma sonucunda toplam tersinmezliğin %50’inden fazlasının yanma odasında gerçekleştiği anlaşılmıştır. Analiz sonuçları ilk iki ara ısıtma kademesinin belirgin verim artışı sağlarken üçüncü ve daha sonraki ara ısıtma kademelerinin daha az verim artışı sağladığına işaret etmektedir. Ayrıca çevrimin ısıl veriminin orta basınç seviyesinde en yüksek değerine ulaştığı sonucuna varılmıştır [12].

“Güç Santrallerinin Ekserji Analizi” başlıklı çalışmada ise güç üreten santrallerin verimini arttırmayı amaçlayan iyileştirme faaliyetlerinde ekserji analizinin önemi vurgulanmıştır. Avrupa pazarında faaliyet gösteren güç santrallerinin değerlendirilmesinde ekserji ve maliyet analizi çalışmalarının birlikte yürütülmesinin

gerekliliği anlatılmıştır. Ancak bu şekilde geleneksel güç santralleri ve nükleer güç santralleri etkin bir şekilde kıyaslanabilmektedir [13].

2. EÜAŞ AMBARLI DOĞALGAZ KOMBİNE ÇEVİRİM SANTRALİ

Termik santraller; katı, sıvı veya gaz halindeki yakıtlarda var olan kimyasal enerjiyi ısı enerjisine, ısı enerjisini hareket (kinetik) enerjisine, hareket enerjisini de elektrik enerjisine dönüştüren tesislerdir.

İstanbul Avcılar Ambarlı sahilinde bulunan Ambarlı Doğalgaz Kombine Çevrim Santrali (DKÇS), Türkiye Cumhuriyeti Elektrik Üretim Anonim Şirketi (EÜAŞ) Termik Santraller ve Maden Sahaları Dairesi Başkanlığı'na bağlı olarak 1988 yılından bu yana elektrik üretmektedir. Ambarlı DKÇS'de birincil yakıt olarak BOTAŞ'tan tedarik edilen doğal gaz kullanılmaktadır. Gerekğinde yakıt olarak yağyakıt (*Ing. fuel oil*) kullanılmasına da imkân sağlayacak hibrit brülörler ve yağyakıt tankları sayesinde doğal gaz tedarik edilmesinde yaşanabilecek kesintilerin elektrik üretimini olumsuz etkilemesinin önüne geçilmiştir. EÜAŞ Ambarlı DKÇS her biri 450 MW kurulu güce sahip üç kombine bloktan oluşmaktadır ve toplam kurulu gücü 1350 MW'tır. Her kombine bloğunda 138,8 MW kurulu güce sahip iki gaz türbini elektrik üreticisi grubu ve 172,4 MW kurulu güce sahip bir buhar türbini elektrik üreticisi grubu bulunmaktadır. Her bir blok için üretici firma olan Siemens A.G. tarafından; 15°C ortam sıcaklığı ve 15°C soğutma suyu sıcaklığında %51,37 verim ile net 442 MW elektrik üretim gücü garanti edilmiştir.

EÜAŞ Ambarlı DKÇS bünyesinde bulunan bütün ekipmanların kontrolü kumanda odasındaki merkezi kontrol, veri izleme ve kayıt sistemi ile sağlanmaktadır. Kumanda odasında bulunan bilgisayarlar ve diğer elektronik cihazlar sayesinde operatörler; EÜAŞ Ambarlı DKÇS geneline yayılmış ve önem arz eden bütün ekipmanların girişine, çıkışına ve gerekli durumlarda ekipmanın içerisine konumlandırılmış sıcaklık, basınç, debi ve gerekiyor ise iletkenlik ölçüm cihazlarından alınan verileri anlık olarak gözlemleyebilmektedirler.

Kumanda odasındaki bilgisayar ve diğer elektronik cihazlara ulaşan veriler, otomatik kontrol sisteminin önceden belirlenmiş değer aralıklarına ve komut algoritmalarına

göre değerlendirilir, eğer değerler önceden belirlenen aralıklarda ise kontrol sistemi mevcut durumu korur.

Ölçülen değerlerin önceden belirlenen değer aralıklarının dışına çıkması durumunda ise kontrol sistemi; yakıt debisi, buhar debisi, baca açıklık oranı, pompa basınçları ve jeneratör yükleri gibi değerleri önceden belirlenen komut algoritmaları doğrultusunda değiştirecek düzeltme amaçlı otomatik müdahalelerde bulunmaktadır ve kumanda odasındaki bilgisayarlar ve/veya kontrol paneli üzerinden uyarı sinyali yayınlamaya operatörleri uyarmaktadır. Ayrıca kumanda odasında görevli operatörler gerekli gördükleri durumlarda sisteme elle kumanda ile EÜAŞ Ambarlı DKÇS çalışanlarının sağlığını, ekipmanları ve üretimini koruyucu önlemleri alabilmektedir.

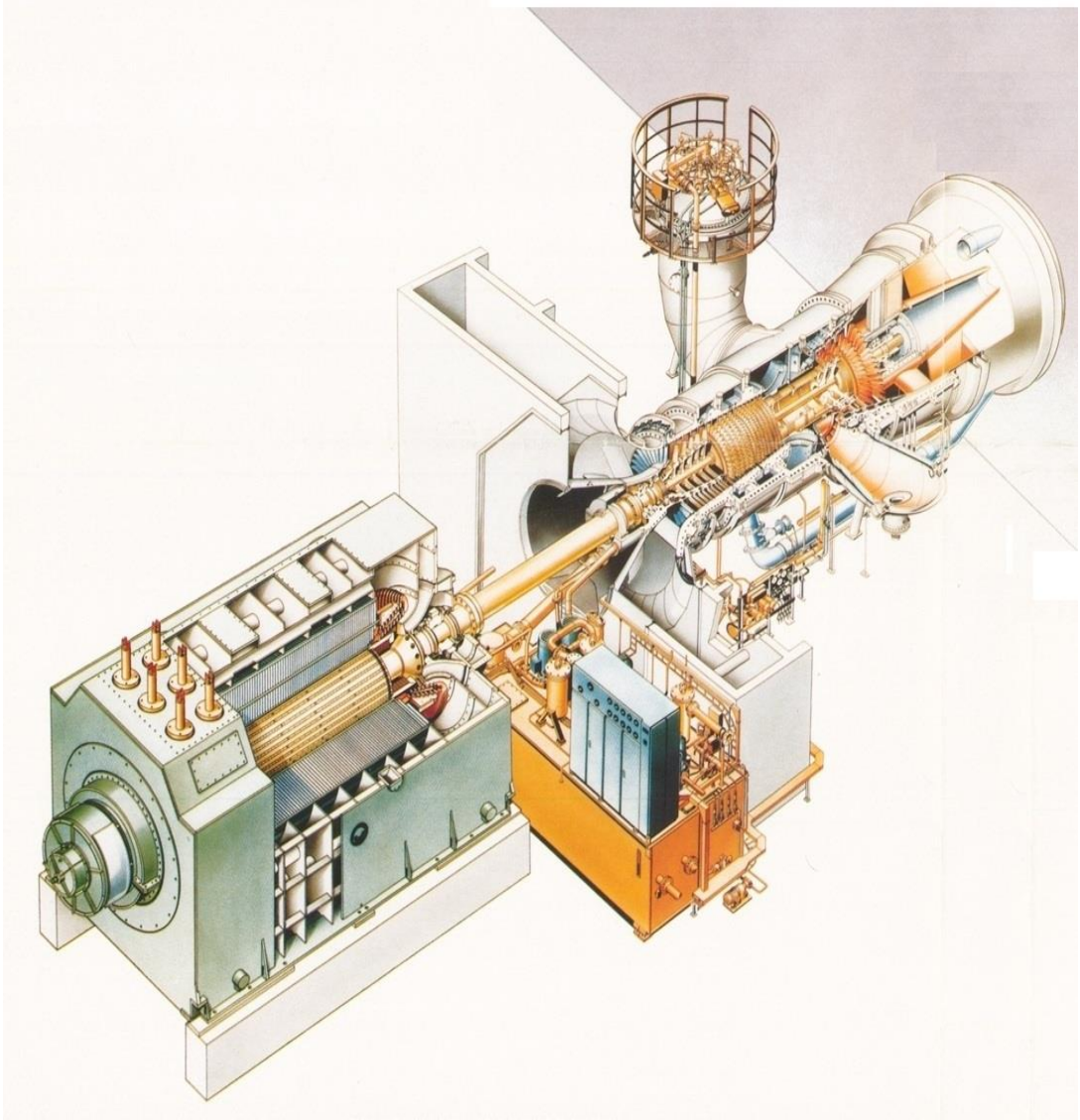
Bu bölümde, EÜAŞ Ambarlı DKÇS'yi oluşturan; gaz türbini elektrik üreticisi grubu, atık ısı geri kazanım kazanı, besleme suyu sistemi, buhar türbini elektrik üreticisi grubu, yoğuşturucu, besleme suyu pompa sistemi, besleme suyu ısıtma sistemi, besleme suyu tankı (gazsızlaştırma ünitesi), su saflaştırma sistemi, ana yoğuşturucu su pompası ve baca sistemi gibi ekipmanlar detaylı olarak incelenmiştir. Bu bölümde ayrıca, EÜAŞ Ambarlı DKÇS'nin güç üretmesine imkân sağlayan destek ekipmanları ve sistemleri de incelenmiştir (EK B).

2.1. Gaz Türbini Elektrik Üretici Grubu

BOTAŞ tarafından sağlanan doğal gaz filtre edilip basıncı 50-60 bar seviyesinden 17-20 bar seviyesine düşürüldükten sonra ihtiyaç duyulan debide gaz türbini brülörüne gönderilmektedir. Gaz türbini brülörlerinin girişinde basınç tekrar anlık olarak istenilen seviyeye ayarlanmaktadır. Dışardan alınan hava çok kademeli hava filtresinden geçirilerek toz ve diğer parçacık kirleticilerden arındırılarak gaz türbini yanma odasına gönderilmektedir.

Havanın ve doğal gazın filtre edilmesi gaz türbini kanatlarının ve brülörlerin zarar görmesini önlemek için önemlidir. Brülörlerden yanma odasına gönderilen doğalgaz ve kompresörde sıkıştırılan hava karıştırılarak yakılmakta ve elde edilen yüksek basınç ve sıcaklıktaki yanmış gazlar türbin basamaklarında genişlemekte ve türbin kanatlarının dönmesini sağlamaktadır. Türbin kanatlarının dönmesi aynı mil ile bağlı olan kompresör kanatlarının ve jeneratör rotorunun da dönmesini sağlamaktadır.

Böylece üretilen kinetik enerji hem havanın sıkıştırılmasında hem de elektrik enerjisi üretiminde kullanılmaktadır (Şekil 2.1).



Şekil 2.1 : Gaz türbini elektrik üretici grubu [14].

2.1.1. Çok kademeli hava filtresi

Atmosferden alınan hava toz ve benzeri parçacıklar içerebilmektedir. Bu parçacıkların gaz türbini ve kompresör kanatlarına ulaşması istenmemektedir. Yüksek devirde dönmekte olan kompresör kanatları ve yüksek devirde dönmenin yanı sıra çok yüksek sıcaklıklarda çalışan türbin kanatları filtre edilmeyen hava içerisindeki toz ve benzeri parçacıklar tarafından korozyona uğratılabilir.

Ayrıca türbin milinin yataklarına girebilecek toz ve parçacıklar yatakların çabuk aşınmasına yol açabilmektedir. Bütün bu istenmeyen durumların önüne geçilmesi için gaz türbininde kullanılacak havanın filtre edilmesi gerekmektedir. EÜAŞ Ambarlı

DKÇS’de kullanılan çok kademeli hava filtreleri sayesinde gaz türbinlerinde kullanılacak hava toz ve benzeri parçacıklar arındırılmaktadır. Ayrıca çok kademeli filtrelere bakım ve temizliği hava kalitesi ve gaz türbini performansı açısından önemlidir (Şekil 2.2).



Şekil 2.2 : Çok kademeli hava filtresi ve trafo.

2.1.2. Gaz türbini

EÜAŞ Ambarlı DKÇS bünyesinde 6 adet birbirine eş gaz türbini bulunmaktadır. Siemens AG tarafından 1988 yılında devreye alınan V 94.2 tipi gaz ve/veya sıvı yakıt yakma imkânı olan gaz türbinleri; aynı şafta bağlı 16 kademe kompresör ve 4 kademe türbin kanatlarından oluşmaktadır.

Her bir türbin üzerinde bulunan iki adet silo tipi yanma odası içerisinde yer alan 16 adet hibrit yakıcı ayrı ayrı sıvı ve gaz yakıt yakabileceği gibi sıvı ve gaz yakıtı aynı anda da yakma imkânına sahiptir. Üretici firma tarafından hesaplanan gaz türbini nominal yük dizayn değerleri 15°C dış hava sıcaklığı için Çizelge 2.1’de verilmiştir.

Çizelge 2.1 : Gaz türbini nominal yük dizayn değerleri [14].

Açıklama	Dizayn Değeri
Üretici	Siemens AG, UB KWU
Üretim Yılı	1988
Tipi	V 94.2
Hız	3000 devir/dakika
Kademe Sayısı	4
Çıkış Gücü	138.800 kW
Verimlilik	%32,25
Türbin Giriş Sıcaklığı	1050°C
Türbin Egzoz Sıcaklığı	558°C
Gaz Tüketim	10,15 kg /s
Kompresör	16 kademe

EÜAŞ Ambarlı DKÇS bünyesinde kullanılan gaz türbinlerinde; sabit kanat kayıpları, hareketli kanat kayıpları, sürtünme kayıpları, sızıntı kayıpları, salmastra kayıpları, mekanik kayıplar, yön değiştirme kayıpları ve yardımcı tesisat kayıpları oluşmaktadır. Bütün bu kayıplara, yakıt alt ısı değeri farklılıklarına ve değişken dış hava koşullarına bağlı olarak, gaz türbini çıkış gücü ve verimi değişiklik göstermektedir.

Gaz türbininin devreye alınması yol verme olarak adlandırılan ilk hareket ile başlamaktadır. Bir gaz türbine yol verilebilmesi için gerek ve yeter şartların tümünün oluşması gereklidir. Böylece gaz türbini milinin dönmesini engelleyen kilitlemeler kaldırılarak yol vermeye hazır duruma geçilebilmektedir. Yol verme işleminde sırasıyla; rotor kaldırma ve ana yağ pompası çalıştırılır, yol verme trafosu gaz türbininin döndürme motorunu çalıştırır, yakıt valfi açılır, tutuşturucular açılır ve yanma gerçekleşir. Yol verme sırasında gaz türbini dönüş hızı kontrol edilerek üretilen elektriğin frekansının şebeke ile aynı olması sağlanmaktadır. Yol verme işlemi tamamlanıp türbin paralel girme olarak adlandırılan şebeke frekansına uygun hızda dönmeye başladıktan sonra türbin yükü kontrol edilerek üretilen elektrik enerjisi miktarı arttırılır. Türbin çıkış sıcaklığı önceden belirlenen değere ulaştığında ise gaz

türbini sıcaklık kontrolü olarak adlandırılan durumda çalışmaya devam edilmektedir. Sıcaklık kontrolü durumunda türbin çıkış sıcaklığının önceden belirlenen sınırın üzerine çıkmasının önlenmesi için yanma odasına giren yakıt miktarına otomatik kontrol sistemi müdahale etmektedir. Güç üretimine sıcaklık kontrolü durumunda devam eden gaz türbininde üretilen elektriğin frekansı ile şebeke frekansı gaz türbini arasında farklılık oluşması durumunda ise geçici olarak frekans kontrolü durumuna geçilmektedir.

Gaz türbininin servis dışı edilebilmesi için ilk önce üretilen elektrik yükü miktarı azaltılarak en aza indirilir. Yol verme trafosu açılarak gaz türbininin döndürme motoru çalıştırılır. Jeneratör kesicisi açılarak jeneratörün elektrik üretimi kesilir. Devir düşmeye başlar ve yakıt valfi kapatılır. Rotor kaldırma ve ana yağ pompası çalışmaya devam eder, türbin yanma olmadan dönmeye devam eder böylece türbin kanatlarının soğuması sağlanmaktadır.

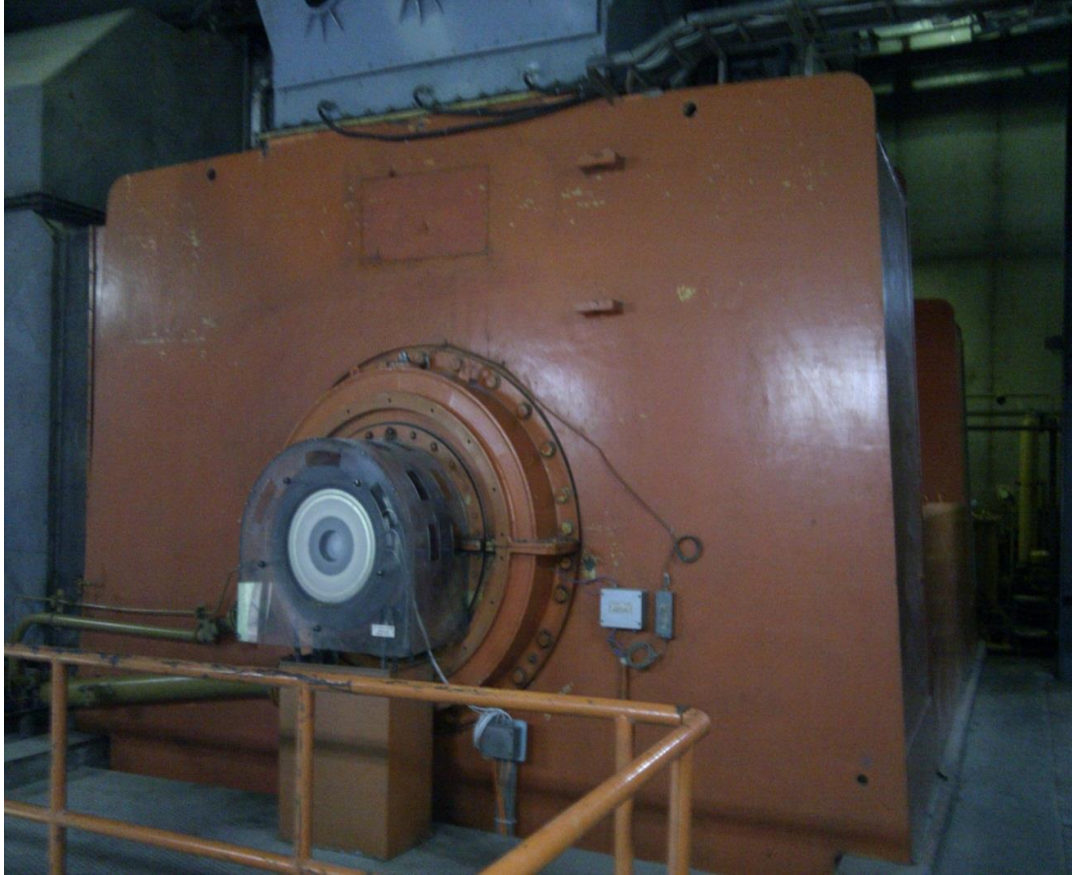
Gaz türbini çalışma sıcaklığının yüksek olması ve ısı kayıplarının güç üretimini olumsuz etkilemesi nedeniyle etkin bir şekilde ısı yalıtımı uygulanmıştır. Uygulanan yalıtım ayrıca gaz türbininin çalışması sırasında yüksek desibelere ulaşan gürültü seviyesini azaltacak ses yalıtımı özelliğine de sahiptir (Şekil 2.3).



Şekil 2.3 : Gaz türbini.

2.1.3. Gaz türbini jeneratörü

EÜAŞ Ambarlı DKÇS bünyesinde bulunan gaz türbinlerinde BOTAŞ hattından alınan doğal gaz ile gaz türbini miline bağlı kompresörde sıkıştırılan hava yanma odasında karıştırılarak yakılır ve ortaya çıkan yüksek basınç ve sıcaklıktaki yanma ürünü gazlar türbin kademelerinde genişleyerek türbin rotorunu döndürmek suretiyle yakıtın kimyasal enerjisini mekanik enerjiye dönüştürmektedir (Şekil 2.4).



Şekil 2.4 : Gaz türbini jeneratörü.

Gaz türbini miline bağlı bulunan jeneratör gaz türbininde üretilen mekanik enerjiyi elektrik enerjisine dönüştürmektedir. EÜAŞ Ambarlı DKÇS şebekeler arası bileşik (*İng.* interconnected) sisteme bağlı bulunmaktadır, bu nedenle üretilen elektrik enerjisi voltaj ve frekans gibi değerler açısından şebekeler arası bileşik sisteme uygun olmak zorundadır. Özellikle gaz türbininin devreye alınması ve gaz türbininin servis dışı edilmesi süreçlerinde oluşabilecek voltaj ve frekans dalgalanmalarının şebekeler arası bileşik sisteme yansıtılmaması gerekmektedir. Bu nedenle gaz türbini jeneratöründe üretilen elektrik enerjisi trafo ve elektrik aktarım sahasında düzenlendikten sonra sisteme iletilmektedir, ayrıca gerekli durumlarda gaz türbini jeneratörü kesicisi

açılarak elektrik iletimi durdurulabilmektedir. Gaz türbini jeneratörü nominal yük dizayn değerleri dakikada 3000 devir türbin hızı için üretici firma Siemens AG tarafından belirlenmiştir (Çizelge 2.2).

Çizelge 2.2 : Gaz türbini jeneratörü nominal yük dizayn değerleri [14,15].

Açıklama	Dizayn Değeri
Üretici	Siemens AG, UB KWU
Üretim Yılı	1988
Tipi	TLRI 108 / 41
Çıkış Gücü	160.000 kVA
Güç Faktörü	0,8
Nominal Hız	3000 devir/dakika
Aşırı Hız	3600 devir/dakika
Frekans	50 Hz
Gerilim	10.500 V $\pm$ %5
İkaz Gerilimi	378 V
Verimlilik	%98,45
İzolasyon Sınıfı	F
Soğutma Havası Girişi	40°C
Stator Ağırlığı	147 ton
Komple Rotor	147 ton

2.1.4. Gaz türbini bacası

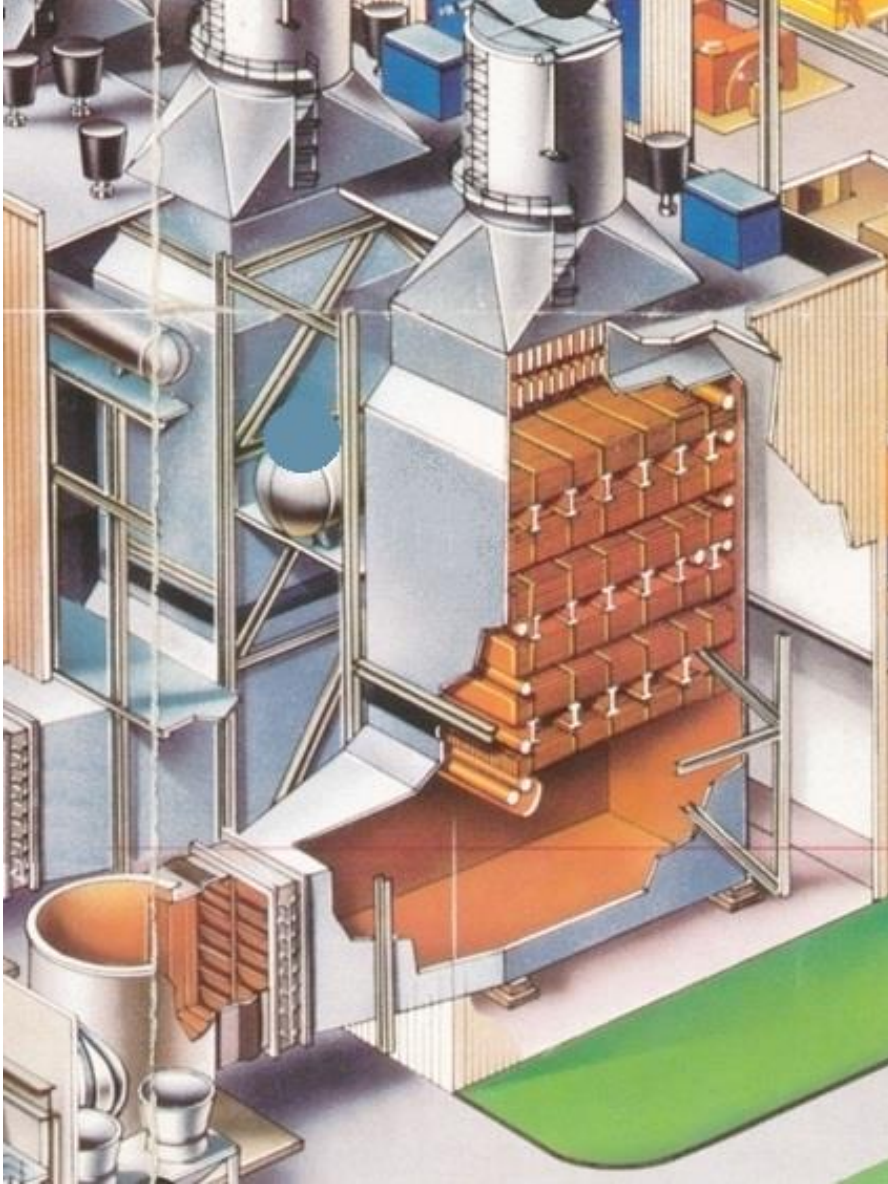
Gaz türbininde genişleyip sıcaklığı azalan ve basıncının büyük kısmını kaybeden yanma ürünü gazlar kombine çevrim durumunda buhar türbininin enerji üretebilmesi amacıyla ihtiyaç duyduğu buharın üretilmesi için ısı kaynağı olarak atık ısı geri kazanım kazanına yönlendirilir. Sadece gaz türbininin devrede olması durumunda ise yanma gazlarının atık ısı geri kazanım kazanına değil gaz türbini (atlatma veya baypas) bacasına yönlendirilir. Böylece buhar üretimi yapılmayan AIGKK borularının ve kubbelerinin aşırı ısınması ve hasar görmesi önlenmektedir. Yanma gazlarının AIGKK'na veya gaz türbini bacasına yönlendirilmesi otomatik kontrol sistemi üzerinden kumanda edilmektedir (Şekil 2.5).



Şekil 2.5 : Gaz türbini bacası.

2.2. Atık Isı Geri Kazanım Kazanı (AIGKK)

Gaz türbini yanma odasında gerçekleşen yanma reaksiyonu sonucu ortaya yüksek sıcaklıkta egzoz gazları çıkmaktadır. Egzoz gazları gaz türbini bacasından atmosfere atılabilmektedir, fakat atmosfere atılan yüksek sıcaklıktaki egzoz gazları enerji üretim potansiyelinin boşa harcanması demektir. Bu nedenle kombine çevrim sistemlerinde gaz türbini egzoz gazları atmosfere atılmak yerine bir atık ısı geri kazanım kazanına gönderilerek buhar üretiminde kullanılmaktadır. Yüksek sıcaklıktaki gaz türbini egzoz gazları sahip oldukları ısıyı AIGKK içerisinde yer alan boru demetleri etrafından geçerken boru demetleri içerisinden geçmekte olan sıvı suya veya su buharına vermektedir (Şekil 2.6).



Şekil 2.6 : Atık ısı geri kazanım kazanı [14].

AIGKK içerisinde bulunan boru demetleri içerisinde geçmekte olan sıvı suyun veya su buharının gaz türbini egzoz gazlarından aldığı ısı sayesinde sıcaklıkları artarak doymuş su veya kızgın su buharı elde edilmektedir. Ayrıca AIGKK içerisinde bulunan kubbe ve kubbelere bağlı buharlaştırıcı boru demetleri içerisinde geçmekte olan doymuş su, gaz türbini egzoz gazlarından aldığı ısı sayesinde sabit sıcaklıkta faz değiştirerek buhar fazına geçmektedir. EÜAŞ Ambarlı DKÇS bünyesinde bulunan AIGKK ile alçak basınç (AB) ve yüksek basınç (YB) olmak üzere iki ayrı basınç hattında buhar üretilmektedir. AIGKK içerisinde en üst bölgede yer alan yoğunlaşmış su ön ısıtıcısında; ana yoğunlaşmış su pompasında basınçlandırılan ve sızıntı buharı yoğunlaştırıcuda bir miktar ısıtılan yoğunlaşmış suyun besleme suyu tankına girmeden önce gaz türbini egzoz gazlarından ısı alarak ön ısıtma yapılmaktadır. AIGKK

içerisinden geçmekte olan yüksek sıcaklığa sahip egzoz gazlarının, sıvı suyun ve su buharının ısı kaybını önlemek için AIGKK çeperine ısı yalıtımı uygulanmıştır. AIGKK nominal yük dizayn değerleri üretici firma Simmerig - Graz - Pauker tarafından belirlenmiştir (Çizelge 2.3).

Çizelge 2.3 : Atık ısı geri kazanım kazanı nominal yük dizayn değerleri [14].

Açıklama	Dizayn Değeri
Üretici	Simmerig - Graz – Pauker
Üretim Yılı	1988
YB Buhar Debisi	231,1 – 257,9 t/h (baz yük / tepe yük)
YB Buhar Basıncı	81 – 90,6 bar
YB Buhar Sıcaklığı	526 - 530°C
AB Buhar Debisi	46,4 – 45,2 t / h
AB Buhar Basıncı	6,3 – 6,8 bar
AB Buhar Sıcaklığı	199 - 201°C

2.2.1. Yüksek basınç buhar hattı

Besleme suyu tankından çıkan ve yüksek basınç besleme suyu pompasında basınçlandırılan su AIGKK'ya girmektedir. İlk önce 1 ve 2 numaralı yüksek basınç ısıtıcılarından geçen su ısıtılarak doymuş su halinde yüksek basınç kubbesine girmektedir. Yüksek basınç kubbesi ve yüksek basınç buharlaştırıcısı arasında devridaim pompaları sayesinde dolaşımı sağlanan su sabit sıcaklıkta faz değiştirerek buhar fazına geçmektedir. Buhar fazında yüksek basınç kubbesinden çıkarak 1 ve 2 numaralı yüksek basınç buhar kızdırıcılara girmektedir. Kızdırıcılarda yüksek sıcaklıklara kadar ısıtılarak elde edilen kızgın buhar AIGKK'dan çıkarak buhar türbini grubuna gönderilmektedir. Yüksek basınç buhar hattı AIGKK çıkışından türbin girişine kadar basınç kontrol valfleri ve atlatma hatları ile aşırı basınçtan kaynaklanabilecek olumsuzluklardan korunmaktadır.

Buhar, kazan suyundan ayrılmış olarak kubbenin üst kısmından çıkmaktadır. Birinci kademe kızdırıcıya, oradan püskürtmeli kızgınlık düşürücüye ve ikinci kademe kızdırıcıya gitmektedir. Buhar, her iki kademe kızdırıcıda da kızdırılmaktadır. Gaz türbini yükü arttıkça kazan yükü de artmaktadır. Kazan yükü arttıkça kızdırıcılar üzerinden geçen gaz sıcaklığı yükselmektedir. Eğer bir kontrol tertibatı kullanılmaz ise bu durum buhar sıcaklığının yüksek yüklerde fazla, düşük yüklerde ise az olmasına sebep olmaktadır. Türbinin yük değişimleri sınırları içerisinde sabit sıcaklıkta buhar

temini ve bu sıcaklığını öngörülen değerlerde tutabilmek maksadı ile yüksek yüklerde, birinci ve ikinci kızdırıcılar arasında, buhar üzerine besleme suyu püskürtülmektedir. Bu şekilde tertip edilmiş bir buhar sıcaklığı kontrol sistemi sayesinde yük değişimlerinde de buhar çıkış sıcaklığının aşırı yükselmesini önlemektedir.

2.2.2. Alçak basınç buhar hattı

Besleme suyu tankından çıkan ve alçak basınç besleme suyu pompasında basınçlandırılan su AIGKK'ya girmektedir. İlk önce alçak basınç ısıtıcıdan geçen su ısıtılarak doymuş su halinde alçak basınç kubbesine girmektedir. Alçak basınç kubbesi ve alçak basınç buharlaştırıcısı arasında devridaim pompaları sayesinde dolaşımı sağlanan su sabit sıcaklıkta faz değiştirerek buhar fazına geçmektedir. Buhar fazında alçak basınç kubbesinden çıkarak alçak basınç buhar kızdırıcısına girmektedir. Yüksek sıcaklıklara kadar ısıtılarak elde edilen kızgın buhar AIGKK'dan çıkarak buhar türbini grubuna gönderilmektedir. Alçak basınç buhar hattı AIGKK çıkışından türbin girişine kadar basınç kontrol valfleri ve atlatma hatları ile aşırı basınçtan kaynaklanabilecek olumsuzluklardan korunmaktadır.

Gaz türbini egzoz gazları en son yoğunlaşmış su ön ısıtıcıdan geçmekte ve sonrasında atmosfere bırakılmaktadır. Yoğunlaşmış su ön ısıtıcı ile ilgili ayrıntılı bilgi besleme suyu sistemi dahilinde verilmiştir. Egzoz gazlarının gaz türbini çıkışından AIGKK çıkışına kadar olan yukarı yönlü hareketi yüksek sıcaklık nedeniyle sahip olduğu düşük özgül ağırlık ile oluşmaktadır. AIGKK çıkışındaki kapakların açıklık oranı kontrol edilerek farklı dış hava basınç ve sıcaklık değerlerinde gaz türbini egzoz gazlarının atmosfere bırakılma debisi kontrol edilmektedir, bu sayede egzoz gazlarından ısı alımı mümkün olduğu ölçüde arttırılmaktadır. Yüksek basınç buhar hattında bulunan sıcaklık kontrol sisteminin benzeri alçak basınç buhar hattında da bulunmaktadır.

2.3. Besleme Suyu Sistemi

Yoğunlaşmış su sistemi olarak da adlandırılan besleme suyu sistemi, yoğunlaşmış suyun (besleme suyunun) toplanması, nakli, ısıtılması ve kontrolü ile alakalı boru ve ekipmanları ihtiva etmektedir. Buhar türbini egzoz buharının yoğunlaştıktan sonra yoğunlaşmış su kasasında toplamaya ve bunu kazan besleme pompalarına kadar nakletmeye yarayan sistemdir.

Yoğuşmuş su kasasındaki su, her biri türbinin tam kapasite ile çalışırken yoğuşan suyu iletebilecek kapasitede iki yoğuşmuş su pompasından serviste bulunanı vasıtası ile basılmaktadır. İkinci yoğuşmuş su pompası yedek olarak bulunmaktadır. Yoğuşmuş su pompasının ilettiği su, türbin sızıntılarından dönen sızmış, kaçak buharı soğutarak yoğuşturmaya yarayan sızıntı buharı yoğuşturucusundan geçmektedir. Buradan geçen yoğuşmuş su alçak basınç türbininin 5 ve 6 numaralı kademeleri arasından alınan buharla ısıtılmaktadır. Yoğuşmuş suyu atlatmadan geçerek yoğuşmuş su ön ısıtıcılarına gelmektedir. Yoğuşmuş su ön ısıtıcılarda $\sim 100^{\circ}\text{C}$ 'ye kadar ısıtılarak, besleme suyu tankına (gaz alıcı) iletilmektedir. Gaz alıcıda besleme suyu püskürtülerek zerrecikler halinde kat kat yerleştirilmiş süzgeçlerin arasından dökülürken alçak basınç türbinin 2 ve 3 numaralı kademeleri arasından alınan ara buharla doğrudan temasla ısınmaktadır. Bu ısınma esnasında serbest kalan oksijen ve diğer gazlar işletme havalandırması vasıtası ile atmosfere atılmaktadır. Yoğuşan ısıtma buharı ile birlikte yoğuşmuş su gaz alıcı tankın alt kısmında toplanmaktadır. Bu sayede gaz alıcı tankın alt kısmı kazan besleme pompaları için kazan besleme tankı görevi görmektedir.

Kumanda odasında yoğuşmuş su tahliye pompalarının çıkış kolektöründeki değerler merkezi kontrol, veri izleme ve kayıt sistemi ve bir kısmı da dikey panoda takip edilmektedir. Ayrıca çıkış kolektöründe suyun PH değeri ve iletkenliği kontrol edilmektedir. Yoğuşmuş su suyunun iletkenliği yükseldiğinde operatörü uyaran alarm sistemi mevcuttur.

Termik santrallerde kullanılan buhar çevriminde kullanılan suyun ve buharın adlandırılması aşağıdaki şekildedir;

Yoğuşmuş su: Türbinden çıkan buhar, yoğuşturucuda yoğuştuktan sonra gaz alıcı girişine kadar yoğuşmuş su olarak adlandırılmaktadır.

Besleme suyu: Gaz alıcıdan kazan girişine değin bulunan çevrim suyu besleme suyu olarak adlandırılmaktadır.

Kazan suyu: Kazana giren besleme suyu, kazanın kubbesinde doymuş buhara dönüşünceye dek kazan suyu olarak adlandırılmaktadır.

Doymuş buhar: Kazan kubbesinde su ile dengede bulunan yaş buhar doymuş buhar olarak adlandırılmaktadır.

Kızgın buhar: Kazanın kubbesinden çıkan doymuş buhar kızdırıcılarda kızdırıldıktan sonra türbine girer. Çevrimin bu kısmında buhar, kızgın buhar olarak adlandırılmaktadır.

Çürük buhar: Türbinde iş görmüş buhara çürük buhar denir. Çürük buhar, yoğuşturucuya girer ve yoğuşturucudan doymuş su fazında yoğuşmuş su olarak çıkar.

2.3.1. Yoğuşturucu çıkışındaki ana yoğuşmuş su pompası

Buhar türbinlerinde genişleyerek basıncı ve sıcaklığı azalmış olan buhar sonrasında yoğuşturucuda tamamen sıvı su fazına geçmektedir. Yoğuşturucudan çıkan suyun tekrardan sisteme iletilebilmesi için basınçlandırılması işlemi yoğuşturucu çıkışındaki ana yoğuşmuş su pompası (yoğuşmuş su tahliye pompası) tarafından gerçekleştirilmektedir.

Yoğuşmuş su kasasından yoğuşmuş suyu basınçlandırarak gaz alıcıya iletmek için elektrik motoru ile tahrik edilen ve her biri türbinlerin tam kapasite ile çalışması durumunda yoğuşturucudan çıkacak yoğuşmuş suyun debisine yeterli gelebilecek iki adet hız kontrollü yoğuşmuş su tahliye pompası kullanılmaktadır. Her iki pompanın kontrolü kumanda odasındaki merkezi kontrol sisteminden veya pompa mahallindeki yakın kontrol sisteminden yapılabilmektedir. Kumanda odasındaki dikey pano üzerindeki şemada pompaları temsil eden ilgili lambalar hangi pompanın serviste olduğunu göstermektedir.

Yoğuşmuş su tahliye pompaları; yoğuşturucuda bulunan suyun seviyesi, sıcaklığı ve basıncı dikkate alınarak devreye alınmaktadır. Ayrıca yoğuşmuş su tahliye pompalarının devreye alınabilmesi için pompaları tahrik eden elektrik motorlarının ihtiyaç duyduğu elektrik enerjisi değerlerinin sağlanması gerekmektedir. Her iki pompa aynı anda devrede ise otomatik kontrol sistemi bir süre sonra pompalardan birini koruma amaçlı devre dışı bırakmaktadır.

Ayrıca besleme suyu sisteminde bulunan vakum pompaları ile sistemde bulunan hava çekilerek atmosfere atılmaktadır. Türbinlere yol verme işleminden önce yoğuşmuş su hattını ve dolayısı ile ana durdurma valfine kadar buhar türbinleri dâhil tüm su ve buhar hattını vakum altına almak gerekmektedir. Yoğuşmuş su hattında -0,85 bar vakum oluşuncaya kadar iki vakum pompası da serviste kalmaktadır. Vakum -0,85 bar değerinin üzerine çıkınca kumandada seçimi yapılmamış pompa servis dışı kalmaktadır, kumandada seçimi yapılmış olan pompa ise serviste kalmaktadır. Tek

vakum pompası normal işletme şartlarında sitemin vakum ihtiyacını karşılamaktadır. Eğer herhangi bir nedenden yoğunlaşmış su hattında vakum -0,85 bar değerinin altına düşerse yedek pompa otomatik olarak servise girmektedir.

2.3.2. Yoğunlaşmış su ön ısıtıcı

Yoğuşturucuda yoğuştuğuktan sonra sızıntı buharı yoğuşturucuda ısıtılan yoğunlaşmış su besleme suyu tankına girmeden önce AIGKK'nın en üst bölgesinde yer alan yoğunlaşmış su ön ısıtıcısından geçmektedir. Yoğunlaşmış su ön ısıtıcısı boru demetleri dışından geçen yüksek sıcaklıktaki gaz türbini egzoz gazları, boru demetleri içerisinde geçmekte olan yoğunlaşmış suyu ısıtmaktadır. Bu sayede besleme suyu tankına girmeden önce fazladan yakıt yakılmadan besleme suyu ısıtılarak santral verimi artırılmıştır.

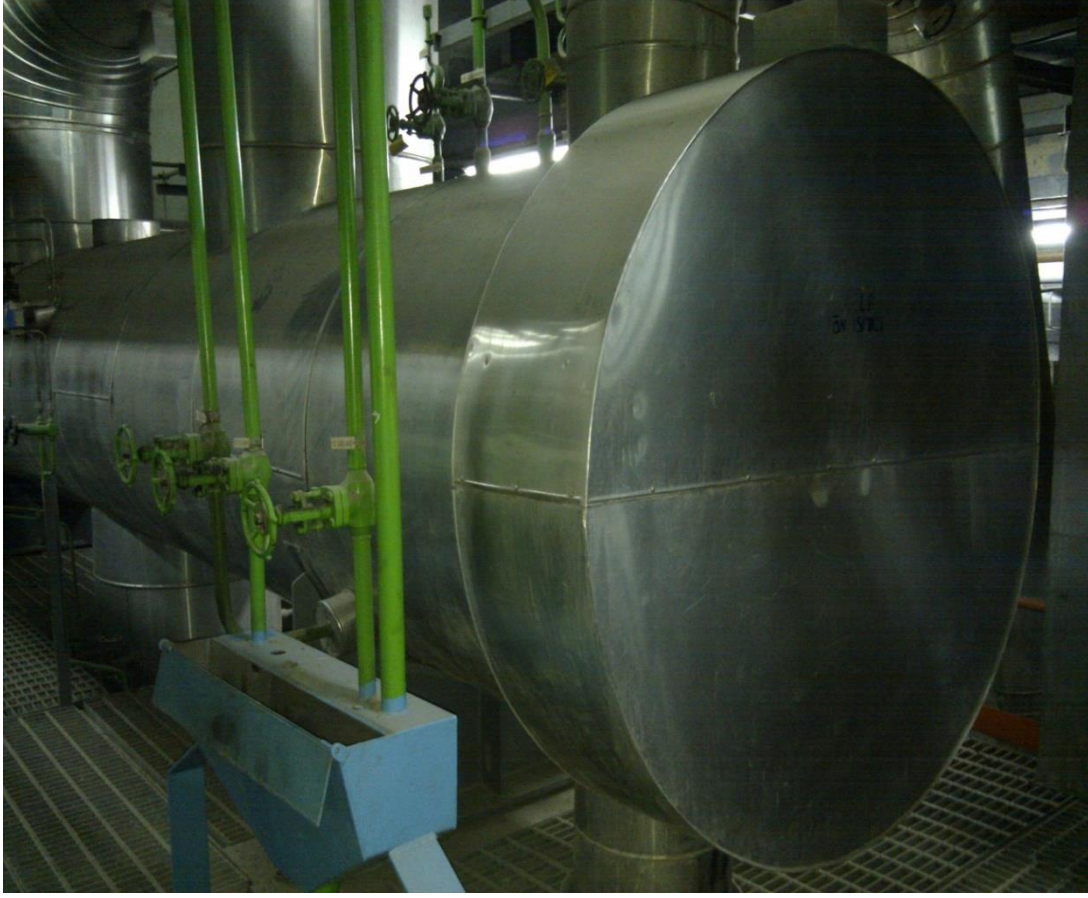
Yoğunlaşmış su ön ısıtıcı giriş ve çıkış sıcaklıkları otomatik kontrol sistemi tarafından kontrol edilen devridaim pompası ve atlatma hattı valfi sayesinde istenilen aralıkta tutulmaktadır. Bu sayede besleme suyu tankı giriş sıcaklığının önceden belirlenen değerleri içerisinde kalması sağlanmaktadır. Ön ısıtıcı giriş sıcaklığı 60°C'nin altında ise devridaim pompası devreye girerek ön ısıtıcıdan çıkan yoğunlaşmış suyun bir kısmını tekrar ön ısıtıcı girişine geri basmaktadır. Ön ısıtıcı çıkış sıcaklığı 95°C'nin altına düşer ise atlatma valfi kapanarak sıcaklığın dengelenmesi sağlanmaktadır.

2.3.3. Besleme suyu tankı

EÜAŞ Ambarlı DKÇS bünyesinde bir adet besleme suyu tankı (gazsızlaştırma ünitesi, gaz alıcı) bulunmaktadır. Buhar çevriminde kullanıldığı şekli ile gaz alıcının üç görevi bulunmaktadır; yoğunlaşmış su içinde bulunan oksijen ve diğer gazların sudan ayrılmalıdır, doğrudan temas ile ısıtıcı olarak vazife görmektedir ve kazan besleme pompalarına besleme suyu tankı vazifesi görmektedir.

Yoğunlaşmış su ön ısıtıcısından gelen ısıtılmış yoğunlaşmış su, besleme suyu ısıtıcıya üst kısmından besleme suyu tankı kontrol valfinden geçerek girmektedir. Ayrıca alçak basınç buhar türbininden alınan ara buhar besleme suyu ısıtıcıya yan kısmından girmektedir. Besleme suyu ısıtıcının üst kısmından girerek yer çekimi ile aşağı doğru hareket eden yoğunlaşmış su gaz alma kısmına gelirken serpantinlere çarparak zerrecikler haline gelmektedir. Zerrecikler halindeki yoğunlaşmış su buhar jeti ile yıkanarak su içerisindeki gazlar ayrılmakta ve ayrılan gazlar besleme suyu tankının en üst bölgesinde yer alan tek yönlü vanalar ile dışarı atılmaktadır. Besleme suyundan

gazların ayrılması ile AIGKK, buhar türbinleri ve diğer ekipmanların bu gazlar nedeniyle zarar görmesi önlenmektedir (Şekil 2.7).



Şekil 2.7 : Besleme suyu tankı.

Besleme suyu pompalarının girişlerindeki basıncı belirli bir değerin altına düşürmemek için gaz alıcı devamlı surette atmosfer basıncının üzerinde bir buharla beslenmeli ve besleme tankındaki su seviyesi de kontrol altında tutulmalıdır. Bu nedenle işletme şartlarında alçak basınç türbininin ikinci ile üçüncü kademeleri arasından ara buhar alınarak besleme suyu tankına verilmektedir. Ayrıca kazanlar servis harici ise diğer kombine grubunun yardımcı buhar kolektöründen besleme suyu tankına verilmek üzere buhar alınmaktadır.

2.3.4. Besleme suyu pompa sistemi

Besleme suyu tankından çıkan su hattı ikiye ayrılmaktadır. Besleme suyu tankından çıkan ve alçak basınç besleme suyu pompası tarafından basınçlandırılan su AIGKK alçak basınç hattına iletilmektedir. Besleme suyu tankından çıkan ve yüksek basınç besleme suyu pompası tarafından basınçlandırılan su AIGKK yüksek basınç hattına

iletilmektedir. Besleme suyu pompalarının sağladığı basınç, suyun iletildiği hattan kaynaklanan kayıplara uğradıktan sonra, AIGKK içerisindeki alçak basınç veya yüksek basınç kubbelerinin basıncını belirlemektedir. Kubbelerin içerisinde doymuş su ve doymuş buhar bir arada bulunduğundan dolayı kubbenin içerisindeki basınç doğrudan su buhar karışımının sıcaklığını etkilemektedir. Bu nedenle besleme suyu pompalarının basıncı AIGKK’nda üretilen buharın basınç ve sıcaklığına doğrudan etki etmektedir.

EÜAŞ Ambarlı DKÇS’nin otomatik kontrol sistemi tarafından veya elle kumandalı olarak operatörler tarafından besleme suyu pompalarının debisini değiştirmek amacıyla pompa devirleri veya vana pozisyonlarına müdahale edildiği durumlarda; besleme suyu hatlarının basınçları da etkilenmektedir. Besleme suyu hatlarındaki debi ve basınç değişimi doğrudan AIGKK’nda üretilen buharın debi, sıcaklık ve basınç değerlerini etkilemektedir. Bu nedenle buhar türbinlerinde üretilen güç değişiklik gösterebilmektedir.

2.3.5. Su saflaştırma sistemi

Buhar çevrimli santrallerde kullanılacak işlenmemiş suda santrale zarar verebilecek veya santral termik verimini olumsuz etkileyebilecek istenmeyen maddeler bulunabilmektedir. İşlenmemiş ham suyun içerisinde bulunan ve ayrılması gereken başlıca maddeler aşağıdaki gibidir;

Çözünmüş gazlar: Oksijen, azot, karbondioksit, hidrojen sülfür gazlarıdır.

Katı asıtlılar: Çamur, organik madde, yosun, kil ve benzeri bileşikleridir.

Çözünmüş katı maddeler: Tuzlar ve silis bileşikleri olup; tuzların en önemlileri kalsiyum, magnezyum, sodyum ve potasyumun bikarbonat, karbonat, sülfat, klorür ve nitrat maddeleridir.

EÜAŞ Ambarlı DKÇS bünyesinde bulunan AIGKK, buhar türbinleri, yoğunlaştırıcı ve pompalar başta olmak üzere sıvı su ve/veya su buharı ile teması olan bütün ekipmanların verimli bir şekilde çalışabilmesi, zarar görmemesi ve korozyona uğramaması için sistemde devridaim edilen suyun filtre edilmiş, minerallerinden arındırılmış ve yumuşatılmış su olması gerekmektedir.

Yumuşak su olarak da tabir edilen işlenmiş su ham sudaki bikarbonat sertliği olarak adlandırılan geçici sertliğin uzaklaştırılması ile elde edilmektedir. İşlenmemiş su

kullanılması durumunda ısı transfer yüzeylerinde sıcaklığın etkisiyle ayrışan bu bileşikler bikarbonat formundan karbonat dönüşerek ve ısı transferini azaltan bir birikintiye (kireçtaşı, kışır) sebep olmaktadır. Açığa çıkan karbondioksit de aşındırıcı etki göstermektedir. İşte bu nedenlerle ham sulara karbondan arındırılma işlemi uygulanmaktadır. Ham suyun ya da karbondan arındırılmış suyun, gerekli fiziksel ve kimyasal işlemlerden geçirilerek minerallerinden arındırılması da sağlanmaktadır. Suyun iletkenliği içerdiği iyon miktarı ile doğru orantılıdır. Sertliğin kaynağı suda çözünmüş bulunan toprak alkali metallerdir. Bu metallerden suda en fazla bulunanlar kalsiyum ve magnezyum iyonlarıdır. Bu nedenle suyun sertliği içerdiği kalsiyum magnezyum iyonlarının miktarı ile ifade edilmektedir.

EÜAŞ Ambarlı DKÇS bünyesinde bulunan su arıtma sahasına, ham su dinlendirilerek asılı katı maddelerin çoğu çökeltilerek ayrılmaktadır. Sonrasında filtre ve minerallerinden arındırılma işlemlerine tabi tutularak santralde kullanılmaya hazır hale getirilen sulardan numune alınarak test edilmektedir. Test sonuçları uygun çıkan suları minerallerinden arındırılmış su tanklarında depolayarak gerekli durumlarda santralin su-buhar sistemine vermek üzere hazırda bekletilmektedir. Santralin su-buhar sistemi kapalı devre olarak çalışmaktadır, bu nedenle sisteme sadece kaçak ve kayıpların telafisi için minerallerinden arındırılmış su tankından takviye yapmak yeterli olmaktadır. Ayrıca su-buhar sisteminden sürekli olarak iletkenlik ölçümleri alınmakta ve sınır değerin aşılması halinde de minerallerinden arındırılmış su takviyesi yapılarak ortalama iletkenlik değeri düşürülmektedir.

2.4. Buhar Türbini Elektrik Üretici Grubu

EÜAŞ Ambarlı DKÇS buhar türbini elektrik üreticisi grubu aynı mil üzerinde yer alan, alçak basınç ve yüksek basınç olmak üzere iki buhar türbini ve bir jeneratörden oluşmaktadır. Buhar türbinleri ısı kaybını en aza indirerek buhar türbini verimini arttırmak için ısı yalıtımı sağlayan bir kasa içerisinde bulunmaktadır. Ayrıca buhar türbini kasasının alt tarafında yoğunlaştırıcı yer almaktadır.

EÜAŞ Ambarlı DKÇS bünyesinde bulunan AIGKK ile yüksek basınç ve alçak basınç olmak üzere iki farklı basınçta üretilen buhar YB ve AB buhar hatları ile buhar türbini elektrik üreticisi grubuna iletilmektedir. YB buhar hattından gelen buhar doğrudan yüksek basınç türbinine girmektedir. YB türbininde genişleyerek basınç kaybeden ve sıcaklığı azalan buhar, türbin kanatlarını döndürerek güç üretmektedir. YB buhar

türbininden çıkan buhar AB buhar hattından gelen buhar ile birleşerek AB buhar türbinine girmektedir. AB türbininde genişleyerek basınç kaybeden ve sıcaklığı azalan buhar, türbin kanatlarını döndürerek güç üretmektedir. Ayrıca AB buhar türbininden ara buhar da alınarak besleme suyu tankının ısıtılmasında ve sızdırmazlık (sızıntı) buharı ihtiyacının karşılanmasında kullanılmaktadır (Şekil 2.8).



Şekil 2.8 : Buhar türbini grubu.

AB ve YB buhar türbinlerinin ürettikleri mekanik enerji bağlı oldukları mile dönme hareketi olarak aktarılmaktadır. Buhar türbini miline bağlı olan buhar türbini jeneratörünün buhar türbini milinden aldığı dönme hareketi sayesinde AB ve YB buhar türbinlerinde üretilen mekanik enerjiyi elektrik enerjisine dönüştürmektedir.

2.4.1. Buhar türbini

EÜAŞ Ambarlı DKÇS bünyesinde bulunan buhar türbini yüksek basınç ve alçak basınç olmak üzere iki bitişik kısımdan oluşmaktadır. Buhar türbini kasası içerisinde

ve aynı mil üzerinde yer alan bu iki kısım yüksek basınç (YB) buhar türbini ve alçak basınç (AB) buhar türbini olarak adlandırılmaktadır (Çizelge 2.4).

Çizelge 2.4 : Buhar türbini nominal yük dizayn değerleri [14].

Açıklama	Dizayn Değeri
Üretici	Siemens AG, UB KWU
Üretim Yılı	1988
Tipi YB	M 30 - 25
Tipi AB	N 30 - 2 x 10 - A
Hız	3000 devir/dakika
Kademe Sayısı YB	26
Kademe Sayısı AB	2 x 8
Çıkış Gücü	172.700 kVA
YB Buhar Debisi	462 t/h
AB Buhar Debisi	93 t/h
YB Buhar Basıncı	76 bar
AB Buhar Basıncı	6 bar
Egzoz Buhar Basıncı	0,04 bar
YB Buhar Sıcaklığı	524°C
AB Buhar Sıcaklığı	197°C

Buhar türbini AIGKK’nda üretilen buharı alıp, bu buharı kullanarak ürettiği mekanik işi aynı mil üzerindeki jeneratöre aktararak elektrik enerjisi üretimi sağlayan bir mekanik iş üreticidir. Buhar türbinleri AIGKK ile birlikte Rankin çevrimine göre çalışmaktadır. Yüksek basınç türbini tek akışlı ve 26 kademeli reaksiyon tipli kanatlardan oluşmaktadır. Alçak basınç türbini çift akışlı 2x8 kademedan oluşmaktadır.

Buhar türbinin servise alınması esasları aşağıdaki gibidir;

Buhar türbinine yol verilebilmesi için gerek ve yeter şartların tümünün sağlanması ve ön hazırlıkların hepsinin tamamlanması gerekmektedir. Sonrasına AIGKK’nın atlatma (baypas) işletmesi şartlarında ürettiği YB buharının 520°C sıcaklık, 32 bar basınç ve 16 kg/s debi şartlarına ulaşıldığında YB ve AB buhar hatlarının AIGKK çıkışlarından numune alınarak silis ve iletkenlik değerlerinin yol verme şartlarına uygunluğu kontrol edilmektedir. Yol verme şartları sağlandıktan sonra, buhar türbini ısıtma sistemi devreye girerek yol verme öncesi türbinleri ısıtmaktadır. Türbin ısıtma sistemi 100°C

sıcaklığında devreye girmekte ve 250°C sıcaklığına ulaşıldığında devreden çıkmaktadır, bu sayede türbin ekipmanlarının homojen bir şekilde ısıtılması ve ısıl gerilmelerin oluşması önlenmektedir. Isıtma işlemi tamamlandıktan sonra türbin tahliye valfleri kapatılarak türbinlere giren buharın kanatları döndürmesi sağlanmaktadır. Türbin milinin dönmesi ile elektrik enerjisi üretmeye başlayan jeneratör çıkışında yer alan düzenleyici ile üretilen elektriğin voltajı ve akımı düzenlenerek şebekeler arası bileşik sisteme iletilmektedir Böylece buhar türbini elektrik üreticisi grubu paralele girmektedir.

Buhar türbinin servis harici edilmesi esasları aşağıdaki gibidir;

Buhar türbini giriş valfleri açıklık değeri azaltılarak üretilen elektrik enerjinin gücü azaltılmaktadır ve AIGKK YB ve AB buhar basıncı çıkış değeri dengelenerek buhar atlatılmaktadır (baypas edilmektedir). Buhar türbini milinin dönüş hızının azalmasında dolayı buhar türbini jeneratöründe üretilen elektriğin frekansı değişmektedir, bu değişimin şebekeler arası bileşik sistemi etkilememsi için ünite kesiciler açılmaktadır. Sonrasında buhar türbini döndürme tertibatı devrine kadar kontrollü bir şekilde yavaşlatılmaktadır.

2.4.2. Sızdırmazlık buhar sistemi

Buhar türbinlerinin çalışması süresince türbin içerisinden geçmekte olan yüksek basınç ve sıcaklıktaki buharın türbin mili yataklarından sızarak buhar türbini verimini olumsuz etkilemesini önlemek için sızdırmazlık buharı kullanılmaktadır. Sızdırmazlık buharı sayesinde türbin kasası içerisindeki basıncı arttırmak amacıyla bir miktar buharın buhar türbini yataklarına dışarıdan basınç uygulayacak şekilde tutulmaktadır. Buhar türbini yataklarında bulunan sızdırmazlık sağlamak için verilen buhara sızdırmazlık buharı denir.

YB türbindeki yüksek basıncın dışarı kaçmasını AB türbinde ise yoğuşturucudaki vakum sebebi ile dışarıdaki havanın içeri girmesini engellemek için kullanılır. Sızdırmazlık buharı buhar türbinlerinin yapısal özelliğinden dolayı kendi üzerinden beslenmektedir, buhar türbini ilk devreye alınırken ihtiyaç duyulan sızdırmazlık buharı diğer ünitelerin buhar hattından alınmaktadır. Sızdırmazlık buharına sızıntı buharı da denmektedir. Soğuyan ve basıncını kaybeden sızdırmazlık buharı sızıntı buharı yoğuşturucuda yoğuşturularak buhar türbini yoğuşturucusu çıkışında yoğuşum suyuna karıştırılarak ana yoğuşmuş su pompasına gönderilmektedir.

2.4.3. Buhar türbini jeneratörü

EÜAŞ Ambarlı DKÇS şebekeler arası bileşik sisteme bağlı bulunmaktadır, bu nedenle üretilen elektrik enerjisi voltaj ve frekans gibi değerler açısından şebekeler arası bileşik sisteme uygun olmak zorundadır (Şekil 2.9).



Şekil 2.9 : Buhar türbini jeneratörü.

Özellikle buhar türbininin devreye alınması ve buhar türbininin servis dışı edilmesi süreçlerinde oluşabilecek voltaj ve frekans dalgalanmalarının şebekeler arası bileşik sisteme yansıtılmaması gerekmektedir. Bu nedenle buhar türbini jeneratöründe üretilen elektrik enerjisi trafo ve elektrik aktarma sahasında düzenlendikten sonra sisteme iletilmektedir, ayrıca gerekli durumlarda gaz türbini jeneratörü kesicisi açılarak elektrik iletimi durdurulabilmektedir. Buhar türbini jeneratörü nominal yük dizayn değerleri dakikada 3000 devir türbin hızı için üretici firma Siemens AG tarafından belirlenmiştir (Çizelge 2.5).

Çizelge 2.5 : Buhar türbini jeneratörü nominal yük dizayn değerleri [14].

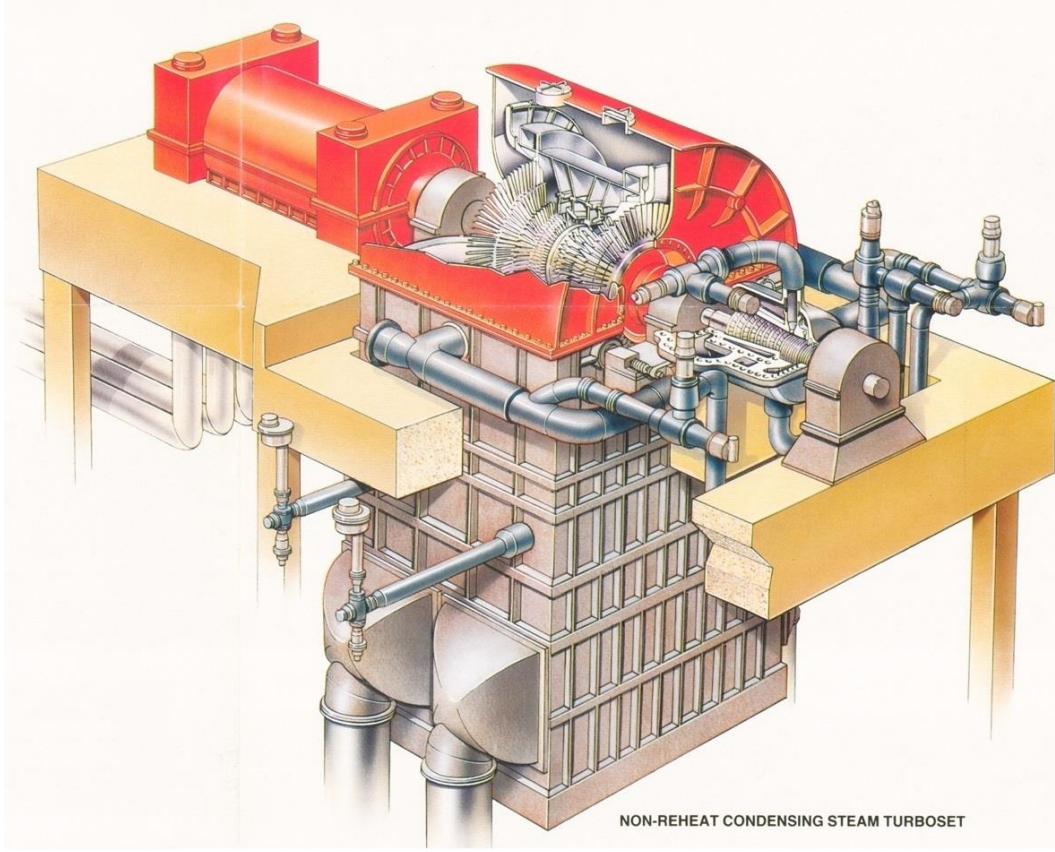
Açıklama	Dizayn Değeri
Üretici	Ganz Electric Works
Üretim Yılı	1988
Tipi	ORG 587 (hidrojen soğutmalı)
Çıkış Gücü	216.000 kVA (max 35°C soğ.suyu giriş sic.) 248.000 kVA (12°C soğ.suyu giriş sic.)
Güç Faktörü	0.8
Nominal Hız	3000 devir/dakika
Aşırı Hız	3300 devir/dakika
Frekans	50 Hz.
Gerilim	15.750 V $\pm$ 5%
İkaz Gerilimi	465 V
Stator Akımı	7918 A
İkaz Akımı	1315 A
Verimlilik	%98,80 (garanti değeri)
İzolasyon Sınıfı	F
Stator Ağırlığı	135 ton
Komple Rotor	42 ton
Soğutma Sistem Kodu	ICW37H71
Hidrojen Basıncı	3,0 bar (g)
Hidrojen Saflığı	%97 (min % 95)

2.5. Yoğuşturucu Grubu

Yoğuşturucu ve soğutma suyu pompaları ve bunları birbirlerine bağlayan borular yoğuşturucu grubunu teşkil etmektedir.

2.5.1. Yoğuşturucu

Buhar türbinlerinde genişleyerek basınç kaybeden ve sıcaklığı azalan buhar türbin muhafazasının hemen altında konumlandırılmış yoğuşturucuya girmektedir. Yoğuşturucu (*İng.* condenser) içerisinde aşağı doğru akmakta olan doymuş buhar ve su karışımı, içerisinden soğutma suyu geçmekte olan boru demetleri sayesinde ısı vererek tamamen yoğuşmakta ve sıvı su fazında yoğuşturucudan çıkarak ana yoğuşmuş su pompasına iletilmektedir (Şekil 2.10).



Şekil 2.10: Yoğuşturucu ve buhar türbini grubu [14].

Yoğuşturucuda soğutma suyu olarak deniz suyu kullanılmaktadır. Yoğuşturucuya giren deniz suyu buharın yoğuşmasını sağlamak için ısı çekmekte ve sıcaklığı yaklaşık 4°C ila 6°C artarak yoğuşturucudan çıkmaktadır. Deniz suyu hattı üzerinde sürekli olarak biriken yabancı maddeler (midye, kum vs.) nedeniyle ısı iletimi azalmakta ve yoğuşturucu performansı olumsuz etkilenmektedir. Düzenli olarak temizleme işlemi yapılarak bu olumsuzluk önlenmeye çalışılmaktadır. Yoğuşturucunun nominal yük dizayn değerleri Çizelge 2.6’da sunulmuştur.

Çizelge 2.6 : Yoğuşturucu nominal yük dizayn değerleri [14,15].

Açıklama	Dizayn Değeri
Üretici	Siemens AG, UB KWU
Üretim Yılı	1988
Tipi	İki bölmeli tek geçişli, 1 KNE 73x34-1 TSB90
Yoğuşturucuya giren su buharının giriş sıcaklığı	35-40°C
Yoğuşmuş su sıcaklığı	33-38°C

Çizelge 2.6 (devam): Yoğuşturucu nominal yük dizayn değerleri [14].

Açıklama	Dizayn Değeri
Yoğuşturucuya dökülen buhar debisini	555 ton/h
Denizden gelen soğutma suyunun giriş sıcaklığı (dizayn)	15 °C
Denizden gelen soğutma suyunun giriş sıcaklığı (yaz)	26-27 °C ye çıkıyor
Denizden gelen soğutma suyunun giriş sıcaklığı (kış)	8- 9 °C ye düşüyor
Denizden gelen soğutma suyunun debisi (tek pompa)	18.000 m ³ /h
Denizden gelen soğutma suyunun debisi (çift pompa)	36.000 m ³ /h
Soğutma suyu pompası	780 kW, 105 A
Yoğuşturucuda kullanılan malzeme	Titanyum
Soğutma alanı	11.025 m ²
Soğutma borusu sayısı	20.524 adet
Soğutma borusu çapı	19 mm
Soğutma borusu et kalınlığı	0,5 mm
Azami çalışma basıncı (buhar yoğuşması tarafı)	1,15 bar
Azami çalışma sıcaklığı (soğutma suyu tarafı)	85°C
Azami çalışma sıcaklığı (buhar yoğuşması tarafı)	38°C
Hacim (soğutma suyu tarafı)	279 m ³
Hacim (buhar yoğuşması tarafı)	113 m ³

2.5.2. Soğutma suyu pompası

Yoğuşum suyu ve yardımcı tesisat soğutma suyu soğutucularına deniz suyu temin eden boru hatlarında gerekli basınç soğutma suyu pompaları ile sağlanmaktadır. Alçak basınç buhar türbininden çıkan doymuş buhar yoğuşturucuda soğutma suyuna (deniz suyuna) ısı vererek yoğuşturulmakta ve sistemde tekrar kullanılmaktadır. Buharın yoğuşması esnasında alınan ısı deniz suyu vasıtası ile dışarı atılmaktadır. Ayrıca EÜAŞ Ambarlı DKÇS’de kullanılan teçhizatların soğutulmasında kullanılan suyun soğutulmasında deniz suyu kullanılmaktadır. Yoğuşturucunun bir bölmesi gerektiğinde servis dışı edilebilmektedir.

Soğutma suyu sahilden 400 metre uzaklıktan üç adet su alma başlığından girmektedir ve seviye farkı ile devridaim suyu kontrol mahalline akmaktadır. Kontrol mahallinde her buhar türbini elektrik üretici grup için iki adet 16.000 ton/saat kapasiteli devridaim

pompası bulunmaktadır. Soğutma suyu pompalardan birisi devrede iken diğeri yedekte beklemektedir. Soğutma ihtiyacının arttığı sıcak yaz günlerinde kısa süreli olarak iki soğutma suyu pompası birlikte kullanılabilir. Bu pompalar kontrol mahallinden aldıkları suyu bir boru hattı vasıtası ile yoğunlaştırucuya iletmektedir. Soğutma suyu yoğunlaştırucuyu terk ettikten sonra dönüş haznesine dökülmektedir. Soğutma suyu dönüş haznesinden seviye farkı ile denize akmaktadır.

Deniz suyu hattında midyeler yapışıp üreyebilmekte ve hatta basınç düşmesine sebep olmaktadır. Yoğunlaştırucudan çıkan deniz suyunu, soğutma suyu kontrol mahalli ile yoğunlaştırucu arasında devridaim yapılarak deniz suyu sıcaklığını 31°C-40°C'a kadar çıkarmak sureti ile midyelerin öldürülüp sistemden atılması düşünülmüştür. Belirli bir müddet bu sıcaklıktaki deniz suyunun yoğunlaştırucuda devridaimi midyeleri öldürmektedir. Bundan sonra da bu ölü midyeler denize atılarak sistemden temizlenmektedir. Soğutma suyu sisteminde midyelerin büyümesi, yoğunlaştırucu verimini düşüreceği ve pompaların enerji sarfiyatını arttıracığı için belirli aralıklar ile midye öldürme işlemi uygulanmaktadır.

Deniz suyu, kontrol mahallinden pompaların emişine geçerken, önce dipten sürüklenen pislik ve çamurun atılmasını sağlamak için kum pompası ile donatılmıştır. Kum pompası ile kanal boyunca oluşan pislikler dışarı atılmaktadır. Daha sonra deniz suyu iri delikli bir süzgeçten geçirilmekte ve daha ziyade büyük parçalar tutulmaktadır.

Soğutma (devridaim) suyu pompaları tek tek soğutma suyu pompası mahalli kumandasından ve ana kumanda odasından çalıştırılabilir. Her pompanın hidrolik sistemle çalışan bir çıkış tek yönlü vanası bulunmaktadır. Tek yönlü vana ile pompa arasında elektronik kontrollü kilit bulunmaktadır. Pompa çalıştırılınca tek yönlü vana açılır, pompa durunca tek yönlü vana kapanır. Soğutma suyu pompası mahalli kumandasında ve ana kumanda odasında çıkış tek yönlü vanasının açıklık oranı bilgisi görülmektedir.

İki adet soğutma suyu pompalarından çıkan deniz suyu, tek bir hatta birleşerek beton borularla yoğunlaştırucuya girmeden tekrar iki hatta ayrılmakta ve filtrelerden geçmektedir. Filtrelerde eleklerden geçen daha ufak pislikler tutularak deniz suyu geri dönüşüne verilmektedir. Bu işlemdeki amaç yoğunlaştırucudan geçen deniz suyunu pisliklerden arındırarak borularda ısı alış verişini en verimli düzeye çıkarmaktır.

Yoğuşturucu giriş ve çıkışında basınçlar yoğuşturucu boru bağlantı bölgesinde bulunan manometrelerden takip edilmektedir. Aynı zamanda soğutma suyu pompa çıkış basınç ve yoğuşturucu deniz suyu giriş, çıkış sıcaklık değerleri ana kumanda da takip edilmektedir. Sıcaklıklar arasındaki fark ve soğutma suyu pompa çıkış basınç değerleri yoğuşturucu deniz suyu bölmelerinde kirlenmeyi göstermektedir. Yoğuşturucu deniz suyu borularındaki kirlenme ısı alış verişini azaltacağından, yoğuşturucu suyu ve AB türbini egzoz sıcaklıkları değişecektir, beraberinde vakuma etki edecektir. Bunu önlemek için yoğuşturucu borularını temizleyen bir top sistemi mevcuttur.

Toplar yoğuşturucu deniz suyu girişine pompa yardımı ile basılmaktadır. 20 mm çapındaki topalar deniz suyu borularından geçerken borulara yapışmış pislikleri de sürüklemekte ve yoğuşturucu çıkışında top toplama filtrelerine takılarak deniz suyundan ayrılmaktadır. Devridaim olup olmadığı hat üzerinde gözetleme camından takip edilmektedir. Eğer devridaimde azalma var ise top ilavesi yapılmaktadır. Haftada bir topalar toplanarak boyutlarında küçülme tespit edilenler değiştirilmektedir. Sistem toplam 100 adet topla servisedir.

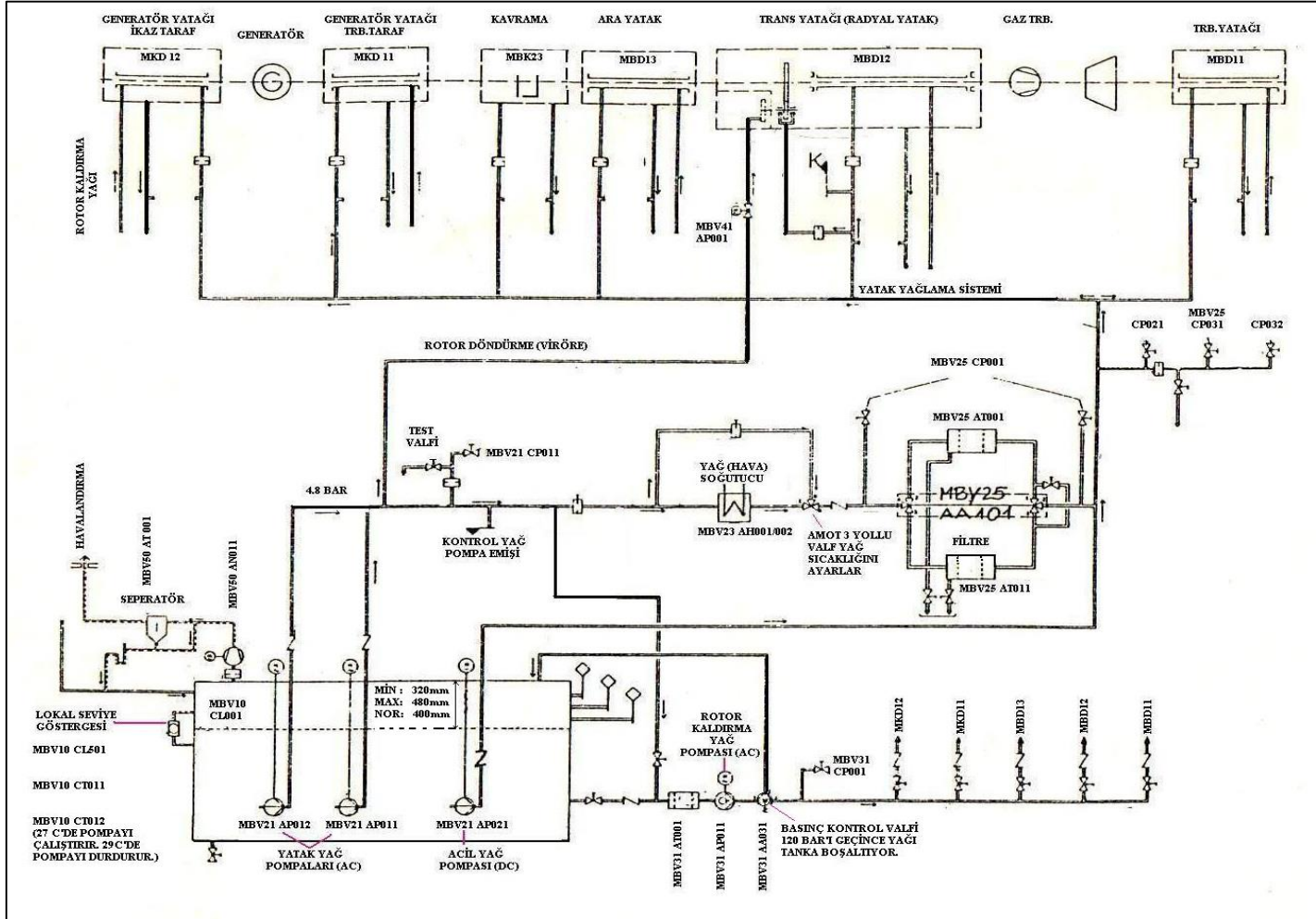
2.6. Destek Ekipmanları ve Sistemleri

EÜAŞ Ambarlı DKÇS bünyesinde bulunan ve santralin elektrik üretiminde kullanılan ana ekipmanların yanı sıra santralin ana ekipmanlarının çalışmasını sağlayan ve destekleyen ekipmanlar, sistemler ve acil durum sistemleri aşağıda açıklanmıştır.

2.6.1. Yağlama sistemi

EÜAŞ Ambarlı DKÇS bünyesinde bulunan başta türbinler, jeneratörler, pompalar ve kompresörler olmak üzere yağlama ihtiyacı olan tüm ekipmanlar Şekil 2.11’de görülen yağlama sistemi sayesinde yağlanmaktadır.

Ana yağ tankı yatakların yağlanması, soğutulması, rotor kaldırma sistemi, hidrolik rotor döndürme sistemi ve jeneratör kontrol sistemi için gerekli yağı ihtiva etmektedir ve yağ deposu olarak hizmet verdiği gibi yağın havalandırılması ve havasının alınması için de kullanılmaktadır. Yağ tankı seviye kontrol sistemi 1515 mm de yağ seviyesi alçak ve 1590 mm de yağ seviyesi yüksek uyarısı vermektedir. Normal işletmede yağ seviyesinin 1515 mm ile 1550 mm arasında olması uygundur. Yağ tankının altında gerektiğinde yağı boşaltmak için valfi bulunmaktadır.



Şekil 2.11: Yağlama sistemi [14].

Yağ tankı kapasitesi, sistemdeki yağın saatte 8 defadan fazla devridaim yapmasına imkân vermeyecek büyüklükte hesap edilmiştir. Bu da tanka giren yağın, 7–8 dakika sonra devridaime girmek için emileceği anlamına gelmektedir. Bu zaman yağın içindeki tortuların çökmesine ve hava habbeciklerinin yağı terk etmesine yeterlidir.

Bakım için yağ tankını kısmen veya tamamen boşaltmak gerekmektedir. Ayrıca bazı durumlarda yağ sistemindeki bütün yağı tanka boşaltmak da gerekebilmektedir. Boşaltma tankı bütün yağı kısmen veya tamamen almak üzere projelendirilmiştir. İstenirse sistemdeki bütün yağ, tanka boşaltılabilmektedir. Her türbin kendi yağ sisteminde bir adet yağ ayırıcıya sahiptir. Tankın altından giren yağın, yükselmesiyle havalandırma sağlanmaktadır. Buradan emiş filtresine ulaşan yağ bitişik bölüme geçmekte ve oradan ters taraftaki emiş borusuna girerek pompaların emişine ulaşmaktadır.

Türbin yağ sistemi; yatakların yağlanması ve soğutulması, türbinlerin devreye alınması ve devreden çıkarılmasında kullanılan hidrolik döndürme motoruna gerekli tahrik yağını temin edilmesi, türbinlerin devreden çıkarılmasında rotor döndürme motoru çalışırken türbin milinin ve rotorun ilk harekete geçmesi için gerekli yağı sağlamasında ve hidrolik kontrol ve tahrik sistemlerine gerekli yağın temin edilmesinde görev almaktadır.

Türbin miline bir kavrama ile monte edilmiş ana yağ pompası, türbin tarafından doğrudan 3000 devir/dakika hızda döndürülmekte ve yağı ana yağ tankından almakta ve yağ sistemine nakletmektedir.

Ana yağ pompası yağı enjektör üzerinden almakta, türbinlerde ve jeneratörde yatakların yağlanmasında, yatakların ve etrafının soğutulmasında ve hidrolik kumanda kontrol düzeninde kullanılan bütün yağı sağlamaktadır. Aynı zamanda emişten dolayı rotor tahribatı oluşmasını önlemektedir. Kontrol ve koruma yağı da bu basınçlı yağ sisteminden temin edilmektedir. Ani durdurma valfi kapatılarak bir yangın veya anormal kaçak durumunda kontrol yağı ve koruma yağı kapatılabilmektedir. Hidrolik rotor döndürme motoru hidrolik dişli motoru da yağı da ilk harekete geçme yağı sisteminden alınmaktadır.

Rotor ilk döndürmede dönerken, türbine yol verilirken ve durdurma esnasında alternatif akımla çalışan yardımcı yağ pompalarından biri devreye alınmaktadır. Yardımcı yağ pompaları üç fazlı alternatif akımla çalışan motorla tahrik edilmektedir.

Ana yağ pompasının görevini yapmaya başlayabileceği 2.940 devir/dakika devire kadar ana yağ pompasının fonksiyonunu üzerine almaktadır.

2.6.3. Yedek yağyakıt tankları

Doğal gaz tedarikinde sorun olması ihtimaline karşın elektrik üretimini garanti altına almak için santral bünyesinde bulunan tanklarda yağyakıt depolanabilmektedir. Doğalgaz temininde basınç veya debi yetersizliği durumunda doğalgaza ek olarak yağyakıt da yakılabildiği gibi doğalgaz akışının tamamen durması durumunda sadece yağyakıt yakılarak da elektrik üretilmektedir.

2.6.4. Elektrik aktarma sahası

Santral bünyesinde üretilen elektrik enerjisinin trafolardan çıktıktan sonra şebekeler arası bileşik sistemin yüksek voltaj hattına bağlanabilmesi ve gerektiğinde bağlantının kesilebilmesi için gereken elektrik aktarma sahası bulunmaktadır.

2.6.5. Yardımcı soğutma sistemi

EÜAŞ Ambarlı DKÇS bünyesinde bulunan; türbin yağlama yağı soğutucularına, jeneratörün hidrojen soğutucularına, hidrojen sızdırmazlık yağı devresindeki soğutuculara, yoğunlaştırıcı vakum pompası devridaim suyu soğutucularına, alçak basınç AIGKK besleme suyu pompaları salmastralarına, yüksek basınç AIGKK besleme suyu pompası yağ soğutucularına, numune alma soğutucularına ve ana yoğunlaşmış su devridaim pompaları salmastralarına ihtiyaç duyulan soğutma yardımcı soğutma sistemi sayesinde sağlanmaktadır. Deniz suyunun yoğunlaştırıcıya giriş ve çıkış devreleri arasına paralel olarak yerleştirilmiş iki adet yardımcı soğutma suyu soğutucusu vardır. Deniz suyu soğutma boruları içinde tek bir geçiş yapmaktadır. Yoğunlaştırıcı ile arasında en önemli fark yardımcı soğutma suyu soğutucusunda bir bölme perdesi olmaması ve dolayısı ile soğutma borularının tek bir demet olarak yerleştirilmiş olmasıdır. Normal işletmede sadece bir soğutucuya ihtiyaç vardır. Deniz suyu soğutucuya giriş çıkış sıcaklığı ana kumandadan izlenmektedir. Aynı zamanda soğutucu giriş çıkış sıcaklıklarını yardımcı soğutma suyu soğutucusu mahallinde okumak için termometreler mevcuttur.

2.6.6. Hava kompresör sistemi

Kompresörler havayı atmosferden bir keçe filtre üzerinden süzerek kompresör üzerindeki filtre girişi vasıtası ile emmekte, ilk harekette 10 saniye boşta çalıştırılmaktadır. Boşta çalışma esnasında kompresörün bastığı hava yağla birlikte ayırıcıya gider. Ayırıcı içindeki filtrenin özelliğinden dolayı yağ ayırıcının altında kalarak hava tek yönlü valf üzerinden tekrar kompresör emişine verilmektedir. Boşta çalıştırılan 10 saniye zaman dolduktan sonra, hava fanı üzerine giden hat üzerindeki kesme valfi açılarak havayı soğutma fanına göndermektedir. Hava kesme valfinden geçmeden önce bir yağ filtresine gelmektedir. Ayırıcıdaki fazla yağ, emilerek kompresör gövdesine çekilmektedir. Hava, ayırıcıdan çıkarak asgari basınç tek yönlü vanası üzerinden soğutucuya, oradan da kurutucu-soğutucuya girmekte ve havanın nemi alınmaktadır. Bu sayede hava tankına kuru hava olarak gönderilmektedir. İki adet kompresör $6,5-7 \text{ kg/cm}^2$ sürekli basınç ve $6,3-6,8 \text{ kg/cm}^2$ geçici basınçta çalıştırılabilmektedir. Hava tankı üzerinde hava basınca göre kompresörü otomatik olarak devreye sokan ve çıkaran kontaklar mevcuttur. Ayrıca kompresör ayırıcı, kurutucu, soğutucu ve hava tankı üzerinde lüzumlu sıcaklık ve basınç ölçüm ekipmanları mevcuttur. Tank basıncı, 7 bar olduğunda çalıştırılan kompresör 7,5 dakika sonra devreden çıkmakta ve rölantide çalışmaya devam etmektedir.

2.6.7. Yangın söndürme suyu sistemi

EÜAŞ Ambarlı DKÇS su tasfiyehanesinde 2 adet 840 tonluk ham su tankı bulunmaktadır. Bu ham su tankları aynı zamanda yangın söndürme suyu pompalarını beslemekte ve yangın söndürme sistemi için su temin etmektedir. Ham su tanklarından alınan yangın söndürme suyu, su tasfiyehanesinde bulunan 3 adet yangın söndürme suyu pompasını beslemektedir. Yangın söndürme suyu pompaları ile yangın söndürme suyu hattında 10 bar basınç sağlanmaktadır.

Yangın söndürme suyu destek pompası 380 volt gerilim ile çalışmaktadır. Yangın söndürme suyu hattı basıncını otomatik yangın söndürme sistemi tarafından takip edilerek basınç 9 bar seviyesine düştüğünde otomatik olarak servise girmekte ve basınç 10 bar seviyesine çıktığında otomatik olarak servis dışı olmaktadır. 6 kV elektrikli yangın söndürme suyu pompası hat basıncı 8 bar seviyesine düştüğünde otomatik olarak servise girmektedir. Mahalli panodaki kapatma anahtarı kullanılarak el ile servis dışı edilmektedir. Dizel yangın söndürme suyu pompası hat basıncı 7 bar

seviyesine düştüğünde otomatik olarak servise girmektedir. Gerekli durumlarda yangın söndürme sistemi mahalli panodaki kapatma anahtarı kullanılarak el ile servis dışı edilebilmektedir.

Yangın söndürme suyu pompalarının basmış olduğu yangın söndürme suyu, kuzey ve güney hatlarını beslemektedir. Kuzeyde ve güneyde olmak üzere toplam 20 adet hidrant bulunmaktadır. EÜAŞ Ambarlı DKÇS bünyesinde bulunan binaların içerisinde ve tesisatta yangın tespiti ihbar butonları veya yangın detektörleri ile yapılmaktadır. İhbar butonları meydana gelen yangını siren çalarak duyurmakta ve kullanım alanına göre otomatik yangın söndürme sistemini de çalıştırmaktadır.

2.6.8. Yardımcı buhar kolektörü

Yardımcı buhar hattı, üniteler arası ortak bir buhar hattı olup ünitelerin kendi buhar üretim sistemlerinden veya yardımcı buhar kazanından beslenebilmektedir. Yardımcı buhar hattı aşağıdaki sistemlere buhar sağlamaktadır.

- Tasfiyehanede suyu minerallerinden arındırma (arıtma) sistemine.
- Duvar ve kalorifer ısıtma sistemine.
- Besleme tankı ısıtma sistemine (sadece yağyakıt ile çalışırken).
- Buhar türbini sızdırmazlık buhar sistemine.
- Lojmanların kalorifer sistemine.

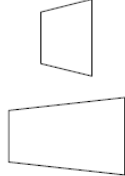
Eğer santralde herhangi bir buhar türbini devrede değil ise yardımcı kazan devreye alınarak hangi sistem beslenmek isteniyorsa gerekli valf hareketleri yapılarak buhar gönderilmektedir. Yardımcı kazan, 7 bar basınçta, 240 °C sıcaklıkta ve 28 kg/s debide buhar üreterek sisteme vermektedir.

Hangi buhar türbini servise alınacak ise o gruba ait iştirak valfi açılarak; buhar türbini üretime geçinceye kadar, besleme tankı ısıtma buharı, sızdırmazlık buharı yardımcı buhar hattından sağlanmaktadır. Buhar türbini devreye girdikten sonra yardımcı kazan servis harici edilerek işletmeye hazır bir şekilde yedekte bekletilmektedir. Diğer buhar türbini elektrik üreticisi grupların servise alınması durumunda serviste olan gruptan buhar beslemesi ortak iştirak hatları valfleri açılarak sağlanmaktadır.

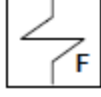
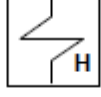
3. CYCLE-TEMPO PROGRAMI

Cycle-Tempo 5.0 bilgisayar yazılımı (CTP), Hollanda Delft Teknoloji Üniversitesi'nde geliştirilmiştir. Cycle-Tempo 5.0 bilgisayar yazılımı; buhar üretmek, ısıtma-soğutma yapmak ve elektrik enerjisi üretmek gibi amaçlar için kullanılan ısı sistemlerin termodinamik analizi ve optimizasyonu çalışmalarında kullanılması amacıyla geliştirilmiş bir analiz programıdır. CTP'de buhar türbini çevrimleri, gaz türbini çevrimleri, yanma ve ısı transferi sistemleri, kömür ve biyokütle birleşik çevrimleri, yakıt hücreleri sistemleri, organik Rankine çevrimi, soğutma sistemleri ve ısı pompalarının incelemeleri yapılabilmektedir. CTP vana, baca, boru, ısı değiştirici, türbin gibi termodinamik çevrim ekipmanlarının birbirlerine bağlantısını matematiksel olarak yaparak sonuçları kullanıcılara sunmaktadır. CTP'de kod numaraları enerji dengesi veya kütle dengesi hesabını ifade ederken, M (mass) ve E (energy), kütle ve enerji denklemi girdisini ifade etmektedir. Sistem eşitliği, CTP'nin hesaplamayı nasıl yapacağını ve hangi değişkenlerin girdilenmesi gerektiğini göstermektedir. CTP'de kullanılan ekipman listesi ve gösteriliş biçimleri, Çizelge 3.1'de sunulmuştur.

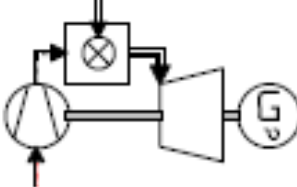
Çizelge 3.1 : Cycle-Tempo Programı ekipman listesi, sistem eşitliği ve semboller [16].

Tip	İsim	Sistem Eşitliği	Sembol
3	Türbin	1M	
4	Yoğuşturucu	2M kod2	

Çizelge 3.1 (devam): Cycle-Tempo Programı ekipman listesi, sistem eşitliği ve semboller [16].

Tip	İsim	Sistem Eşitliği	Sembol
5	Besleme Suyu Isıtıcısı	2M+1E	
6-12	Isı Değiştirici	2M Kod 2 2M+1P Kod 1	
7	Gazsızlaştırma Ünitesi	1M+1E	
8	Pompa	1M	
9	Nokta (Karıştırıcı, Ayırıcı)	1M Kod 2 1M+1E Kod 1	
10	Kaynak	1M	
10	Isı Kuyusu	1M	
10	Baca	1M	
13	Yanma Odası	1M Kod 2 2M Kod 1	

Çizelge 3.1 (devam) : Cycle-Tempo Programı ekipman listesi, sistem eşitliği ve semboller [16].

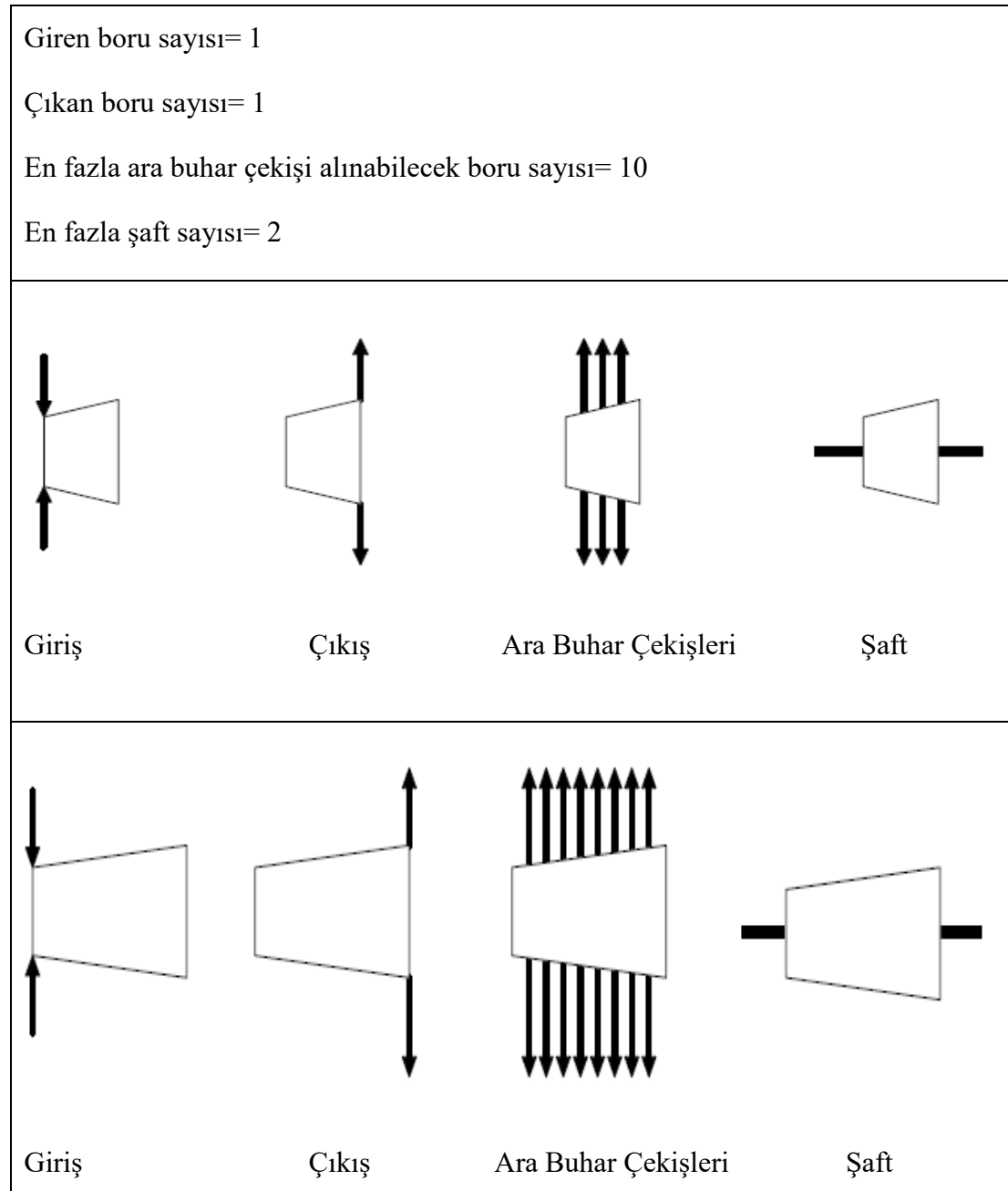
Tip	İsim	Sistem Eşitliği	Sembol
14	Vana	2M	
15	Doymuş Sıvı Buhar Ayırıcı Kazan (Kubbe)	1M+1E	
29	Kompresör	1M	
30	Gaz Türbini	1M	
G	Elektrik Üreticisi	-	

3.1. Cycle-Tempo Programında Kullanılan Ekipmanlar

CTP’de yer alan ve CTP modelinde kullanılan 16 ekipmanın tipleri ve giriş-çıkış bilgileri, CTP modelinin modelin doğru kurulabilmesi ve tam olarak anlaşılması için aşağıda ayrıntılı bir biçimde açıklanmıştır. CTP’de ekipmanlar isim haricinde tip numaraları verilerek de kodlanmıştır. CTP ekipmanlarının tanıtıldığı 3. Bölüme ait şekillerde ekipmanlara giriş-çıkış bilgileri tanıtılarak, ekipman resimlerinde ekipmana bağlantı borusu eklenebilen veya ekipmandan boru çıkartılabilen konumları belirtmek amacıyla çizilmiştir. Ayrıca ekipmanlara girdilenebilen değişkenler ve girdilenme yöntemleri açıklanmıştır.

3.1.1. Türbin (Tip 3)

CTP modelinde kullanılan türbin tipleri; genel türbin anlamı taşıyan buhar türbini ve gaz türbini kod sıfır (TUCODE= 0) olarak tanımlanmıştır. Sıfır kodu, türbinin iç tasarımına özgü özellikleri verilemediğinde, genel türbin özelliklerini kabul ederek, türbin iç verimini ve türbinin diğer özelliklerini termodinamik yasalara ve bağıntılara göre hesaplamaktadır. Gaz türbinlerinde baca gazı kayıpları hesaplanmaz. Türbin modeli için simgeler ve bilgiler Şekil 3.1’de yer almaktadır.



Şekil 3.1 : Türbin modeli için simgeler ve giriş-çıkış bilgileri [16].

Ayrıca türbin ekipmanına girdilenebilen değişkenler ve girdilenme yapılacak ara yüz Şekil 3.2’de yer almaktadır.

Şekil 3.2 : Türbin modeli için girdilenebilen değişkenler ve girdilenme yapılacak ara yüz [16].

Termodinamik özellikler kullanıcı tarafından girdilenebilir veya CTP bunu termodinamik bağıntılar yardımıyla hesaplayabilir.

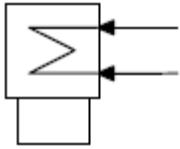
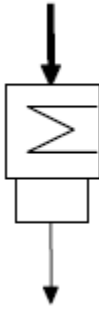
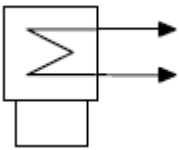
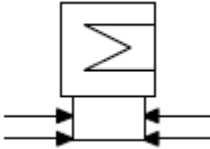
Türbin ekipmanı için girdilenebilen değişkenler aşağıdaki gibidir:

- TUCODE= Türbin kodu
- GDCODE= Türbin kademe kodu
- PIN = Giriş basıncı [bar]
- POUT = Çıkış basıncı [bar]
- DELP = Basınç düşümü [bar]
- TIN= Giriş sıcaklığı [°C]
- TOUT= Çıkış sıcaklığı [°C]
- DELT= Sıcaklık farkı [°C]
- ETHAI= İzantropik verim [%]
- ETHAM= Mekanik verim [%]
- DIAIN= Türbin giriş kademesi çapı [m]

- DIAOUT= Türbin çıkış kademesi çapı [m]
- SLENG= Türbin çıkış kademesi kanat boyu [m]
- DESMAS= Türbin girişi tasarım debisi [kg/s]
- PINCND= Türbin ara kademe basıncı [bar]
- POUTDS= Türbin çıkışı tasarım basıncı [bar]
- POUTRT= Türbin giriş kademesi sonrası tasarım basıncı [bar]
- ETHAID= İzantropik verim için temel tablo değeri [-]

3.1.2. Yoğuşturucu (Tip 4)

CTP’de yoğuşturucu modeli, buhar türbinli çevrimlerde kullanılmak üzere tasarlanmıştır. Yoğuşturucuda, soğutucu su ile su buharı yoğuşturulur. Yoğuşturulacak su buharı, yoğuşturucuya sıkıştırılmış sıvı veya kızgın buhar olarak girmemeli, sadece doymuş buhar olarak girmelidir. Yoğuşturucu modeli için simgeler ve giriş-çıkış bilgileri Şekil 3.3’te verilmiştir.

Soğutucu Tarafı	Yoğuşma Tarafı
Giren boru sayısı= 1 Çıkan boru sayısı= 1	En az giren boru sayısı= 1 En fazla giren boru sayısı= 5 Çıkan boru sayısı= 1
	
	

Şekil 3.3 : Yoğuşturucu modeli için simgeler ve giriş-çıkış bilgileri [16].

Ayrıca yoğuşturucu ekipmanın girdilenebilen değişkenleri ve girdilenme yapılacak arayüzü Şekil 3.4’de yer almaktadır.

Apparatus statistics	
No.:	1
Name:	Condenser

Input data	
EEQCOD	-
PIN1	bar
POUT1	bar
DELP1	bar
TIN1	°C
TOUT1	°C
DELT1	°C
DELE	kW
RPSM	-
PIN2	bar
POUT2	bar
DELP2	bar
TIN2	°C
TOUT2	°C
DELT2	°C
DELTL	°C
DELTH	°C
SATCOD	-
DTSUBC	°C

Additional input data

Geometry input data

Off-design input data

OK Cancel Clear Help

Şekil 3.4 : Yoğuşturucu modeli için girdilenebilen değişkenler ve girdilenme yapılacak ara yüz [16].

Yoğuşturucu ekipmanı için CTP’ye girdilenebilecek değişkenler aşağıdaki gibidir;

- EEQCOD= Eşitlik kodu
- PIN1= Soğutucu tarafı giriş basıncı [bar]
- POUT1= Soğutucu tarafı çıkış basıncı [bar]
- DELP1= Soğutucu tarafı basınç farkı [bar]
- TIN1= Soğutucu tarafı giriş sıcaklığı [°C]
- TOUT1= Soğutucu tarafı çıkış sıcaklığı [°C]
- DELT1= Soğutucu tarafı sıcaklık farkı [°C]
- DELE= Enerji kaybı [kW]
- PIN2= Yoğuşma tarafı giriş basıncı [bar]

- POUT2= Yoğuşma tarafı çıkış basıncı [bar]
- DELP2= Yoğuşma tarafı basınç farkı [bar]
- TIN2= Yoğuşma tarafı giriş sıcaklığı [°C]
- TOUT2= Yoğuşma tarafı çıkış sıcaklığı [°C]
- DELT2= Yoğuşma tarafı sıcaklık farkı [°C]
- DELTL= Alçak sıcaklıklar arası sıcaklık farkı [°C]
- DELTH= Yüksek sıcaklıklar arası sıcaklık farkı [°C]
- DELH= Tasarım koşullarındaki izantropik entalpi kaybı [kJ/kg]
- SATCOD= Yoğuşurma (buhar) kalitesi kodu [0-1]
- DTSUBC=Buhar yoğuşma sıcaklığı ile soğutma suyu giriş sıcaklığı farkı [°C]

EÜAŞ Ambarlı CTP modelinde yoğuşurma kalitesi kodu (SATCOD=0) sıfır olarak girdilenmiştir. Yoğuşurma kodunun sıfır olması ısı değiştiricinin yoğuşma tarafının çıkışında doymuş su var anlamını taşımaktadır. Ayrıca TOUT2 veya DELTL CTP’ye girdilenebilir.

EÜAŞ Ambarlı CTP modelinde eşitlik kodu 1 olarak girdilenmiştir. Yoğuşturucu için Kod 1 kullanıldığı takdirde, enerji dengesi biliniyor demektir. Bu durumda hesap, kütle dengesini bulmak için yapılır.

3.1.3. Besleme suyu ısıtıcısı (Tip 5)

Besleme suyu ısıtıcısı gibi ısı değiştiricilerinde, türbinde genişleyen su buharı kullanılır. Kullanılan su buharı ısı değiştiriciden yoğuşmuş olarak çıkar ve yoğuşmuş su tankına döner. Buharın yoğuşurken verdiği ısı ile besleme suyu ısıtılır.

Besleme suyu ısıtıcısı ekipmanı için CTP’ye girdilenebilen değişkenler ise;

PIN1, POUT1, DELP1, TIN1, TOUT1, DELT1, PIN2, POUT2, DELP2, TIN2, TOUT2, DELT2, SATCOD değerleridir.

Besleme suyu ısıtıcısı modeli için simgeler ve giriş-çıkış bilgileri Şekil 3.5’te sunulmuştur.

Besleme suyu tarafı Giren boru sayısı= 1 Çıkan boru sayısı= 1	Buhar Tarafı En az giren boru sayısı= 1 En fazla giren boru sayısı= 5 Çıkan boru sayısı= 1
-	

Şekil 3.5 : Besleme suyu ısıtıcısı modeli için simgeler ve giriş-çıkış bilgileri [16].

Ayrıca, besleme suyu ısıtıcı ekipmanına girdilenebilen değişkenler ve girdilenme yapılacak ara yüz Şekil 3.6’da yer almaktadır.

Apparatus 1 Flash.Heater

Apparatus statistics

No.:

Name:

Additional input data

Input data

PIN1		bar	TOUT2		°C
POUT1		bar	DELT2		°C
DELP1		bar	DELTL		°C
TIN1		°C	DELTH		°C
TOUT1		°C			
DELT1		°C			
DELE		kW			
SATCOD		-			
PIN2		bar			
POUT2		bar			
DELP2		bar			
TIN2		°C			

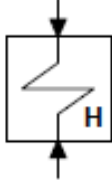
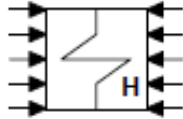
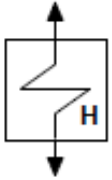
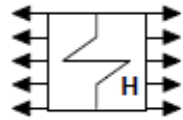
Şekil 3.6 : Besleme suyu ısıtıcısı modeli için girdilenebilen değişkenler ve girdilenme yapılacak ara yüz [16].

3.1.4. Standart ısı değıştirci (Tip 6 ve 12)

CTP’de tip 6 ve tip 12 gibi ısı değıştircileri (gövde borulu ve plakalı tipler) standart olarak tanımlanır. Isı değıştircinin bir tarafında buharlaşma veya yoğuşma yoktur. Bu tip ısı değıştircilerinde buna dikkat edilmez ise CTP inceleme sonucunu hata olarak verecektir. Standart ısı değıştirci için, CTP’ye eşitlik için Kod 1 girilen durumlarda, enerji dengesi biliniyordur ve kütle dengesi hesaplanmaya çalışılır.

CTP’ye Kod 2 girilen durumlarda, kütle dengesi biliniyordur ve enerji dengesi hesaplanmaya çalışılır. Standart ısı değıştirci ekipmanı için: PIN1, POUT1, DELP1, TIN1, TOUT1, DELT1, PIN2, POUT2, DELP2, TIN2, TOUT2 ve DELT2 değerleri standart olarak CTP’ye girdilenebilir.

Standart ısı değıştirci modeli için simgeler ve giriş-çıkış bilgileri Şekil 3.7’de sunulmaktadır.

Birinci Taraf	İkinci Taraf
Giren boru sayısı = 1 Çıkan boru sayısı = 1	En az giren boru sayısı = 1 En fazla giren boru sayısı = 5 Çıkan boru sayısı = 1
	
	

Şekil 3.7 : Standart ısı değıştirci için simgeler ve giriş-çıkış bilgileri [16].

Ayrıca standart ısı değıştirci ekipmanına girdilenebilen değışkenler ve girdilenme yapılacak ara yüz Şekil 3.8’de yer almaktadır.

Apparatus 1 Heat Exchgr.

Apparatus statistics

No.:

Name:

Type:

Additional input data

Input data

EEQCOD		-	TIN2		°C
PIN1		bar	TOUT2		°C
POUT1		bar	DELT2		°C
DELP1		bar	DELTL		°C
TIN1		°C	DELTH		°C
TOUT1		°C			
DELT1		°C			
DELE		kW			
RPSM		-			
PIN2		bar			
POUT2		bar			
DELP2		bar			

OK Cancel Clear Help

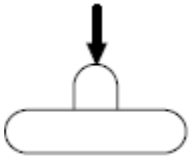
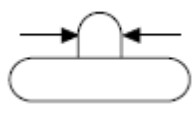
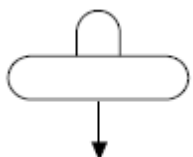
Şekil 3.8 : Standart ısı değiştirici modeli için girdilenebilen değişkenler ve girdilenme yapılacak ara yüz [16].

3.1.5. Gazsızlaştırma ünitesi (gaz alıcı) (Tip 7)

Gazsızlaştırma ünitesi besleme suyunun, pompalara girmeden önce toplandığı ve oksijenin ve diğer gazların alındığı ekipmandır.

Gaz alma işleminde alçak basınçlı buhar hattından alınan buhar kullanılır. Gazsızlaştırma ünitesi hesabı, kütle dengesi ve enerji dengesi kullanılarak yapılır, gazsızlaştırma ünitesi için simgeler ve giriş- çıkış bilgileri Şekil 3.9’da sunulmuştur.

Gazsızlaştırma ünitesi ekipmanı için: PIN, POUT, DELP, TIN ve TOUT standart olarak CTP’ye girdilenebilir.

En az giren boru sayısı = 2 En fazla giren boru sayısı = 5 Çıkan boru sayısı = 1	Buhar Girişi 	Su Girişi 	Su Çıkışı 
---	---	---	--

Şekil 3.9 : Gazsızlaştırma ünitesi modeli için simgeler ve giriş-çıkış bilgileri [16].

Ayrıca gazsızlaştırma ünitesi ekipmanına girdilenebilen değişkenler ve girdilenme yapılacak ara yüz Şekil 3.10’da yer almaktadır.

Apparatus 1 Deaerator

Apparatus statistics

No.:

Name:

Additional input data

Input data

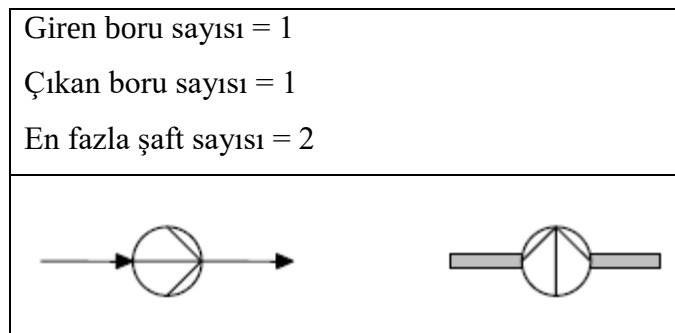
PIN		bar
POUT		bar
DELP		bar
TIN		°C
TOUT		°C
DELT		°C
DELE		kW

Şekil 3.10 : Gazsızlaştırma ünitesi modeli için girdilenebilen değişkenler ve girdilenme yapılacak ara yüz [16].

3.1.6. Pompa (Tip 8)

Ambarlı CTP modelinde pompa; ana yoğunlaşmış su pompası, soğutma suyu pompası, besleme suyu için AB pompası ve YB pompası olmak üzere beş adet kullanılmıştır. Pompa için, CTP pompa hesabını CTP kütüphanesinde tanımlanan verim-güç grafiğinden alınan bilgilere göre yapmaktadır.

CTP'ye mekanik verim ve elektrik motoru verimi verilmediği takdirde pompa için, sistem otomatik olarak bu verimi 1 olarak kabul eder. Pompa modeli için simgeler ve giriş- çıkış bilgileri Şekil 3.11'de sunulmuştur.



Şekil 3.11 : Pompa modeli için simgeler ve giriş-çıkış bilgileri [16].

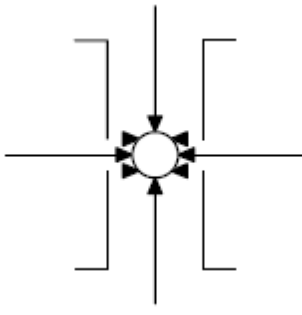
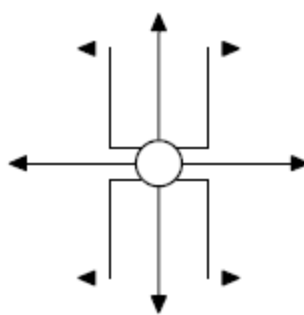
Pompa ekipmanı için CTP'ye girdilenebilen parametreler: PIN, POUT, DELP, ETHAI, ETHAM, TIN, TOUT ve DELT değerleridir. ETHAE ise elektrik verimini ifade etmektedir.

Ayrıca pompa ekipmanı modeline girdilenebilen değişkenler ve girdilenme yapılacak ara yüz Şekil 3.12'de yer almaktadır.

Şekil 3.12 : Pompa modeli için girdilenebilen değişkenler ve girdilenme yapılacak ara yüz [16].

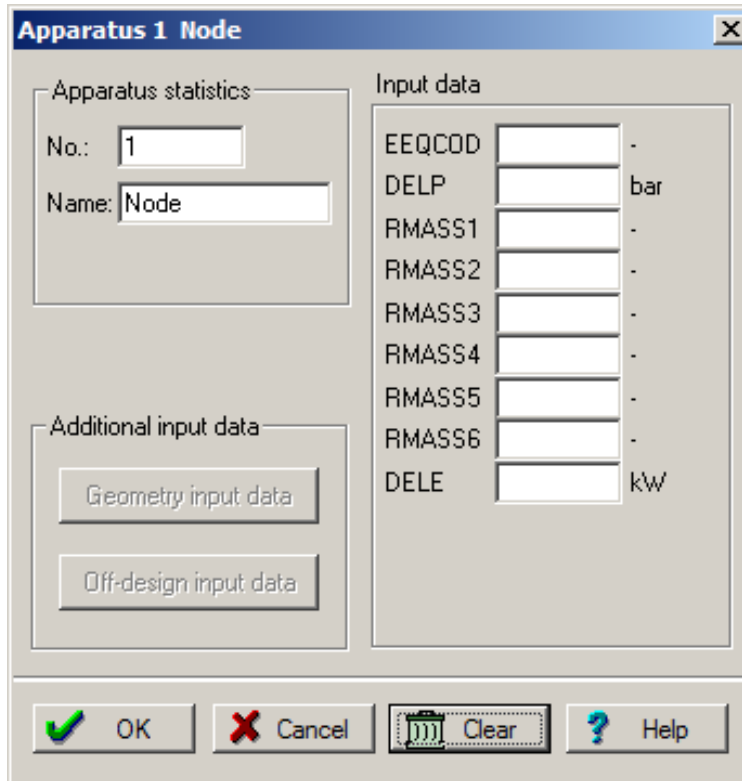
3.1.7. Nokta (karıştırıcı ve ayırıcı) (Tip 9 ve 11)

CTP modelinde, nokta ekipmanı akışın birleştirilmesi veya dağıtılması için kullanılır. Nokta oransal kütle birleşimi şeklinde, CTP'ye Kod 1 girilerek modellendiğinde CTP enerji dengesini hesaplayabilir. Enerji dengesi biliniyorsa CTP'ye Kod 2 girilerek modelleme yapılır. Kod 2, akışkan kütlelerini oranlayarak borulara dağıtır ve kütle dengesi hesaplanmış olur. Nokta modeli için simgeler ve giriş-çıkış bilgileri Şekil 3.13'te sunulmuştur.

Ayırıcı; Giren boru sayısı = 1 En az çıkan boru sayısı = 1 En fazla çıkan boru sayısı = 5	Karıştırıcı; En az giren boru sayısı = 1 En fazla giren boru sayısı=5 Çıkan boru sayısı = 1
	

Şekil 3.13 : Nokta modeli için simgeler ve giriş-çıkış bilgileri [16].

Ayrıca nokta ekipmanı modeli için girdilenebilen değişkenler ve girdilenme yapılacak ara yüz Şekil 3.14’de yer almaktadır.



Şekil 3.14 : Nokta modeli için girdilenebilen değişkenler ve girdilenme yapılacak ara yüz [16].

RMASS değişkeni nokta ekipmanının ayırıcı olarak kullanıldığı durumlarda çıkış hattına ait ilk debi tahmini değerini ifade etmektedir.

3.1.8. Kaynak (Tip 10)

Kaynak; kütle giriş-çıkışları, enerji giriş-çıkışları, basınç kontrolü yapılması gerekli olan yerler ile akışkan bileşiminin değiştirilmesi ve akışkan sıcaklığının bilinmediği, fakat CTP'ye ilk yineleme değerinin kullanıcı tarafından girdilenmesi gereken yerlerde kullanılan CTP ekipmanıdır.

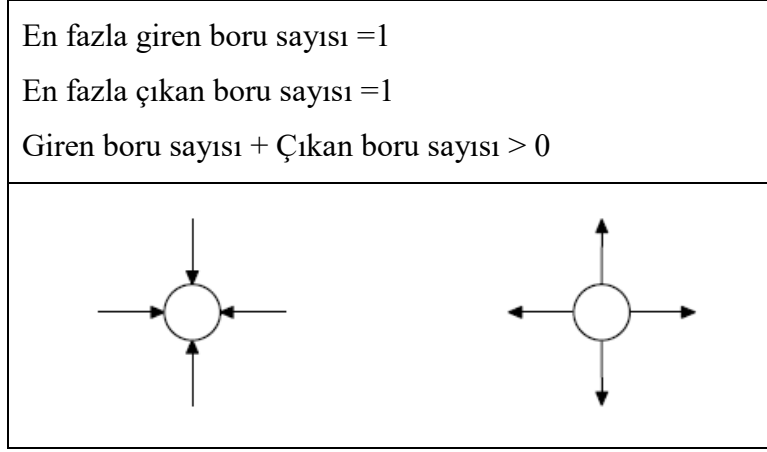
CTP modelinde kaynak sadece termodinamik özellik değiştirmek için kullanıldığında ve girdiler bölümüne kütle yazılması durumunda, CTP sürekli olarak girilen miktardaki kütleyle prosese giriyor veya çıkıyor olarak algılayarak hatalı işlem yapar. Bu sebeple, sürekli kütle giriş-çıkışı olmayan noktalarda kütle değeri yazılmamalıdır.

Kaynak ekipmanı için; PIN, POUT, DELT, TIN, TOUT ve DELT standart olarak CTP'ye girdilenebilir.

Kaynak ekipmanı için CTP'ye girdilenebilecek değişkenler aşağıdaki gibidir:

- DELM= Kütleli debi [kg/s]
- HIN= Giriş akımı entalpisi [kJ/kg]
- HOUT= Çıkış akımı entalpisi [kJ/kg]
- XIN= Giriş akımı buhar kalitesi [%]
- XOUT= Çıkış akımı buhar kalitesi [%]
- PIPE= DELM, DELV veya DELVN değişkenlerinin geçerli olduğu boru numarası
- ESTMAS= Kütleli debi tahmini değeri [kg/s]
- LHV= Alt ısı değeri [kJ/kg]
- SUBTYP= Kaynak türü (1:ısı, 2: yakıt, 0: genel)
- DTSUBC= Su için yoğuşma sıcaklığından olan fark [°C]
- DTSUPH= Kızgın buhar için yoğuşma sıcaklığından olan fark [°C]
- WFOT= Ağırlık faktörü
- ESTTIN= Tahmini giriş sıcaklığı [°C]
- ESTTOU= Tahmini çıkış sıcaklığı [°C]
- DELV= Hacimsel debi [m³/s]
- DELVN= Normal şartlardaki hacimsel debi [nm³/s]

Kaynak modeli için simgeler ve giriş-çıkış bilgileri Şekil 3.15'te sunulmuştur.



Şekil 3.15 : Kaynak modeli için simgeler ve giriş-çıkış bilgileri [16].

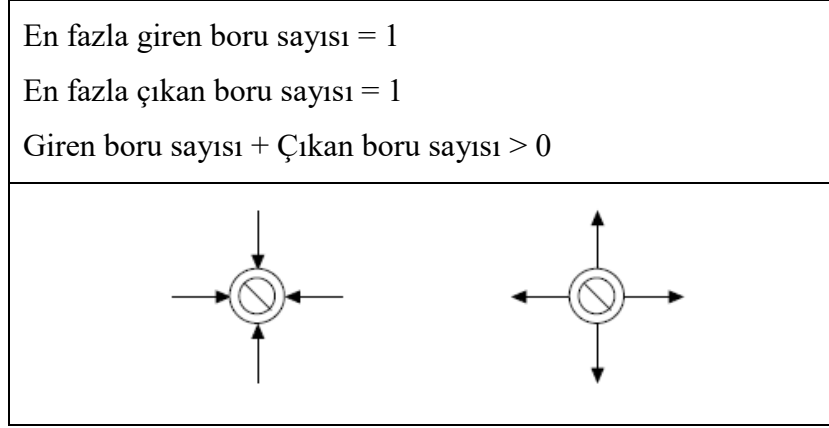
Ayrıca kaynak ekipmanına girdilenebilen değişkenler ve girdilenme yapılacak ara yüz Şekil 3.16’da yer almaktadır.

Şekil 3.16 : Kaynak modeli için girdilenebilen değişkenler ve girdilenme yapılacak ara yüz [16].

Termodinamik değerlerin CTP’ye girilmesinden sonra, akışkanın kütle debisi tahmini (ESTMAS) olarak girilebilir. CTP tahmini girilen kütle debisini ilk değer olarak kabul eder ve yineleme yapmaya başlayarak sonucu bulur.

3.1.9. Isı kaynağı veya ısı kuyusu (Tip 10)

Isı kaynağı veya ısı kuyusu ekipmanının, ısı alınması veya atılması haricinde, standart kaynak ekipmanından farkı bulunmamaktadır. Isı kaynağı veya ısı kuyusu modeli için simgeler ve giriş-çıkış bilgileri Şekil 3.17’de sunulmuştur.



Şekil 3.17 : Isı kaynağı veya kuyusu modeli için simgeler ve giriş-çıkış bilgileri [16].

Ayrıca ısı kaynağı ve kuyusu ekipmanına girdilenebilen değişkenler ve girdilenme yapılacak ara yüz Şekil 3.18’de yer almaktadır.

Apparatus 1 Heat Sink

Apparatus statistics

No.:

Name:

Additional input data

Input data

PIN		bar	XOUT		-
POUT		bar	PIPE		-
DELP		bar	ESTMAS		kg/s
TIN		°C	DTSUBC		°C
TOUT		°C	DTSUPH		°C
DELT		°C	DELV		m3/s
DELE		kW	DELVN		nm3/s
DELM		kg/s			
HIN		kJ/kg			
HOUT		kJ/kg			
DELH		kJ/kg			
XIN		-			

Şekil 3.18 : Isı kaynağı veya kuyusu modeli için girdilenebilen değişkenler ve girdilenme yapılacak ara yüz [16].

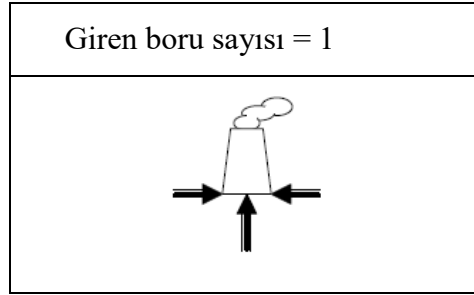
Isı kaynağı veya kuyusu ekipmanı için:

PIN, POUT, DELP, TIN, TOUT, DELT, DELM, HIN, HOUT, XIN, XOUT, PIPE, ESTMAS, LHV, SUBTYP, DTSUBC, DTSUPH, WFOT, ESTTIN, ESTTOU, DELV ve DELVN standart olarak CTP’ye girdilenebilir.

3.1.10. Baca (Tip 10)

Baca, baca gazının tüm ekipmanlardan geçtikten sonra son olarak geldiği ekipmandır. Kullanıcı tarafından aksi belirtilmediği sürece, CTP baca gazı çıkış özelliklerini, 1,013

bar basınç ve 15°C sıcaklık olarak kabul eder. Baca modeli için simgeler ve giriş-çıkış bilgileri Şekil 3.19’da sunulmuştur.



Şekil 3.19 : Baca modeli için simgeler ve giriş-çıkış bilgileri [16].

Baca ekipmanı için; PIN, TIN, DELM, HIN, DELV, DELVN ve PIPE değişkenleri CTP’ye girdilenebilir.

Ayrıca baca ekipmanına girdilenebilen değişkenler ve girdilenme yapılacak ara yüz Şekil 3.20’de yer almaktadır.

Apparatus 1 Stack

Apparatus statistics

No.: 1

Name: Stack

Additional input data

Geometry input data

Off-design input data

Input data

PIN	1.013	bar
TIN		°C
HIN		kJ/kg
DELM		kg/s
DELV		m3/s
DELVN		nm3/s
PIPE		-

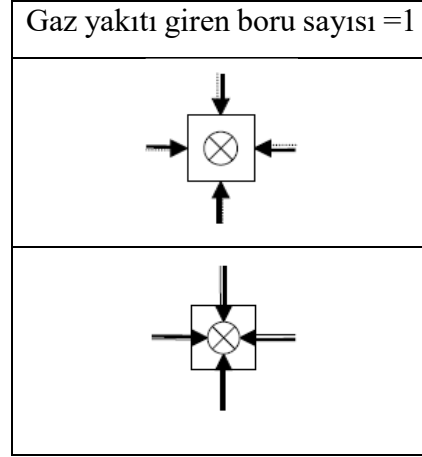
OK Cancel Clear Help

Şekil 3.20 : Baca modeli için girdilenebilen değişkenler ve girdilenme yapılacak ara yüz [16].

3.1.11. Yanma odası (Tip 13)

Yanma odası ekipmanında yakıt yanma havası ile yakılarak, atık gaz halinde yanma odasından çıkar. Yanma odasında yanma fakir karışım olarak gerçekleşir.

Yanma odası ekipmanı için CTP'ye girilebilen parametreler; PIN, POUT, DELP, TOUT ve TIN'dir. Yanma odası modeli için simgeler ve giriş-çıkış bilgileri Şekil 3.21'de sunulmuştur.



Şekil 3.21 : Yanma odası modeli için simgeler ve giriş-çıkış bilgileri [16].

Ayrıca yanma odası ekipmanına girdilenebilen değişkenler ve girdilenme yapılacak ara yüz Şekil 3.22'de yer almaktadır.

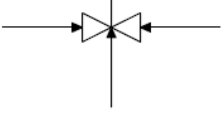
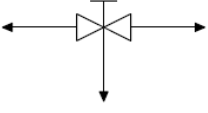
Şekil 3.22 : Yanma odası ekipmanı için girdilenebilen değişkenler ve girdilenme yapılacak ara yüz [16].

3.1.12. Vana (Tip 14)

CTP modelinde vanalar, ayrıştırıcı ve karıştırıcı olarak kullanıldığı gibi akışkan hattı üzerine doğrudan yerleştirilerek, CTP'ye kütle tanımlanması suretiyle modelin

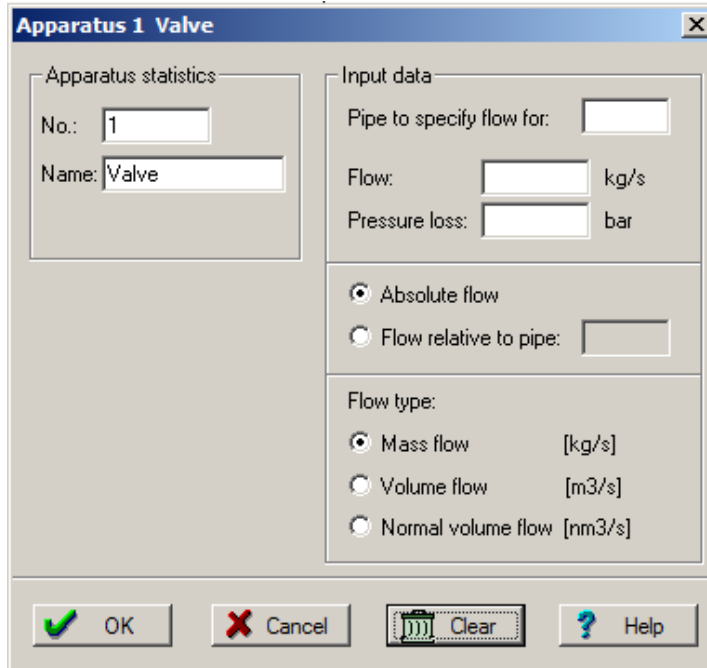
tümünün kütle dengesi oluşturulabilir. Vanalarda, kütle doğrudan belirtilmiyorsa, kütle oranı mutlaka belirtilmelidir. Aksi halde, CTP kütle dengesini kuramaz.

CTP’de vananın nokta ayırıştırıcıdan farkı, doğrudan kütle girilebilmesinin dışında işlem kontrolünün yapıldığı ve vananın dinamik olarak kullanıldığı konumdur. Vana ekipmanı, bir yönü mutlak yön kabul ederek kendisine bağlı birinci veya ikinci çıkış değerinin giriş değerine olan oranını, kullanıcı tarafından CTP’ye girilmesi ile bulur. Vana modeli için simgeler ve giriş-çıkış bilgileri Şekil 3.23’te sunulmuştur.

Ayırıcı; Giren boru sayısı = 1 En az çıkan boru sayısı = 1 En fazla çıkan boru sayısı = 4	Karıştırıcı; En az giren boru sayısı = 1 En fazla giren boru sayısı = 4 Çıkan boru sayısı = 1
	

Şekil 3.23 : Vana modeli için simgeler ve giriş-çıkış bilgileri [16].

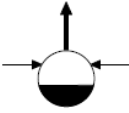
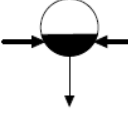
Ayrıca vana ekipmanına girdilenebilen değişkenler ve girdilenme yapılacak ara yüz Şekil 3.24’de yer almaktadır.



Şekil 3.24 : Vana modeli için girdilenebilen değişkenler ve girdilenme yapılacak ara yüz [16].

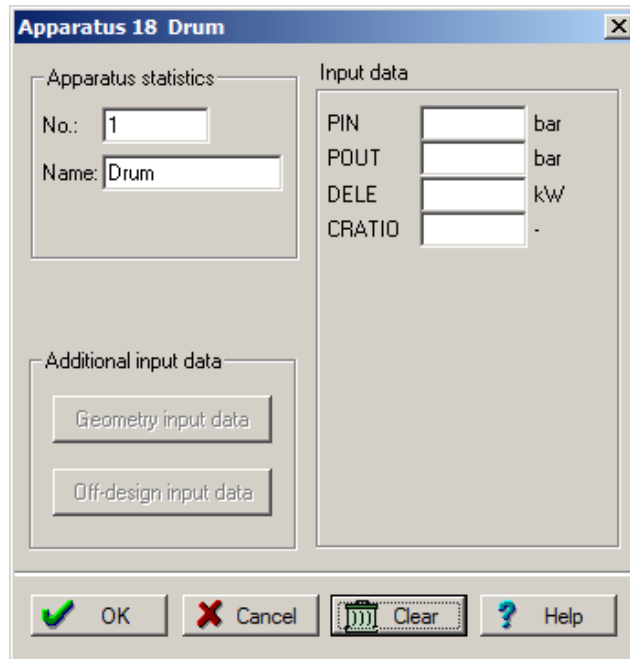
3.1.13. Doymuş sıvı buhar ayırıcı kazan (Tip 15)

Doymuş sıvı buhar ayırıcı kazan (DSBAK), sistemde alçak basınç (AB) ve yüksek basınç (YB) olmak üzere 2 adet kullanılmıştır. Doymuş sıvı buhar ayırıcı kazan doymuş sıvı suyu, doymuş buhara dönüştürür. DSBAK'a doymuş sıvı su girerek, DSBAK döngüsüne katılır ve kazandan çıktığında doymuş buhar olarak DSBAK'ın içine tekrar girer ve buhar DSBAK'ın üst bölümüne çıkararak buhar hattındaki yoluna devam eder. CTP aksi belirtilmediği sürece buharın kuruluk derecesi ($x=0$ ve $x=1$) değerleri DSBAK giriş ve çıkışı için esas kabul ederek kullanılır. DSBAK modeli için simgeler ve giriş-çıkış bilgileri Şekil 3.25'te sunulmuştur.

Ana akışta	DSBAK döngüsünde
Giren boru sayısı = 1 Çıkan boru sayısı = 1	Giren boru sayısı = 1 Çıkan boru sayısı = 1
	

Şekil 3.25 : Doymuş sıvı buhar ayırıcı kazan modeli için simgeler ve giriş-çıkış bilgileri [16].

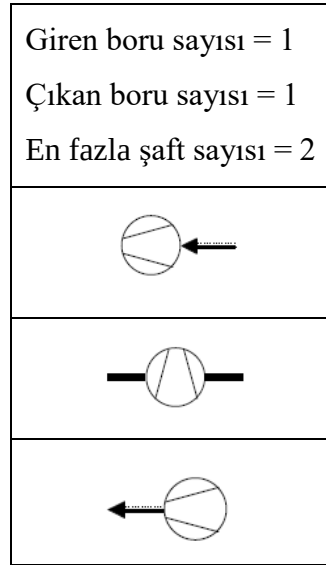
Ayrıca doymuş sıvı buhar ayırıcı kazan ekipmanına girdilenebilen değişkenler ve girdilenme yapılacak ara yüz Şekil 3.26'da yer almaktadır.



Şekil 3.26 : Doymuş sıvı buhar ayırıcı kazan modeli için girdilenebilen değişkenler ve girdilenme yapılacak ara yüz [16].

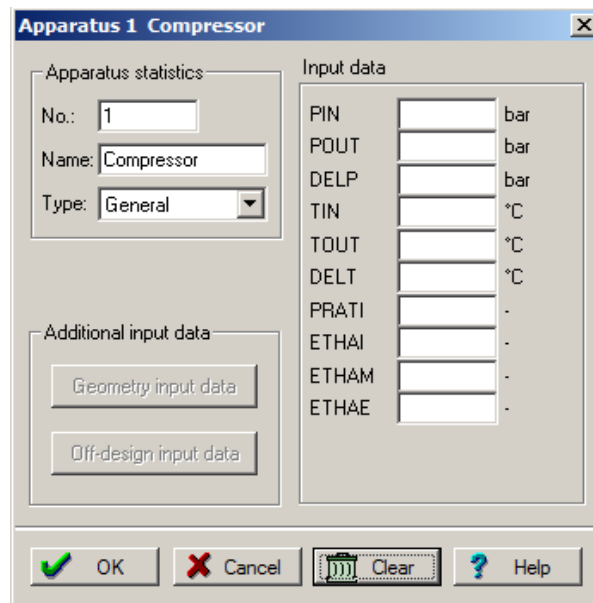
3.1.14. Kompresör (Tip 29)

CTP modelinde genel kompresör tipi kullanılmıştır. Kompresör, havanın yanma odasına girmeden önce sıkıştırılması için türbin ile aynı mile bağlanmıştır. Kompresör ekipmanı için; PIN, POUT, DELP, TOUT, TIN ve DELT değerleri standart olarak CTP'ye girdilenebilir. Kompresör modeli için simgeler ve giriş-çıkış bilgileri Şekil 3.27'de sunulmuştur.



Şekil 3.27 : Kompresör modeli için simgeler ve giriş-çıkış bilgileri [16].

Ayrıca kompresör ekipmanına girdilenebilen değişkenler ve girdilenme yapılacak ara yüz Şekil 3.28'de yer almaktadır.



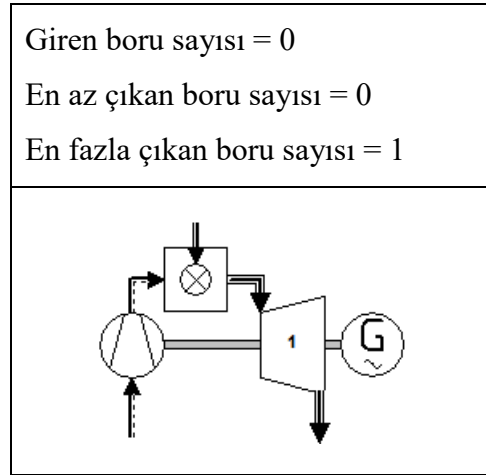
The dialog box 'Apparatus 1 Compressor' has the following fields and buttons:

- Apparatus statistics:**
 - No.: 1
 - Name: Compressor
 - Type: General
- Additional input data:**
 - Geometry input data
 - Off-design input data
- Input data:**
 - PIN: [] bar
 - POUT: [] bar
 - DELP: [] bar
 - TIN: [] °C
 - TOUT: [] °C
 - DELT: [] °C
 - PRATI: []
 - ETHAI: []
 - ETHAM: []
 - ETHAE: []
- Buttons:** OK, Cancel, Clear, Help

Şekil 3.28 : Kompresör modeli için girdilenebilen değişkenler ve girdilenme yapılacak ara yüz [16].

3.1.15. Gaz türbini grubu (Tip 30)

CTP’de gaz türbinleri, ayrı ayrı parçalar olarak modellenebileceği gibi tek ekipman olarak gaz türbini elektrik üreticisi grubu (GTEÜG) CTP’da modellenebilir. Tek ekipman olarak modelleme halinde, gaz türbininin marka ve modeli seçilerek doğrudan fabrika çıkış değerleri, sistem tarafından temel alınır. GTEÜG modeli için simgeler ve giriş-çıkış bilgileri Şekil 3.29’da sunulmuştur.



Şekil 3.29 : Gaz türbini elektrik üreticisi grubu modeli için simgeler ve giriş-çıkış bilgileri [16].

CTP’de gaz türbini seçilmek istendiğinde, bir gaz türbini seçim penceresinden seçim yapılır. Gaz türbini seçim ekranı Şekil 3.30’da sunulmuştur.

Apparatus 1 Gas Turbine

Apparatus statistics
No.:
Name:

Selected gas turbine model

El. Power: kW
Heat rate: kJ/kWh
Pr. ratio:
Mass flow: kg/s
Exh. temp: °C
Fuel:
LHV = 50006.33 kJ/kg

Gas turbine library

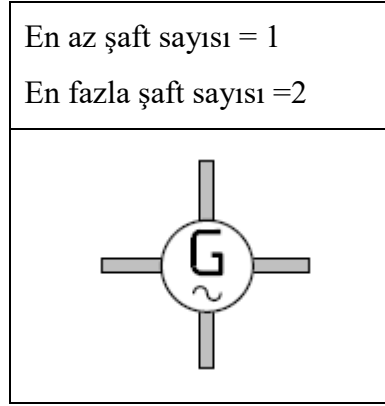
Manufacturer + model	ISO Base Rating [kW]	Heat Rate [Btu/kWh]	Pressure Ratio [-]	Mass Flow [lb/s]	Exhaust Temp.
Rolls-Royce RB211	27210	9520	20.8	202	932 F
Rolls-Royce Trent	51190	8210	35	351	800 F
Siemens (Kw/U) V64.3	63000	9693	16.1	419	531 C
Siemens (Kw/U) V64.3A	70000	9348	16.2	419	571 C
Siemens (Kw/U) V84.2	109000	10036	11	786	544 C
Siemens (Kw/U) V84.3A	180000	8863	17	980	577 C
Siemens (Kw/U) V94.2	159000	9890	11.1	1132	514 C
Siemens (Kw/U) V94.2A	190000	9374	14	1161	527 C
Siemens (Kw/U) V94.3A	255000	8863	17	1412	641 C
Solar Centaur 40	3515	12240	9.7	41	819 F
Solar Centaur 40S	3515	12240	9.7	41	819 F
Solar Centaur 50	4345	11675	10.3	41.9	934 F
Solar Centaur 50S	4345	11675	10.3	41.9	934 F
Solar Mars 100	10695	10505	17.1	91.8	911 F
Solar Mars 100S	10695	10505	17.1	91.8	911 F
Solar Mars 90	9285	10765	16.2	86.4	868 F

OK Cancel Help

Şekil 3.30 : Cycle-Tempo Programında gaz türbini elektrik üreticisi grubu seçim ekranı [16].

3.1.16. Elektrik üreticisi (Tip G)

Elektrik üreticisi, CTP’de mekanik enerjinin elektrik enerjisine dönüştürüldüğü ekipmandır. Elektrik üreticisi için simgeler ve giriş-çıkış bilgileri Şekil 3.31’de sunulmuştur.



Şekil 3.31 : Elektrik üreticisi ekipmanı için simgeler ve giriş-çıkış bilgileri [16].

Ayrıca elektrik üreticisi ekipmanına girdilenebilen değişkenler ve girdilenme yapılacak ara yüz Şekil 3.32’de yer almaktadır.

Apparatus statistics	
No.:	1
Name:	Generator

Input data	
ETAGEN	-
COSPHI	-
GENMVA	MVA
KTURB	-
KGEN	-
CPRATI	-

Additional input data

Geometry input data

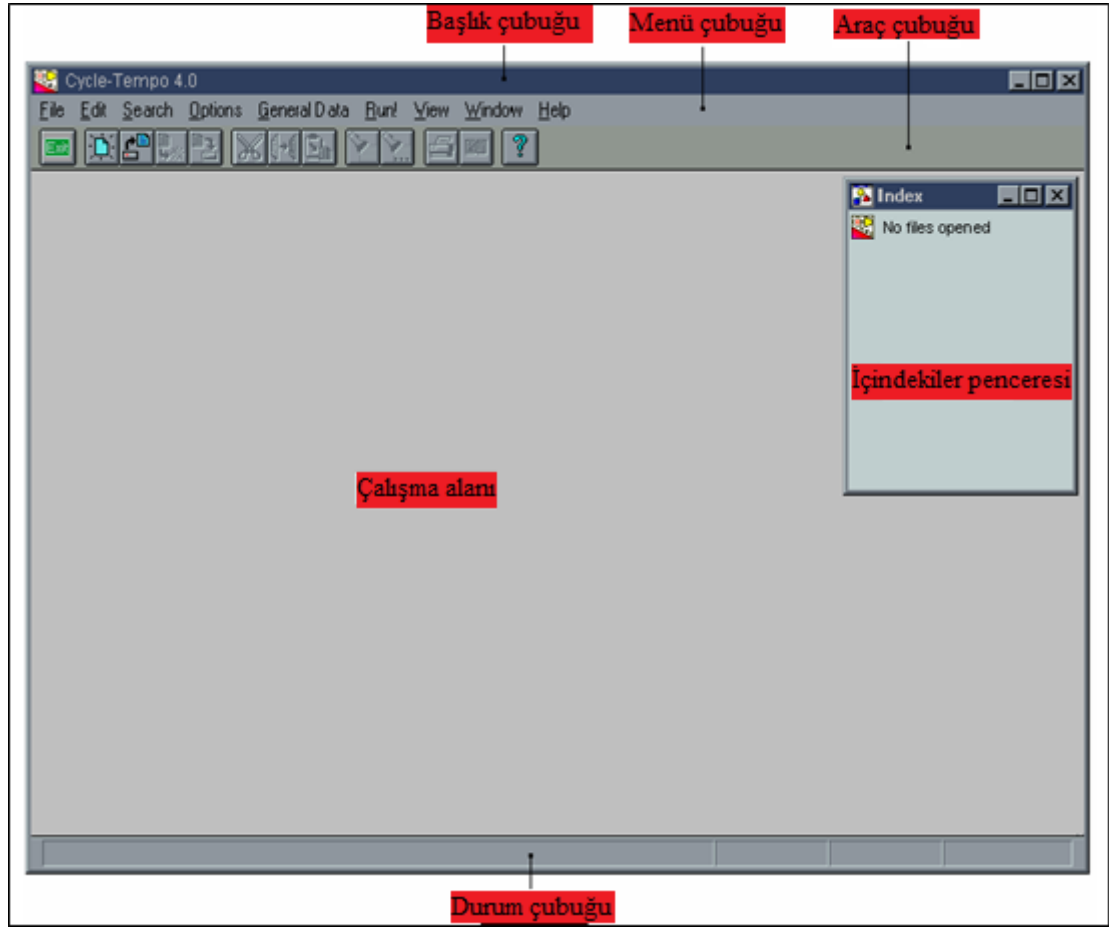
Off-design input data

OK Cancel Clear Help

Şekil 3.32 : Elektrik üreticisi ekipmanı için girdilenebilen değişkenler ve girdilenme yapılacak ara yüz [16].

3.2 Cycle-Tempo Programının Kullanılışı

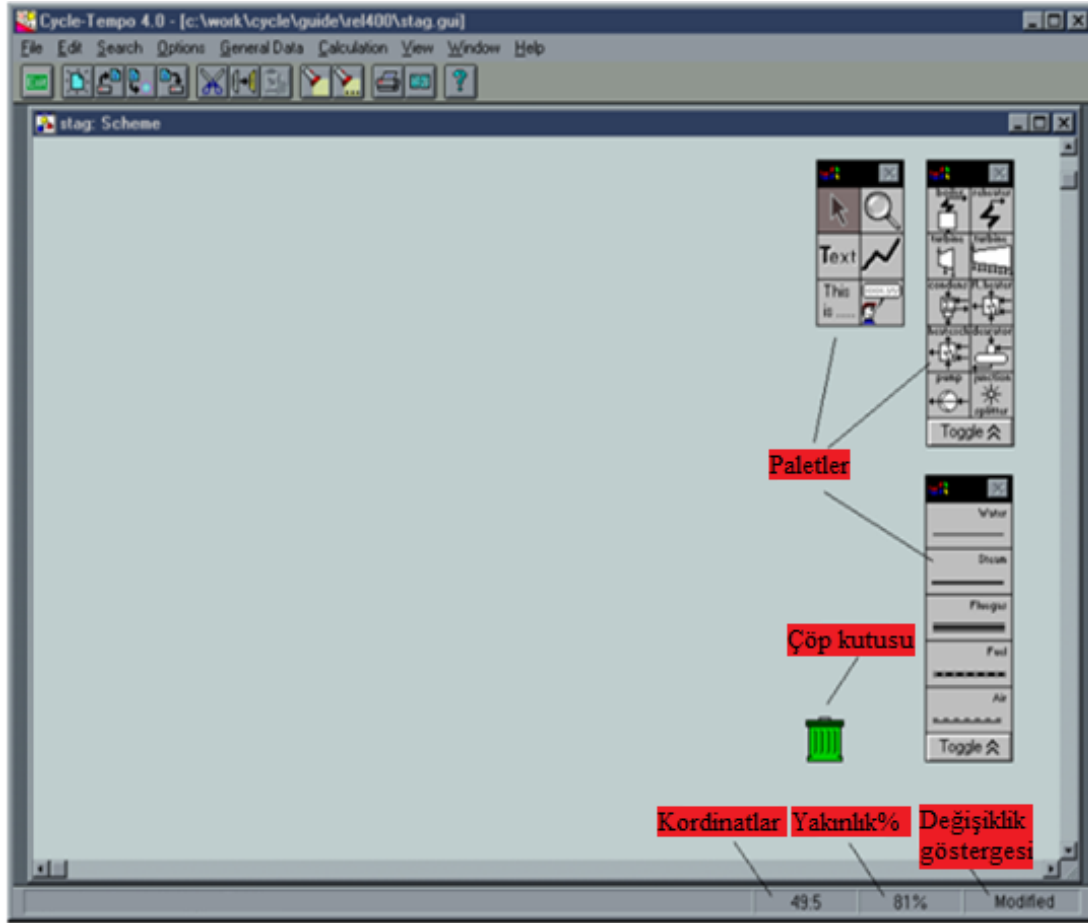
Cycle Tempo 5.0 bilgisayar yazılımı lisansı alındıktan sonra bilgisayara kurulur ve Şekil 3.33'te gösterilen ve altı ana parçadan oluşan CTP ana penceresi açılır. CTP ana penceresi; başlık çubuğu (title bar), menü çubuğu (menu bar), araç çubuğu (tool bar), çalışma alanı (working area), içindekiler penceresi (index window) ve durum çubuğu (status bar) kısımlarından oluşmaktadır.



Şekil 3.33 : Cycle-Tempo Programı ana penceresi [16].

Başlık çubuğu, programın ismini belirtir. Örneğin, [...\tez\model\ambarli_ctp_1 gui]. Menü çubuğu; programı açma, kapama ve çıktılarını alma gibi birçok seçeneği barındıran alt menülerden oluşmaktadır. Çalışma sayfasında, yakınlaştırma, uzaklaştırma gibi seçenekler, diğer programlarda olduğu gibi menü çubuğundan yapılmaktadır.

Programın tüm bilgisi durum çubuğunda belirtilir. Araçlar çubuğundan, Şekil 3.34'de gösterilen yeni çalışma sayfası açıldığında, modelde kullanılabilecek tüm araçlar karşımıza çıkar.

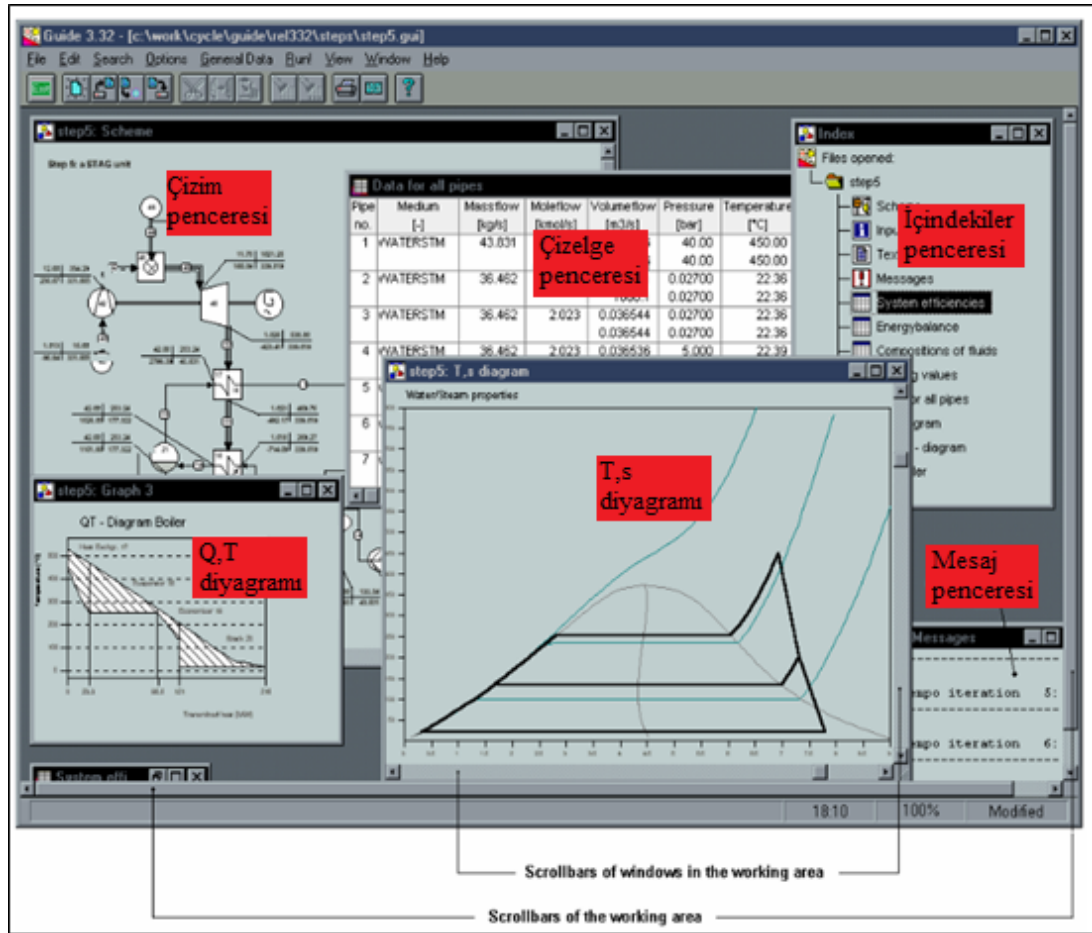


Şekil 3.34 : Cycle-Tempo Programı çalışma alanı sayfası [16].

Araç çubukları, menü çubuklarında bulunan komutların kısa yolları olarak atanmış halleridir. CTP'deki tüm komutlar araç çubuklarına eklenebilmektedir. CTP'de yapılmakta olan bütün işlemler içindekiler penceresinin altında belirtilmiştir. Kullanıcı buradan modelini takip edebilir. CTP çalışma sonuçlarının hepsi Şekil 3.35'te gösterildiği gibi bir CTP çalışma alanında açılabilir.

CTP çalışma sayfasının sağında kalan ekipman paletlerinden, modelin kurulmasında kullanılacak ekipmanlar seçilerek, sol kısımdaki çalışma alanına sürüklenir ve sistem kurulmaya başlanır. Bu ana ekipmanların birbirleri ile olan bağlantısı akışkan türüne göre boru paletinden seçilir. Bağlantı yapılacak elemanların çıkış ve giriş noktalarına sırasıyla tıklanarak bağlantı oluşturulur. Tüm bağlantılar yapıldıktan sonra, CTP modeli kurulmuş olur.

CTP modelinin çalışmasını sağlamak için, ekipmanların bilgileri girdilenebilir. Her ekipman üzerine çift tıklayarak ekipmanın değerlerinin girdileneceği arayüze ulaşılır ve değerler uygun şekilde girdildikten sonra "Tamam (OK)" sekmesi seçilerek arayüz kapatılır. Daha sonra CTP modeli "Çalıştır (Run)" komutu verilerek çalıştırılır.

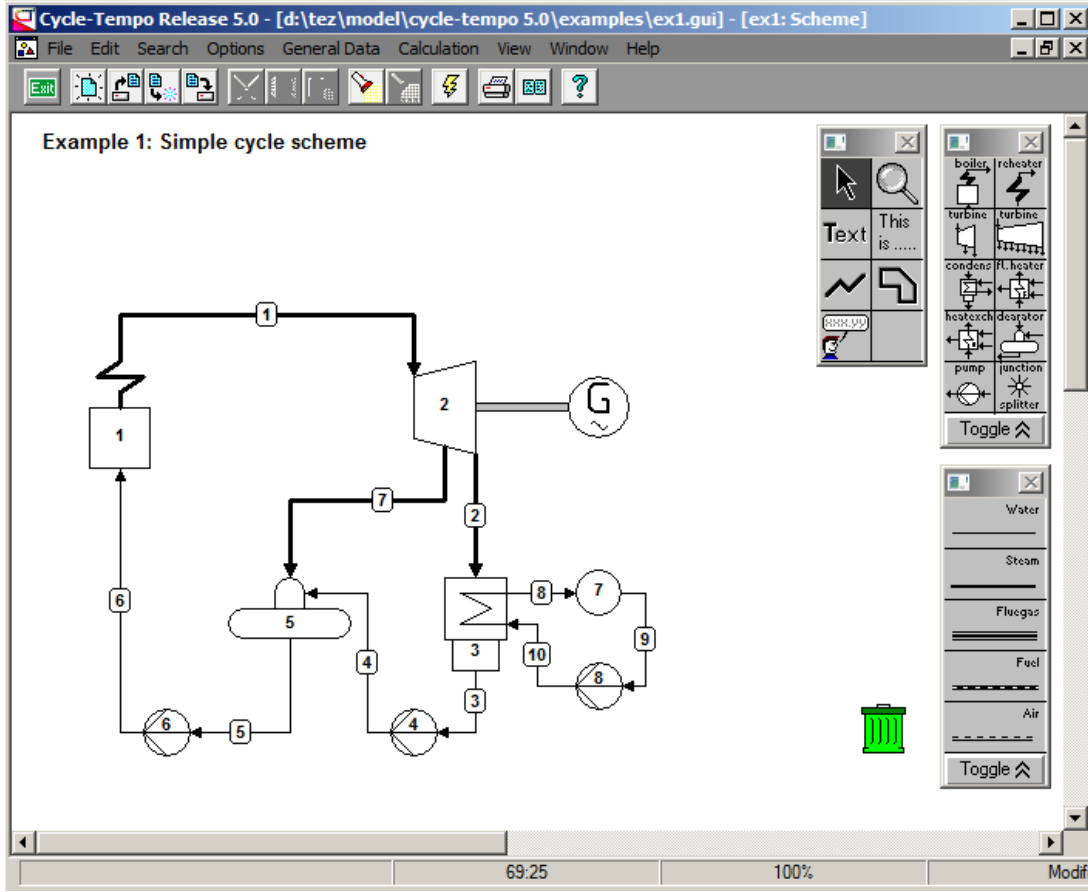


Şekil 3.35 : Cycle-Tempo Programı çalışma sonuçlarının görüntülenmesi [16].

3.3. Cycle-Tempo Programının Temel Çalışma Prensibi

CTP modeli oluşturulduktan sonra, ekipmanların termodinamik özellikleri sisteme girdilenirken CTP'nin çalışma prensipleri önem kazanır. Zira bu prensiplere göre bilgi girişi yapılmalıdır. Aksi durumda sistem hata verecektir.

CTP kütle dengesini, molar dengeyi, enerji dengesini ve termodinamik bağıntıları kullanarak hesap sistemini oluşturur. CTP'nin hesaplama prensibi basit bir Rankine çevrimi üzerinde incelenirse, aşağıdaki metod uygulanır. Şekil 3.36'da, basit bir CTP modeli kurulmuştur. Model, basit bir Rankine çevrimidir. Bu çevrim için program, kütle ve enerji dengesini, bir sistem matrisi olarak hazırlar. CTP'nin kurduğu matrisin çözülmesi ile akışkanların kütle debileri hesaplanır. Şekil 3.37'de, görüldüğü gibi eşitlikler matrise işlenir.



Şekil 3.36 : Cycle-Tempo Programı ile hazırlanan basit bir Rankine çevrimi [16].

Bileşen	No.	Boru numaraları													
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10				
Kazan	1	-1					-1					m_1		0	
Türbin	2	1	-1					-1				m_2		0	
Yoğuşturucu	3		1	-1					-1		1	m_3		0	
Yoğuşturucu (soğutma)	3								-1		1	m_4		0	
Oksijensizleştirme Ünitesi	5				1	-1		1				m_5		0	
Besi Suyu Pompası	6					1	-1					m_6		0	
Soğutma Suyu Pompası	8									1	-1	m_7		0	
Oksijensizleştirme Ünitesi	5				h_4	$-h_5$		h_7				m_8		0	
Yoğuşturucu	3		h_2	$-h_3$					$-h_8$		h_{10}	m_9		0	
Türbin	2	h_1	$-h_2$					$-h_7$				m_{10}		P_{tur}	

Şekil 3.37 : Basit Rankine çevrimi için sistem matrisi [16].

Şekil 3.37’de verilen eşitlikler; kazanın kütle dengesi, türbinin kütle dengesi, yoğuşturucunun toplam kütle dengesi, yoğuşturucunun soğutucu tarafındaki kütle dengesi, gazsızlaştırma ünitesi için kütle dengesi, besleme suyu pompası için kütle dengesi, soğutma suyu pompası için kütle dengesi, gazsızlaştırma ünitesinin enerji dengesi, yoğuşturucunun enerji dengesi ve türbinin enerji dengesi eşitlikleridir. Şekil

3.37’de, ekipman isimleri ve numaraları yukarıdan aşağıya sıralanırken, boru numaraları da soldan sağa doğru sıralanır. Şekil 3.37’de matris kurulurken, ekipmana girenler artı (+), çıkanlar ise eksi (-) olarak belirtilir. Enerji dengeleri yazılırken matrisle “entalpi ve elektrik üreticisi gücü bellidir” anlamı, anlamı taşıyan [h] ve [P_{turb}] sembolleri ile ifade edilir. Matris çarpımından, kütleli debiler teker teker bulunur. CTP kütleli debilerini bulduktan sonra modelin ve ekipmanların verimlerini hesaplamaktadır.

Şekil 3.6’daki basit Rankine çevrimini açıklarsak, kazanda (1) ısınan su kızgın buhar olarak kazandan çıkmaktadır. Kızgın buhar, elektrik üreticisi ile aynı mil üzerinde bulunan buhar türbininde (2) genişlemektedir. Türbinden çıkan doymuş buhar sıvı karışımı, yoğuşturucuda (3) yoğuşur. Yoğuşturucudan çıkan sıvı su, pompa ile basınçlandırılarak gazsızlaştırma ünitesine (5) iletilmektedir. Gazsızlaştırma ünitesinde, gazlarından arındırılan su, besleme suyu pompası (6) ile basınçlandırılarak kazana iletilmektedir.

Sistemde belirlenen aşağıdaki değerlerin birimleri ve isimleri CTP’de Şekil 3.38’deki gibi gösterilir.

- Φ_m =Kütle debisi [kg/s]
- P=Basınç [bar]
- T=Sıcaklık [T]
- h = Entalpi [kJ/kg]
- P_{el}=Elektrik gücü [kW]

p	T
h	ϕ_m
Φ_m = Kütleli Debi [kg/s] p = Basınç [bar] T = Sıcaklık [°C] h = Entalpi [kJ/kg] P _{el} = Elektrik Gücü [kW]	

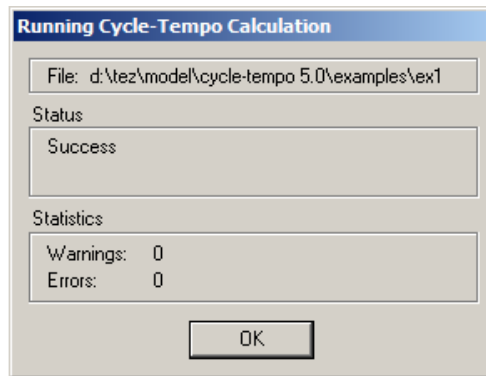
Şekil 3.38 : Cycle-Tempo Programı örnek modelinde verilen değerlerin birimleri [16].

Hesaplama için, başlangıç değerleri Çizelge 3.2’de verilmiştir. Sistemde elektrik üreticisi gücü, 110 MWe olarak verilmiştir. CTP, bu verilerle sistem matrisini oluşturur.

Çizelge 3.2 : Örnek hesaplama için başlangıç değerleri.

Ekipman	Değerler	
Kazan (1)	Çıkış basıncı	75 bar
	Çıkış sıcaklığı	450°C
Türbin (2)	ETHAI izentropik verim	0,8
Yoğuşturucu (3)	Çıkış basıncı	0,027 bar
	Buhar tarafı basınç düşümü	0 bar
	Soğutma suyu basınç düşümü	1 bar
	Soğutma suyu sıcaklık yükselişi	5°C
Pompa (4)	ETHAI izantropik verim	0,75
Gazsızlaştırma ünitesi (5)	Çıkış basıncı	3 bar
	Basınç kaybı	0 bar
Pompa (6)	Çıkış basıncı	80 bar
	ETHAI izantropik verim	0,75
Kaynak (7)	Soğutma suyu çıkış sıcaklığı	15°C
	Soğutma suyu çıkış basıncı	1 bar
Pompa (8)	Çıkış basıncı	4 bar
	ETHAI izantropik verim	0,75

CTP modelinde, tüm parametreler girildikten sonra araçlar kutusunda bulunan çalıştır (RUN) kutusuna basılır. CTP modeli, sorunsuz çalışıyorsa, Şekil 3.39’da verilen modelin sorunsuz çalıştığını gösteren pencere ekranda görülür.

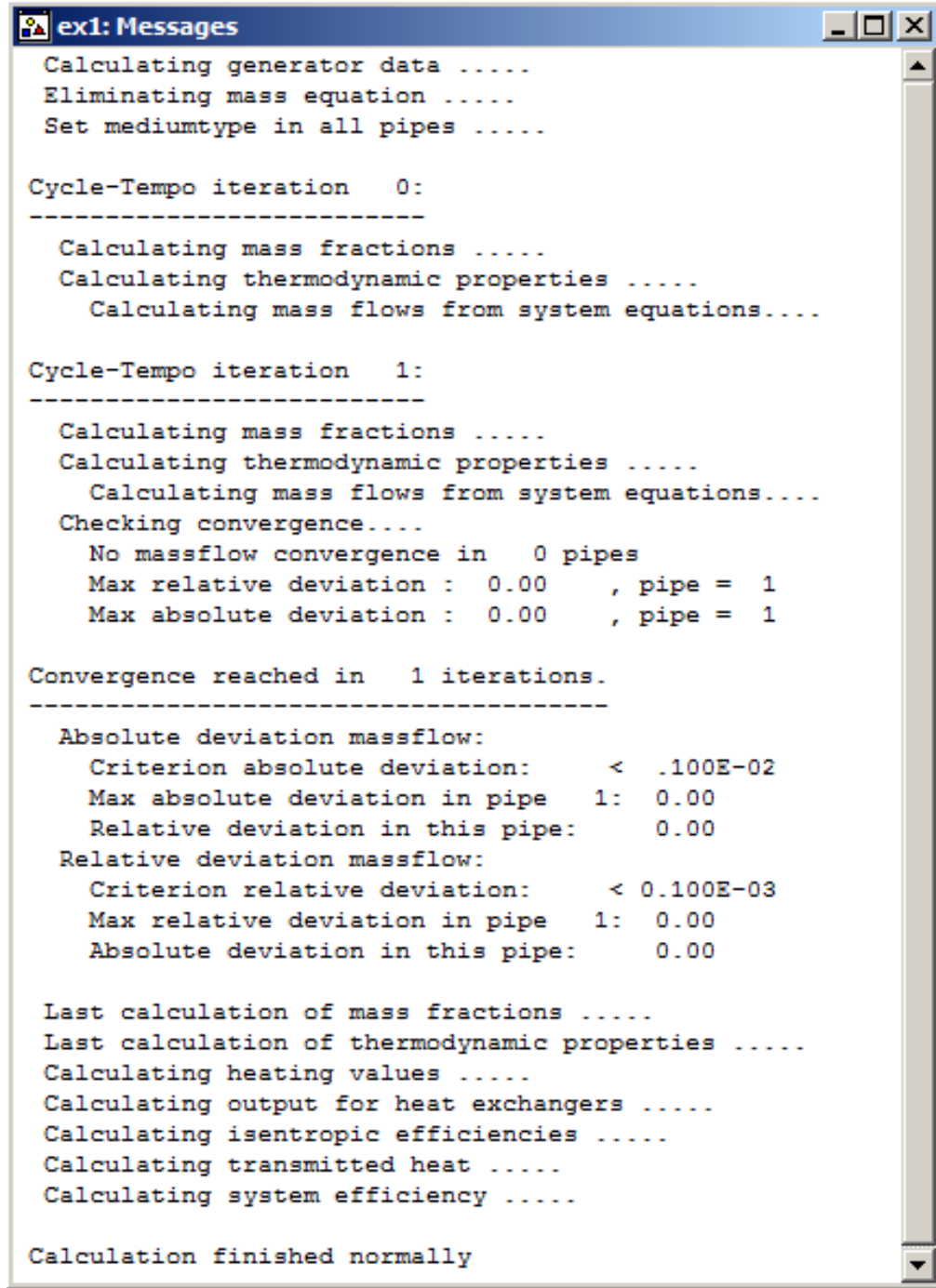


Şekil 3.39 : Modelin sorunsuz çalıştığını gösteren pencere [16].

Ardından “Tamam (OK)” Şekil 3.40’da verilen bilgi penceresi çalışma sayfasında gözükür.

CTP’nin modeli hesaplarken oluşturduğu sistem matrisinin kurulmasında, boru sayısı ile eşitlik sayısının aynı olmasına dikkat edilmelidir. Aksi halde sistem matrisi

oluşmadığından program hata verecektir. CTP sistem matrisinin çözümünde Gauss Eleme yöntemini kullanır.



```
ex1: Messages
Calculating generator data .....
Eliminating mass equation .....
Set mediumtype in all pipes .....

Cycle-Tempo iteration  0:
-----
Calculating mass fractions .....
Calculating thermodynamic properties .....
Calculating mass flows from system equations....

Cycle-Tempo iteration  1:
-----
Calculating mass fractions .....
Calculating thermodynamic properties .....
Calculating mass flows from system equations....
Checking convergence....
No massflow convergence in  0 pipes
Max relative deviation :  0.00      , pipe =  1
Max absolute deviation :  0.00      , pipe =  1

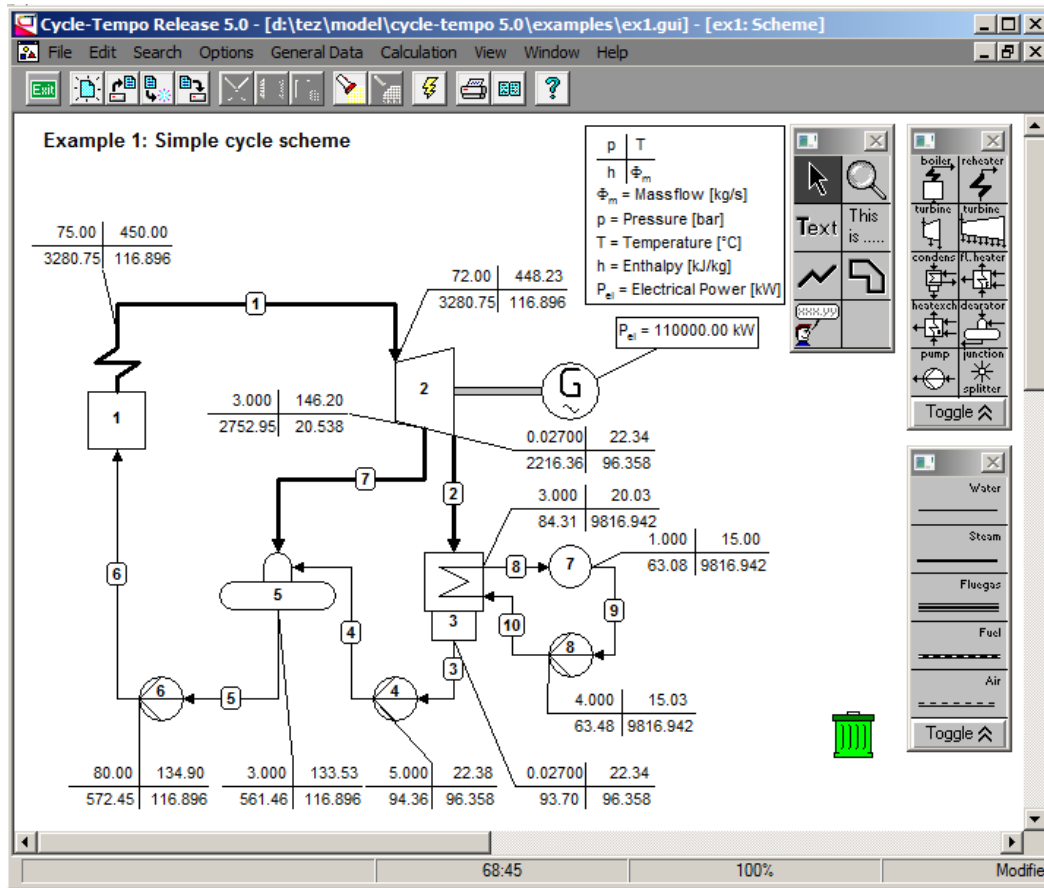
Convergence reached in  1 iterations.
-----
Absolute deviation massflow:
Criterion absolute deviation:  <  .100E-02
Max absolute deviation in pipe  1:  0.00
Relative deviation in this pipe:  0.00
Relative deviation massflow:
Criterion relative deviation:  < 0.100E-03
Max relative deviation in pipe  1:  0.00
Absolute deviation in this pipe:  0.00

Last calculation of mass fractions .....
Last calculation of thermodynamic properties .....
Calculating heating values .....
Calculating output for heat exchangers .....
Calculating isentropic efficiencies .....
Calculating transmitted heat .....
Calculating system efficiency .....

Calculation finished normally
```

Şekil 3.40 : Sistemin çözümünü özetleyen bilgi penceresi [16].

CTP modeli çalıştırıldıktan sonra hesaplanan elektrik üretici güç değeri ve ekipmanların giriş-çıkış değerlerinin çalışma alanında görünüşü Şekil 3.41’de gösterilmiştir.



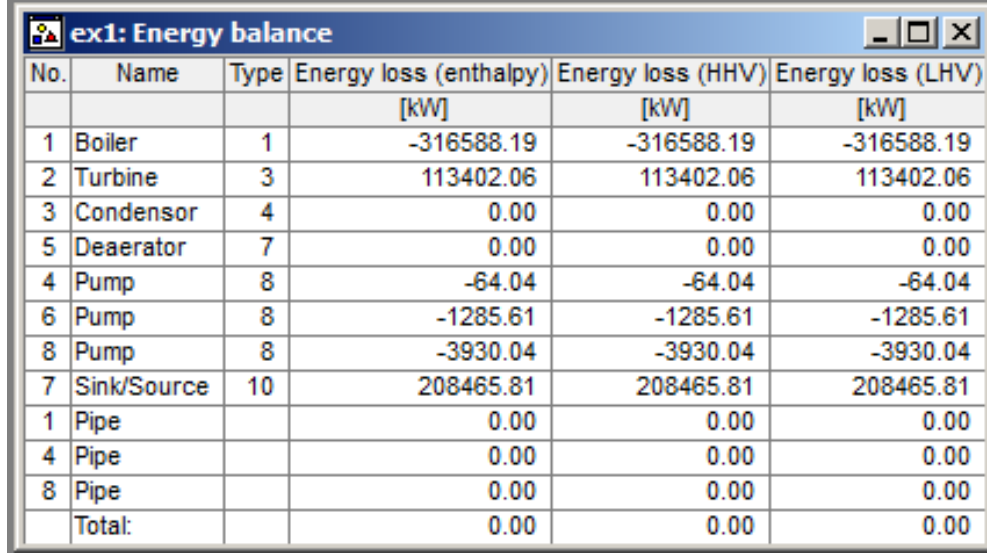
Şekil 3.41 : Cycle-Tempo Programı örnek modelinin çalıştırıldıktan sonra başlangıç değerlerinin pencerede görünüşü [16].

CTP model verimlerini her ekipman için ayrı ayrı hesaplayarak bir tablo halinde toplar ve kullanıcıya sunar. Şekil 3.42 sistemin çözümünden sonraki sistem verim bilgi ekranını göstermektedir.

ex1: System efficiencies							
delivered	No.	Apparatus	Type	Energy [kW]	Totals [kW]	Exergy [kW]	Totals [kW]
Absorbed power	1	Boiler	1	333250.72	333250.72	347785.72	347785.72
Delivered gross power	1	Generator	G	110000.00	110000.00	110000.00	110000.00
Aux. power consumption	4	Pump	8	71.62		71.62	
	6	Pump	8	1352.82		1352.82	
	8	Pump	8	4122.76		4122.76	
					5547.20		5547.20
Delivered net power					104452.80		104452.80
Efficiencies	gross			33.008 %		31.629 %	
	net			31.344 %		30.034 %	

Şekil 3.42 : Cycle-Tempo Programı sistem verim bilgi ekranı [16].

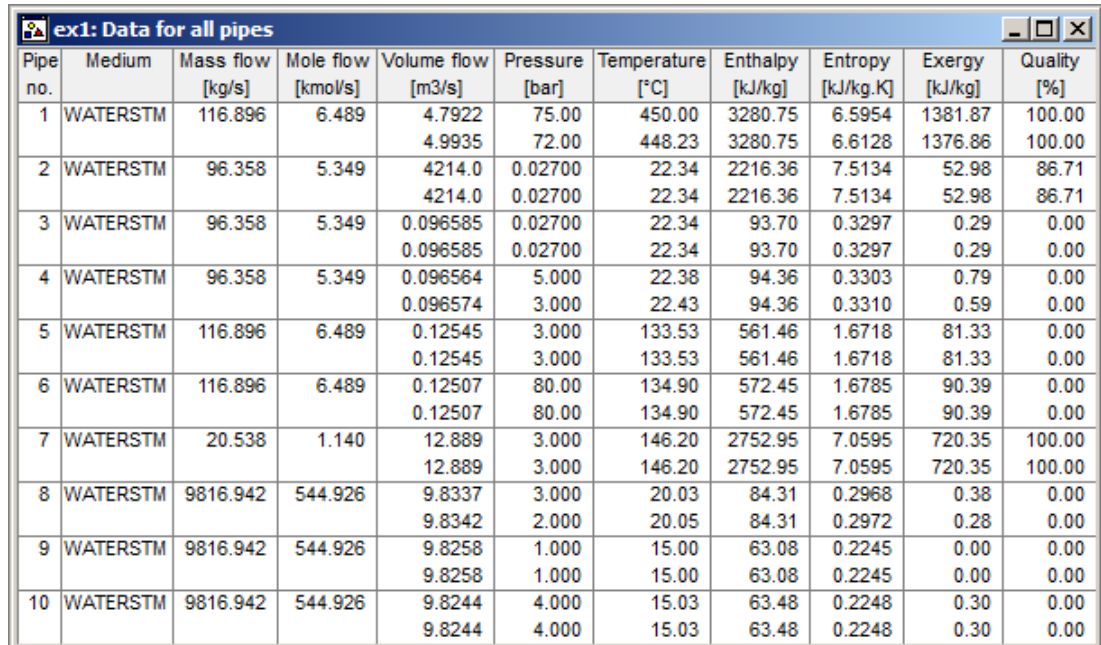
CTP enerji dengelerini her ekipman için ayrı ayrı hesaplayarak bir tablo halinde toplar ve kullanıcıya sunar. Şekil 3.43 sistemin çözümünden sonraki enerji dengesi bilgi ekranını göstermektedir.



No.	Name	Type	Energy loss (enthalpy) [kW]	Energy loss (HHV) [kW]	Energy loss (LHV) [kW]
1	Boiler	1	-316588.19	-316588.19	-316588.19
2	Turbine	3	113402.06	113402.06	113402.06
3	Condensor	4	0.00	0.00	0.00
5	Deaerator	7	0.00	0.00	0.00
4	Pump	8	-64.04	-64.04	-64.04
6	Pump	8	-1285.61	-1285.61	-1285.61
8	Pump	8	-3930.04	-3930.04	-3930.04
7	Sink/Source	10	208465.81	208465.81	208465.81
1	Pipe		0.00	0.00	0.00
4	Pipe		0.00	0.00	0.00
8	Pipe		0.00	0.00	0.00
	Total:		0.00	0.00	0.00

Şekil 3.43 : Cycle-Tempo Programı enerji dengesi bilgi ekranı [16].

CTP modelde kullanılan her borunun içinden geçmekte olan akışkan için; kütleli-hacimsel debi, basınç, sıcaklık, entalpi, ekserji, buhar kalitesi değerlerini giriş ve çıkış için ayrı ayrı olmak üzere hesaplayarak bir tablo olarak toplar ve kullanıcıya sunar. Şekil 3.44 sistemin çözümünden sonraki borulardaki akışkan bilgileri ekranını göstermektedir.



Pipe no.	Medium	Mass flow [kg/s]	Mole flow [kmol/s]	Volume flow [m3/s]	Pressure [bar]	Temperature [°C]	Enthalpy [kJ/kg]	Entropy [kJ/kg.K]	Exergy [kJ/kg]	Quality [%]
1	WATERSTM	116.896	6.489	4.7922	75.00	450.00	3280.75	6.5954	1381.87	100.00
				4.9935	72.00	448.23	3280.75	6.6128	1376.86	100.00
2	WATERSTM	96.358	5.349	4214.0	0.02700	22.34	2216.36	7.5134	52.98	86.71
				4214.0	0.02700	22.34	2216.36	7.5134	52.98	86.71
3	WATERSTM	96.358	5.349	0.096585	0.02700	22.34	93.70	0.3297	0.29	0.00
				0.096585	0.02700	22.34	93.70	0.3297	0.29	0.00
4	WATERSTM	96.358	5.349	0.096564	5.000	22.38	94.36	0.3303	0.79	0.00
				0.096574	3.000	22.43	94.36	0.3310	0.59	0.00
5	WATERSTM	116.896	6.489	0.12545	3.000	133.53	561.46	1.6718	81.33	0.00
				0.12545	3.000	133.53	561.46	1.6718	81.33	0.00
6	WATERSTM	116.896	6.489	0.12507	80.00	134.90	572.45	1.6785	90.39	0.00
				0.12507	80.00	134.90	572.45	1.6785	90.39	0.00
7	WATERSTM	20.538	1.140	12.889	3.000	146.20	2752.95	7.0595	720.35	100.00
				12.889	3.000	146.20	2752.95	7.0595	720.35	100.00
8	WATERSTM	9816.942	544.926	9.8337	3.000	20.03	84.31	0.2968	0.38	0.00
				9.8342	2.000	20.05	84.31	0.2972	0.28	0.00
9	WATERSTM	9816.942	544.926	9.8258	1.000	15.00	63.08	0.2245	0.00	0.00
				9.8258	1.000	15.00	63.08	0.2245	0.00	0.00
10	WATERSTM	9816.942	544.926	9.8244	4.000	15.03	63.48	0.2248	0.30	0.00
				9.8244	4.000	15.03	63.48	0.2248	0.30	0.00

Şekil 3.44 : Cycle-Tempo Programı borulardaki akışkan bilgileri ekranı [16].

CTP modelde kullanılan her borunun içinden geçmekte olan akışkan için; toplam enerji akışı, termal-mekanik enerji akışı, kimyasal enerji akışı, toplam ekserji akışı, termal-mekanik ekserji akışı, kimyasal ekserji akışı değerlerini giriş ve çıkış için ayrı ayrı olmak üzere hesaplayarak bir tablo olarak toplar ve kullanıcıya sunar. Şekil 3.45 sistemin çözümünden sonraki enerji ve ekserji akışı bilgileri ekranını göstermektedir.

ex1: Energy and exergy flows						
Pipe no.	Total Energy flow [kW]	Therm.Mec. Energy flow [kW]	Chemical energy [kW]	Total Exergy flow [kW]	Therm.Mec. Exergy flow [kW]	Chemical exergy [kW]
1	376131.94 376131.94	376131.94 376131.94	0.00	161534.77 160949.31	161534.77 160949.31	0.00
2	207486.06 207486.06	207486.06 207486.06	0.00	5105.45 5105.45	5105.45 5105.45	0.00
3	2950.30 2950.30	2950.30 2950.30	0.00	27.53 27.53	27.53 27.53	0.00
4	3014.33 3014.33	3014.33 3014.33	0.00	75.95 57.12	75.95 57.12	0.00
5	58258.15 58258.15	58258.15 58258.15	0.00	9507.65 9507.65	9507.65 9507.65	0.00
6	59543.75 59543.75	59543.75 59543.75	0.00	10566.12 10566.12	10566.12 10566.12	0.00
7	55243.82 55243.82	55243.82 55243.82	0.00	14794.35 14794.35	14794.35 14794.35	0.00
8	208453.36 208453.36	208453.36 208453.36	0.00	3733.09 2766.59	3733.09 2766.59	0.00
9	12.45 12.45	12.45 12.45	0.00	-13.02 -13.02	-13.02 -13.02	0.00
10	3917.59 3917.59	3917.59 3917.59	0.00	2934.56 2934.56	2934.56 2934.56	0.00

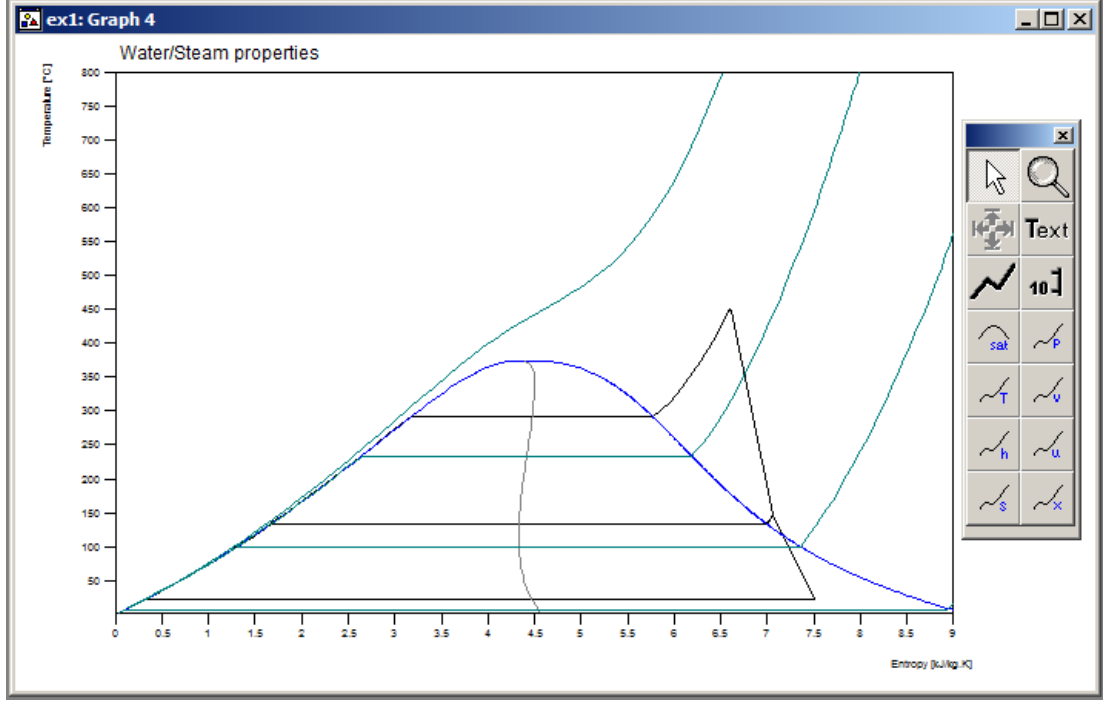
Şekil 3.45 : Cycle-Tempo Programı enerji ve ekserji akışı bilgileri ekranı [16].

CTP modelde kullanılan her ekipman için; toplam ekserji iletimi, ısı-mekanik ekserji iletimi, ekserji iletim kayıpları, bağıl ekserji kaybı değerlerini ayrı ayrı hesaplayarak bir tablo halinde toplar ve kullanıcıya sunar. Şekil 3.46 sistemin çözümünden sonraki ekserji iletim bilgileri ekranını göstermektedir.

ex1: Exergy values in the system								
No.	Name	Type	Exergy transmitted from system [kW]			Rel. Ex. Loss [%]	Func. Exergy eff. [%]	Univ. Exergy eff. [%]
			Total	Power/Heat	Losses			
1	Boiler	1	196817.06	0.00	196817.06	56.59	43.41	45.08
2	Turbine	3	141049.52	113402.06	27647.45	7.95	80.40	82.82
3	Condensor	4	4279.39	0.00	4279.39	1.23	15.73	46.77
5	Deaerator	7	5343.82	0.00	5343.82	1.54	59.28	64.02
4	Pump	8	-48.43	-71.62	23.20	0.01	67.61	76.60
6	Pump	8	-1058.46	-1352.82	294.35	0.08	78.24	97.29
8	Pump	8	-2947.58	-4122.76	1175.17	0.34	71.50	71.41
7	Sink/Source	10	2779.61	0.00	2779.61	0.80		-0.47
1	Pipe		585.44		585.44	0.17		
4	Pipe		18.83		18.83	0.01		
8	Pipe		966.50		966.50	0.28		
	Medium to/from env.							
1	Boiler	1	-347785.72	-347785.72	0.00	0.00		
	Total:		-0.02	-239930.86	239930.84	68.99		

Şekil 3.46 : Cycle-Tempo Programı sistemin ekserji iletim bilgileri ekranı [16].

CTP modeli ile yapılan hesaplamalar sonucunda elde edilen değerler; Mollier, T-s ve Q-s grafikleri ile görsel olarak sunulabilmektedir. Şekil 3.47 sistemin çözümünden sonraki T-s grafiği ekranını göstermektedir. Bu sayede iő akışkanının izlemiő olduğu termodinamik yol haritası ifade edilebilmektedir.



Şekil 3.47 : Cycle-Tempo Programı T-s diyagramı ekranı [16].

4. EÜAŞ AMBARLI DOĞALGAZ KOMBİNE ÇEVİRİM SANTRALİNİN CYCLE-TEMPO PROGRAMI İLE MODELLENMESİ

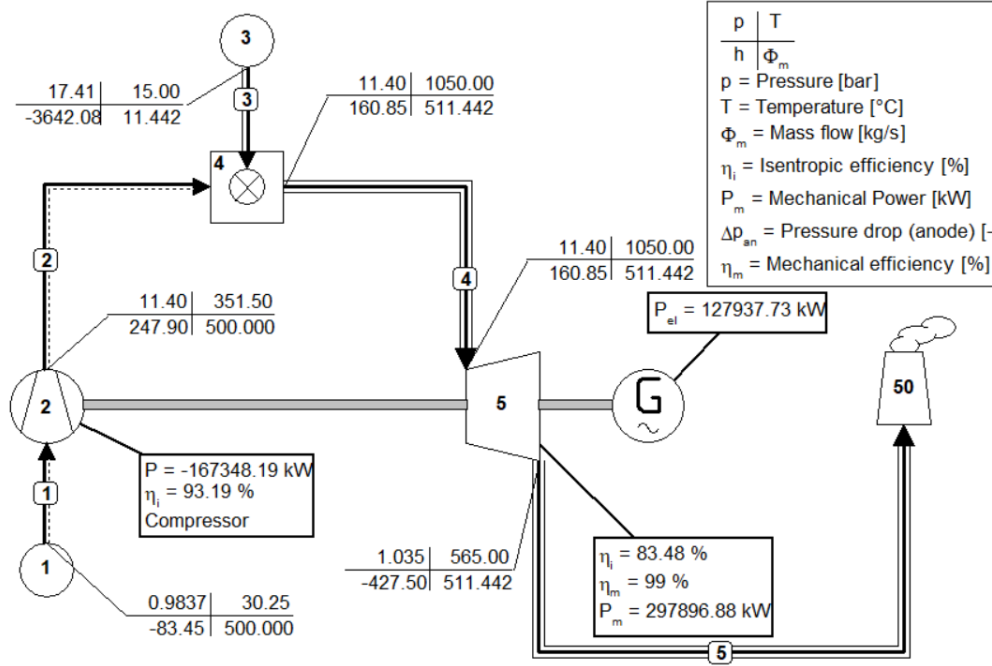
Bu bölümde Cycle-Tempo 5.0 bilgisayar yazılımı ile EÜAŞ Ambarlı DKÇS gibi büyük bir tesisin modellenebilmesi için daha küçük kısımlara ayrılması ve modellenen kısımların ayrı ayrı çalıştırılarak kontrolünün yapılması gerekliliği anlatılmıştır. Aksi takdirde oluşan hatanın modelin hangi kısmından kaynaklandığı tespit edilemeyecektir. Ayrıca, EÜAŞ Ambarlı DKÇS termodinamik modelini oluşturan kısımların ayrı ayrı Cycle-Tempo 5.0 bilgisayar yazılımı ile nasıl modellendiği, modelin çalışan kısımlarının nasıl birleştirildiği, her kısmı oluşturan ekipmanların Cycle-Tempo 5.0 bilgisayar yazılımında nasıl modellendiği ve verilerin nasıl girdilendiği açıklanmıştır.

Santralin modellenebilmesi için gaz türbini elektrik üretici grubu, atık ısı geri kazanım kazanı, buhar türbini elektrik üretici grubu, yoğunlaştırucu sistemi ve besleme suyu sistemi olmak üzere beş ayrı kısma ayrılmıştır. Her bir kısmın ilk önce bağımsız halde modellenerek ve modelinin çalıştırılıp sonuçlarının EÜAŞ Ambarlı DKÇS santralinin kumanda odasındaki merkezi veri izleme ve kayıt sisteminden okunan değerler ile karşılaştırılarak doğrulanması sonrasında bağımsız kısımlara ait modellerin düzgün çalıştığı anlaşılmıştır. Sonrasında bağımsız kısımların modellerinin birleştirilmesi ile elde edilen tam kapsamlı model tekrar çalıştırılarak sonuçları doğrulanmış ve modelin düzgün çalıştığı ve sonuçların kabul edilebilir olduğu teyit edilmiştir.

Çalışan alt modellerin birleştirilmesinde aktarılan iş akışkanının sıcaklık, basınç ve kütleli debi gibi termodinamik değerlerinin korunması önemlidir. Ayrıca yeni oluşturulacak tam kapsamlı modelin çözdürülebilmesi için aynı verinin iki alt modelde aynı anda girdilenmemiş olması gerekmektedir. Aksi takdirde mükerrer girişler denklemlerin çözülmesini engelleyerek hata oluşmasına neden olacaktır.

Birbirleriyle birleştirilen alt modeller ile oluşturulan tam kapsamlı modelin de toplam denklem ve bilinmeyen değişken sayısının modelin çözülmesine imkân verecek şekilde eşit olması gerekmektedir. Bu nedenle alt modellere sadece kullanılan kontrol

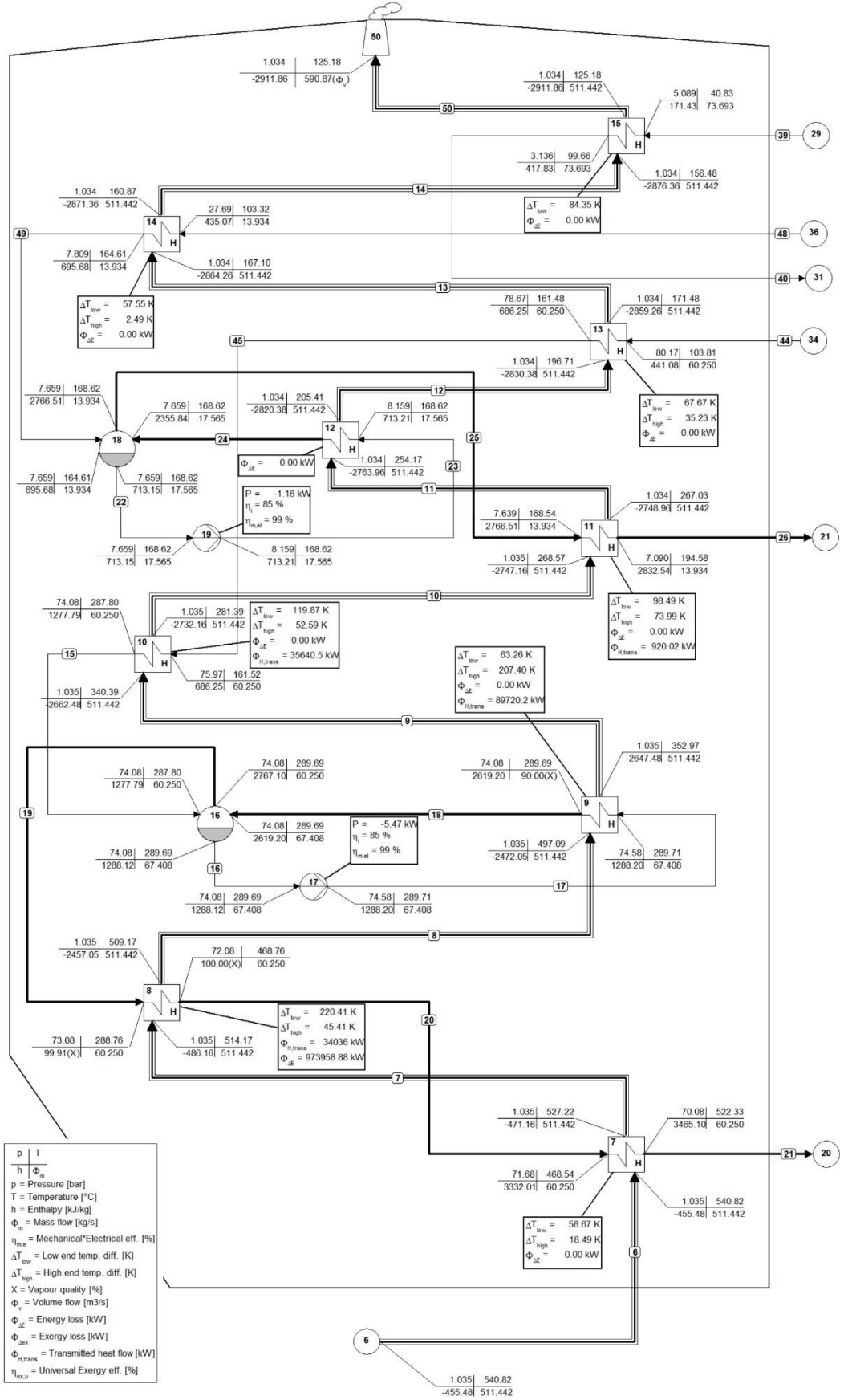
hacmi ile ilgili değerler girdilenmiştir, alt modelin kontrol hacmine genişletilmiş modeldeki diğer alt modellerden gelen ve giden iş akışkanları, kaynak ve kuyu elemanları ile modellenmiştir. Santrali oluşturan kısımlar içinde en hassas modellenmesi gereken kısım olan gaz türbini modeli kurulmuş ve çalıştırılarak sonuçları kontrol edilmiş ve doğrulanmıştır (Şekil 4.1).



Şekil 4.1: Gaz türbini elektrik üretici grubu CTP modeli.

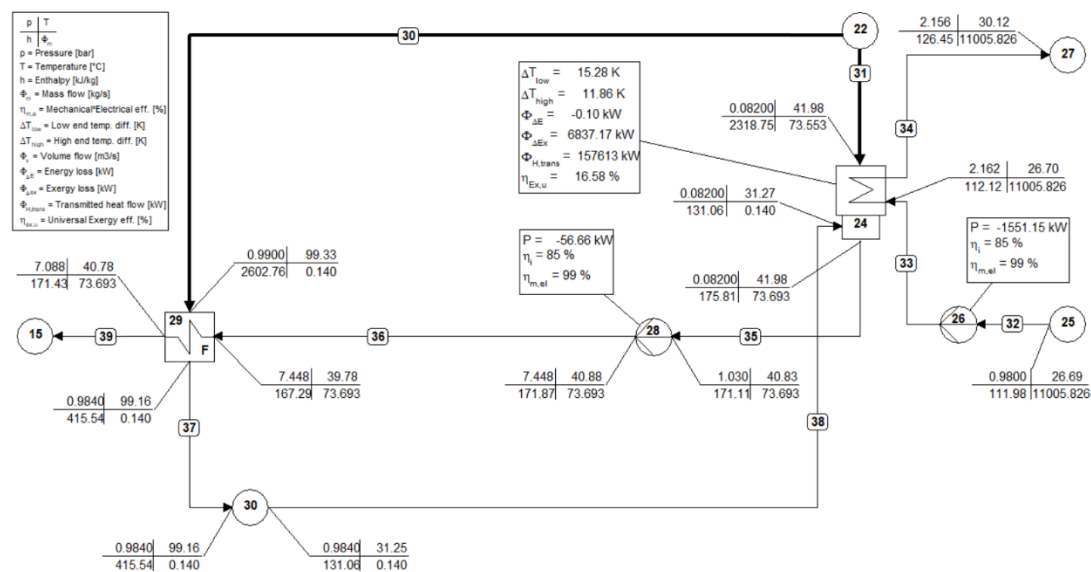
Gaz türbininden çıkarak AIGKK'na giren baca gazları gaz türbini alt modelinde baca ile atmosfere atılıyor olarak modellenmiştir. Sonrasında bulundurduğu ekipman sayısı ve giriş-çıkış hattı sayısı nedeniyle en geniş kapsamlı kısım olan atık ısı geri kazanım kazanı modeli kurulmuş ve çalıştırılarak sonuçları kontrol edilmiş ve doğrulanmıştır (Şekil 4.2).

AIGKK'na giren baca gazlarını kaynak elemanı ile modelleyerek baca gazına ait termodinamik değerler için CTP modeline EÜAŞ Ambarlı DKÇS santralinin kumanda odasındaki merkezi veri izleme ve kayıt sisteminden okunan değerler girdilenmiştir. Ayrıca, AIGKK alt modeli kontrol hacmine giren ve çıkan su-buhar hatları için de aynı yol izlenerek kaynak-kuyu elemanları ile modelleme yapılmış ve EÜAŞ Ambarlı DKÇS santralinden ölçülen değerler girdilenmiştir. Modellenen diğer tüm alt modellerde de kontrol hacmine giren ve çıkan iş akışkanları için aynı yaklaşımla kaynak-kuyu elemanları kullanılmıştır.



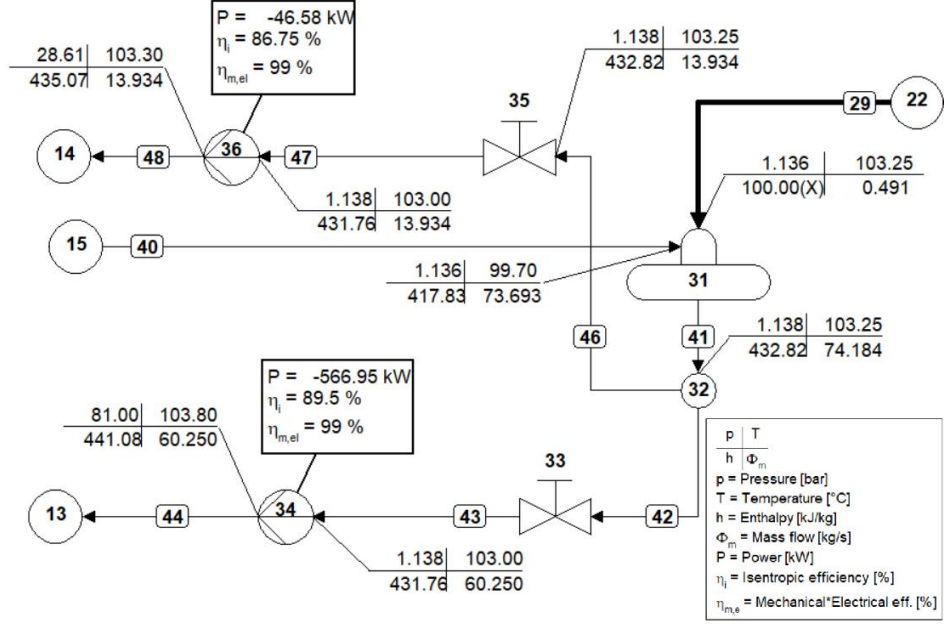
Şekil 4.2 : Atık ısı geri kazanım kazanı CTP modeli

Buhar türbini grubundan çıkan buharın deniz suyuna ısı atarak yoğunlaştırıldığı ve ana yoğunlaşmış su pompasında basınçlandırılarak sızıntı buharı yoğunlaştırıcusunda ısıtıldığı yoğunlaştırucu grubu modeli CTP bilgisayar yazılımı ile oluşturulmuş ve çalıştırılarak sonuçları kontrol edilmiş ve doğrulanmıştır (Şekil 4.4).



84

Ön ısıtıcıda ısıtıldıktan sonra besleme suyu tankına (gazsızlaştırma ünitesi, gaz alıcı) gönderilen besleme suyunun ara buhar ile karıştırıldığı ve sonrasında alçak basınç ve yüksek basınç besleme suyu pompaları ile AIGKK basıldığı besleme suyu sistemi modeli CTP bilgisayar yazılımı ile oluşturulmuş ve çalıştırılarak sonuçları kontrol edilmiş ve doğrulanmıştır (Şekil 4.5).



Şekil 4.5 : Besleme suyu sistemi CTP modeli.

Ayrı ayrı modellenen kısımların 30°C dış hava sıcaklığında EÜAŞ Ambarlı DKÇS termodinamik modeline santralin kumanda odasındaki merkezi veri izleme ve kayıt sisteminden okunan değerler girdilerek modeller çalıştırılmış ve sonuçların doğruluğu teyit edilmiştir. Bu doğrulama sonrası ayrı olan kısımlar birbirlerine bağlanarak santralin enerji dengesi basitleştirilmiş şemasının tam kapsamlı modeli oluşturulmuştur. Oluşturulan ve EK C'de sunulan tüm model de çalıştırılarak, sonuçları gerçek ölçümlerdeki değerler ile karşılaştırılarak modelin doğrulaması yapılmıştır.

5. ENERJİ VE EKSERJİ ANALİZİ

EÜAŞ Ambarlı DKÇS'nin santral enerji dengesi diyagramından yararlanılarak Cycle-Tempo 5.0 bilgisayar yazılımıyla oluşturulan EÜAŞ Ambarlı DKÇS basitleştirilmiş termodinamik modeli ile yapılan enerji ve ekserji analizinde ihtiyaç duyulan temel termodinamik eşitlikler ve kavramlar bu bölümde açıklanmıştır.

Geleneksel termodinamik analizleri temel olarak enerjinin korunumu ilkesini belirten termodinamiğin birinci yasası temel alınarak yapılmaktadır. Bir enerji üretim tesisinin enerji analizi esas olarak sisteme giren ve çıkan enerjilerin enerjinin korunumu denklemlerine göre hesaplanması ile yapılmaktadır. Sistemden çıkan enerji; sistemden çıkan kütlenin taşıdığı enerji, sistemdeki kayıplar ve elde edilen iş (ürün) bileşenlerinden meydana gelmiştir. Sistemlerin karşılaştırılması için genellikle sistemdeki giren ve çıkan enerji oranlarından bulunan verim parametresi kullanılmaktadır. Buna birinci yasa verimi, ısı verim veya enerjiye dayalı (enerji esaslı) verim de denmektedir.

Ancak, enerji verimleri sistemin performansının ideal (tersinir) sistem performansına ne kadar yaklaştığına dair bir bilgi sağlamamaktadır. Ayrıca, performansın ideallikten uzaklaşmasına yol açan termodinamik sistem kayıpları da enerji analizinde yeterince doğru olarak değerlendirilememektedir. Bu yüzden sadece enerji analizi sonuçları, kayıpları yanlış adresleyebilmekte ve sistemin verimini gerçeğinden farklı olarak yansıtabilmektedir.

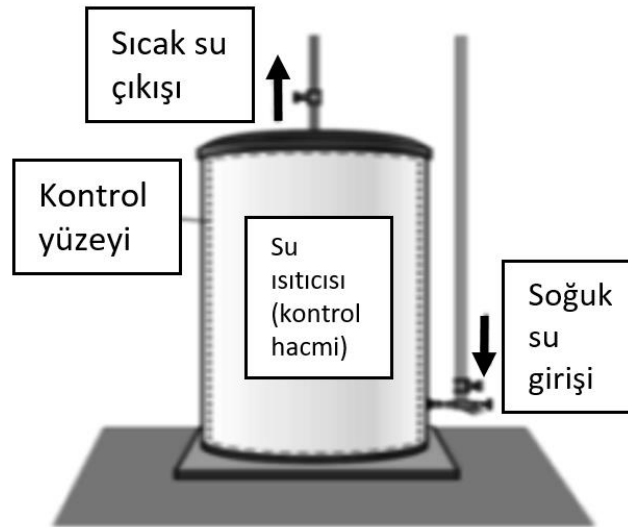
Ekserji analizi ise bir sisteme giren “ısının tümünün iş olarak çıkmasının tersinmezlikler nedeniyle imkânsız olduğunu” ifade eden ve enerjinin miktarının yanında kalitesi ile de ilgilenen Termodinamiğin İkinci Yasasını esas alarak, enerji analizindeki eksikliği tamamlamaktadır. Sistemdeki gerçek verimsizliklerin nerede ve ne kadar olduklarını belirleyerek mevcut bir sistemdeki iyileştirmelerin yapılması veya yeni yapılacak bir tasarımın geliştirilmesi ve optimizasyonu için kullanışlı bir yöntemdir.

Bu bölümde termik sistemlerin enerji ve ekserji analizi için bilinmesi gereken bazı temel termodinamik kavramların açıklamaları yapılmıştır. Ayrıca referans çevre tanımı ve performans ifadelerine yer verilmiştir.

5.1 Bazı Temel Termodinamik Kavramları ve Tanımları

Çalışma için seçilen çözüme uygun belirli bir hacim veya madde ‘sistem’ olarak tanımlanmaktadır. Sistemin termodinamik özelliklerinin değişmesi halinde o sistemin bir “prosese” maruz kaldığı veya halinin değiştiği söylenilmektedir. Eğer bu sistemin hali birçok kez değişiyor ve farklı proseslerden geçip ilk haline geri dönüyorsa buna bir “çevrim” veya “çevrimsel proses” denilmektedir. Bir prosesin gerçekleşmesinden sonra sistemde ve çevrede kalıcı bir etki bırakılmadan geriye dönüşümü yapılabiliyor ise bu procese “tersinir proses” denilmekte fakat gerçek hayatta tersinir bir proses mümkün olmayıp tüm prosesler tersinmez olarak tanımlanmaktadır [17].

Sistem sınırları içerisine veya sınırlarından çevreye herhangi bir madde akışının olmadığı sistemlere kapalı sistem, bu sistem için yapılan analize ise kapalı sistem analizi veya kontrol kütlesi analizi denilmektedir. Açık sistem ise sınırlarından kütle akışı olan sistemlerdir (Şekil 5.1). Açık sistemin bir diğer ismi ise kontrol hacmidir.



Şekil 5.1 : Tek girişli ve tek çıkışlı açık sistem [18].

Güç santrallerinin enerji ve ekserji analizi yapılırken kontrol hacmi yani açık sistem kabulü yapılır. Ayrıca, bu kontrol hacimlerinde sürekli akış olduğu varsayılır. Süreklilikten kastedilen sistemde ve sınırındaki herhangi bir konumda zamana bağlı

olarak değişim göstermeyen madde özellikleri anlamını içermektedir. Kontrol hacmi içerisinde farklı noktalardaki özellikler birbirinden farklı olabilirken, herhangi bir noktanın tüm zamanlardaki özellikleri sabit kabul edilmektedir. Ayrıca sürekli akış halinde, kontrol hacmi içerisinde toplam kütle ve enerji sabit kalmaktadır [18].

Sürekli akışlı açık sistemlerde kontrol hacmi içerisinde kütle, hacim ve toplam enerji sabit kaldığından dolayı birim zamanda kontrol hacmine giren toplam kütle ve enerji, kontrol hacminden çıkan toplam kütle ve enerjiye eşit olmak zorundadır. Birden çok giriş ve çıkışı olan sürekli akışlı açık sistem için, birim zaman için kütle korunumu ilkesi aşağıdaki gibi yazılmaktadır.

$$\sum_g \dot{m}_g = \sum_{\varsigma} \dot{m}_{\varsigma} \quad (5.1)$$

Burada g indisi girişi, ς indisi ise çıkışı göstermektedir. Denklem 5.1, tek giriş ve tek çıkışlı bir sistem için 1 ve 2 alt indisleri sırasıyla girişi ve çıkışı göstermek üzere, yoğunluk, özgül hacim, akış hızı ve akış yönüne dik kesit alanı değişkenleri kullanılarak aşağıdaki gibi detaylandırılabilir;

$$\rho_1 V_1 A_1 = \rho_2 V_2 A_2 \quad (5.2)$$

$$\frac{1}{\nu_1} V_1 A_1 = \frac{1}{\nu_2} V_2 A_2 \quad (5.3)$$

Burada ρ yoğunluk (kg/m^3), ν özgül hacim (m^3/kg), V akış yönünde ortalama akış hızı (m/s), ve A akış yönüne dik kesit alanı (m^2) olarak ifade edilmiştir. Birden çok giriş ve çıkışı olan bir kontrol hacminde ve sürekli akış kabulü yapıldığında Termodinamiğin Birinci Yasası kullanılarak birim zaman için genel enerji dengesi denklemi;

$$\dot{Q} - \dot{W}_{KH} = \sum_{\varsigma} \dot{m}_{\varsigma} \left(h_{\varsigma} + \frac{V_{\varsigma}^2}{2} + gz_{\varsigma} \right) - \sum_g \dot{m}_g \left(h_g + \frac{V_g^2}{2} + gz_g \right) \quad (5.4)$$

şeklinde yazılır. Burada, $\dot{Q}$ birim zamandaki sisteme net ısı geçişi (kW), $\dot{W}_{KH}$ kontrol hacmi için birim zamandaki sistemden çevreye net iş geçişi (kW), g ve ς indisleri giriş ve çıkış, $\dot{m}$ kütleli debi (kg/s), h entalpi (kJ/kg), V akışın hızı, z yükseklik (m), ve g yerçekimi ivmesi (m/s^2) olarak ifade edilmiştir.

Termal güç tesislerinin enerji analizlerinde genellikle, kinetik ve potansiyel enerji değişimleri ihmal edildiğinden Denklem 5.4 aşağıdaki hali alır;

$$\dot{Q} - \dot{W}_{KH} = \sum_c \dot{m}_c h_c - \sum_g \dot{m}_g h_g \quad (5.5)$$

5.1.1. Entropi

Termodinamiğin ikinci yasasının ortaya koyduğu “Entropi” kavramı maddenin mikroskobik yapısı ve istatistiksel yaklaşımlar göz önünde bulundurulduğunda, mikroskobik düzensizliğin bir ölçüsü olmaktadır. Entropinin değişimi, çevrim için Clausius eşitsizliği olarak ifade edilen;

$$\oint \frac{\delta Q}{T} \leq 0 \quad (5.6)$$

eşitsizliğinden hareketle, iç tersinir prosesler için

$$dS = \left(\frac{\delta Q}{T} \right)_{i\check{t}ersinir} \quad (5.7)$$

ile tanımlanmaktadır.

Denklem 5.6 eşitsizliğinde T sistem sınırındaki sıcaklığı, δQ ise sistem ve çevre arasındaki diferansiyel ısı transferini vermektedir. Yukarıda bahsedildiği üzere, entropi tersinmezlikler ile ilgili olup tersinmez proseslerde üretilmektedir. Kapalı sistemlerde entropi değişimi ifadesi aşağıdaki gibi yazılabilir;

$$\Delta S_{sistem} = S_2 - S_1 = \int_1^2 \frac{\delta Q}{T} + S_{\check{u}retim} \quad (5.8)$$

Denklem 5.6 ve 5.8’den anlaşılacağı üzere “entropinin korunumu ilkesi” gibi bir kavramın yerine “entropinin artışı” ilkesinden bahsedilebilir. Yani, ideal ve imkânsız bir durum olan tersinir proseslerde entropi üretilmezken, gerçek tüm proseslerde

entropi üretimi pozitifdir. Entropi üretimi proseste görülen tersinmezliklerin bir ölçüsü olmakta ve mühendislik sistemlerinin verimlerinin ölçülmesi için önemli bir kavram olarak kullanılmaktadır.

Sürekli akış kabulünden yola çıkarak bir kontrol hacmi ile T_0 sıcaklığındaki çevresi arasındaki birim zamandaki entropi dengesi aşağıdaki gibi yazılır;

$$\dot{S}_{\text{üretim}} = \sum_{\zeta} \dot{m}_{\zeta} s_{\zeta} - \sum_g \dot{m}_g s_g + \sum \frac{\dot{Q}_{\zeta\text{ev}}}{T_0} \geq 0 \quad (5.9)$$

Burada $\dot{S}_{\text{üretim}}$ birim zamanda gerçekleşen entropi üretimini, $\dot{m}_g$ ve $\dot{m}_{\zeta}$ sırasıyla birim zamanda sisteme giren ve sistemden çıkan kütle miktarını, s_g ve s_{ζ} sırasıyla sisteme ve sistemden kütle akışı ile birim zamanda giren ve çıkan entropileri ifade etmektedir. $\dot{Q}_{\zeta\text{ev}}$ birim zamandaki ısı geçişini, T_0 sistem sınırındaki sıcaklığı, $\dot{Q}_{\zeta\text{ev}}/T_0$ terimi ısı geçişi nedeniyle oluşan birim zamandaki entropi transferini ifade etmektedir.

Denklem 5.5'teki ısı geçişi terimi Denklem 5.9'de yerine koyulduğunda, birim zamandaki kullanılabilir iş aşağıdaki gibi bulunur

$$\dot{W} = \sum_g \dot{m}_g (h_g - T_0 s_g) - \sum_{\zeta} \dot{m}_{\zeta} (h_{\zeta} - T_0 s_{\zeta}) - T_0 \dot{S}_{\text{üretim}} \quad (5.10)$$

Tersinir iş, yani maksimum kullanılabilir iş ise $\dot{S}_{\text{üretim}}$ teriminin sıfıra eşit olması durumu olup

$$\dot{W}_{\text{ter}} = \sum_g \dot{m}_g (h_g - T_0 s_g) - \sum_{\zeta} \dot{m}_{\zeta} (h_{\zeta} - T_0 s_{\zeta}) \quad (5.11)$$

ile ifade edilebilir.

Birim zamandaki tersinmezlik ($\dot{I}$) ise, tersinir iş ile kullanılabilir iş arasındaki farktır ve Denklem 5.11, Denklem 5.10'da yerine koyulduğunda

$$\dot{I} = \dot{W}_{\text{ter}} - \dot{W} = T_0 \dot{S}_{\text{üretim}} \quad (5.12)$$

nihai denklemlerle ifade edilir.

5.1.2. Ekserji

Ekserji ile ilgili çeşitli tanım ve isimlendirilmeler yapılmıştır. Kullanılabilirlik, kullanılabilir enerji, iş yeteneği, ekserji vb. gibi tanımlar arasından en çok 1953'te Alman bilim adamı Rant tarafından önerilen Yunanca ex (dış) ve ergon (iş yaparken sarf edilen enerji miktarı) kelimelerinden türetilmiş olan ekserji kelimesi benimsenmiş ve kullanılmaktadır. Kuramsal olarak, bir sistemden en çok işin elde edilebilmesi, iki koşulun yerine getirilmesi ile mümkündür. Bu koşullar; işin bir sistemin başlangıç halinden son haline tersinir bir hal değişimi ile getirilerek elde edilmesi ve sistemin son halinin çevre ile dengede olmasıdır [19].

Farklı sistemlerin potansiyellerinin değerlendirilmesinde çevre referans olarak alınmaktadır. Ekserji metodunda çevre kavramı, sonsuz büyüklükte ve kusursuz denge halinde bir madde veya ortam olarak düşünülmektedir. Çevrenin bir bütün olduğu ve özelliklerinde herhangi bir farklılığa sahip olmadığı, her noktasında basınç, sıcaklık, kimyasal, kinetik ve potansiyel enerji değerlerinin aynı olduğu varsayılmıştır. Ayrıca, herhangi iki noktası arasında iş ya da herhangi bir yoldan bir etkileşim olmayacağı kabul edilmiştir. Uygulamalarda çevre atmosfer, denizler ve dünya kabuğu ile ifade edilmektedir. Çevre, bir sistem ile üç farklı şekilde etkileşmektedir. Bunların;

- T_0 sıcaklığındaki bir termal enerji deposu olarak termal etkileşim yolu ile,
- Kullanılamaz iş deposu olarak mekanik etkileşim yolu ile,
- Denge halinde düşük kimyasal potansiyele sahip olan bir madde olarak kimyasal etkileşim yolu ile olduğu belirtilmiştir [17].

Çevresi ile dengede olan ve herhangi bir etkileşimde bulunmasına imkân olmayan bir sistemin bu haline “ölü hal” denilmektedir. Yani ölü halde bulunan bir sistemden iş elde edilemez, kinetik ve potansiyel enerji farkı yoktur. Sistem ile çevre arasında mekanik, termal (ısı) ve kimyasal denge mevcuttur, ayrıca sistemin çevresi ile denge durumunu açıklayan bir başka tanımda “sınırlı ölü hal” durumudur. Sınırlı ölü hal, kinetik ve potansiyel enerji farkı olmayan çevresi ile sadece mekanik ve ısı denge hali yani sistem basıncı ve sıcaklığının, çevre basıncı ve sıcaklığına eşit olduğu durumu ifade etmektedir.

Bu bilgiler ışığında ekserji, belirli bir başlangıç halinden ölü hale ulaşmaya kadar, bir sistemden elde edilebilecek en fazla teorik yararlı iş olarak tanımlanmaktadır. Yani

ekserji, bir sistemin belirli bir halinden çevre haline ne kadar yaklaştığının bir ölçüsü olmaktadır.

Ayrıca, ekserjinin bir başka tanımı ise ‘enerjinin tamamen diğer enerji şekillerine dönüşebilen kısmı’ olarak yapılmıştır. Bu tanıma göre diğer enerji türlerine dönüştürülmesi mümkün olmayan enerjiye kullanılamaz enerji, bağlı enerji veya anerji adı verilmektedir. Bu kapsamda toplam enerji aşağıdaki gibi ifade edilebilir; $\text{Enerji} = \text{Ekserji} + \text{Anerji}$ [2].

Anerjiye örnek olarak çevrenin iç enerjisi verilebilir. Çevre iç enerjisinin tamamı anerji kabul edildiği için çevrenin ekserjisi sıfır olarak alınmaktadır.

Ekserjinin sadece kullanılabilir enerji kavramından ibaret olmadığı, aynı zamanda geniş resimde çevreye zarar veren enerji kaynaklarının tüketiminin azaltılması ve çevre dostu kaynakların kullanılması konularında mükemmel bir ölçüt olduğu ve geniş kapsamlı bir mühendislik yaklaşımı içerdiği ifade edilmektedir [18].

Ekserjinin çevre, sürdürülebilir gelişim ve enerji ile ilişkisi Şekil 5.2 ile ifade edilmiştir.



Şekil 5.2 : Enerji, çevre ve sürdürülebilirliğin ekserji ile ilişkisi.

Bu kapsamda ekserji, çevre teknolojilerini de temel alan üç kavramı incelemektedir [20]. Bunlar;

- Çevresel etkilerin minimum, enerji ve enerji kaynaklarının ise maksimum koşullarda işletilebileceği teknolojiler,
- Çevreyi kirletme potansiyelleri yüksek olan maddelerin çevresel davranışları,
- Çevresel değerlendirme, enerji ve toplum güvenliği kavramlarıdır [21].

5.1.3. Ekserji çeşitleri

Ekserji, nükleer, manyetik, elektriksel ve yüzey gerilme etkilerinin olmaması durumunda; kinetik, potansiyel, fiziksel ve kimyasal ekserji bileşenlerinden oluşmaktadır [22].

$$\varepsilon = \varepsilon_k + \varepsilon_p + \varepsilon_{fz} + \varepsilon_{kim} \quad (5.13)$$

Denklem 5.13'te birim kütle için ε_k kinetik ekserji, ε_p potansiyel ekserji, ε_{fz} fiziksel ekserji ve ε_{kim} kimyasal ekserjidir.

5.1.3.1. Fiziksel ekserji

Fiziksel ekserji, sıcaklık ve basıncı T ve P olan bir açık sistemin kontrol hacminin bu halinden başlanarak, sıcaklık ve basıncı (P_0, T_0) olan çevre hali ile dengeye getirilmesi presesinde sistemden elde edilecek maksimum iş olarak tanımlanır [17];

$$\varepsilon_{fz} = h - h_0 - T_0(s - s_0) \quad (5.14)$$

Burada h ve s indis kullanmaksızın mevcut durumdaki entalpi ve entropiyi, h_0 ve s_0 ise, P_0 ve T_0 çevre halinde, akışkanın entalpi ve entropisini temsil etmektedir.

5.1.3.2. Kimyasal ekserji

Fiziksel ekserji tanımında, sistemin son halindeki denge durumu P_0, T_0 olan çevre şartları idi. Kimyasal ekserji de ise bu sınırlı ölü halin başlangıç hali olarak ele alınmakta, maddenin çevre ile ısı veya madde transferi içeren prosesler ile sınırlı ölü halden ölü hale getirilmesi sonucunda ortaya çıkan en fazla iş miktarına denilmektedir.

Termik santrallerin ekserji analizlerinde genellikle akışkanın herhangi bir kimyasal tepkimeye girmediği ve çevrim boyunca kimyasal bir değişime uğramadığı kabul edilir. Fakat yakıt ekserjisinin hesaplanması ekserji dengesi açısından önemlidir.

Yakıtların kimyasal ekserjileri, yakıtı oluşturan bileşenlere bağlı olarak hesaplanmaktadır.

Bu sebeple yakıt ekserjisinin yakıtın ısı değeri oranını ifade eden φ oranı geliştirmiştir [23].

Bu oran;

$$\varphi = \frac{\varepsilon^0}{AID^0} \quad (5.15)$$

şeklinde ile ifade edilmiştir. Burada ε^0 , yakıtın standart kimyasal ekserjisi ve AID^0 yakıtın alt ısı değeri belirtmektedir.

Katı ve sıvı yakıtlar için yakıt kompozisyonu biliniyorsa ekserjinin nasıl hesaplanacağı aşağıdaki gibi verilmiştir [17];

Karbon (C), hidrojen (H), oksijen (O) ve azot (N) içeren, ayrıca içerisinde bulunan Oksijen / Karbon kütleli oranı 0,5'den küçük olan ve nem içermeyen katı fosil yakıtlar için φ oranı;

$$\varphi_{kuru} = 1,0347 + 0,0140 \frac{h}{c} + 0,0968 \frac{o}{c} + 0,0493 \frac{n}{c} \quad (5.16)$$

şeklinde bulunur. Burada c, h, o ve n yakıtın içindeki sırasıyla karbon, hidrojen, oksijen ve azot elementlerinin atomik oranını ifade etmektedir. Bu ifade yukarıda belirtilmiş olan o/c oranını sağlayan odun haricindeki katı fosil yakıtların büyük bir bölümü için $\pm 1\%$ sapma ile uygulanabilmektedir.

Oksijen / Karbon oranı $2 > o/c$ aralığında bulunan nem içermeyen katı fosil yakıtlar için ise aşağıdaki ifade yine $\pm 1\%$ sapma ile uygulanabilir;

$$\varphi_{kuru} = \frac{1,044 + 0,016 \frac{h}{c} - 0,3493(1 + 0,0531 \frac{h}{c}) + 0,0493 \frac{n}{c}}{1 - 0,4124 \frac{o}{c}} \quad (5.17)$$

Nem içeren katı fosil yakıtlar söz konusu olduğunda ise kimyasal ekserjiyi hesaplar iken yakıtın net kalorifik değerine içerdiği suyun buharlaşması için gereken enerjiyi eklemek gereklidir. Bunun yanında yukarıdaki hesaplamalarda genelleştirilmiş ifade yapılması ve genellikle bilinmediği sebebiyle yakıt içerisinde bulunan kükürt miktarının etkisi, yakıt içerisinde bulunan diğer elementlerle benzer şekilde düzeltme katsayısı içerisinde ele alınmıştır. Nem ve kükürdün etkisi göz önünde bulundurulur ve ifadelere eklenir ise ekserji Denklem 5.18'de verilmiştir.

$$\varepsilon^0 = [(AID)^0 + wh_{fg}] \phi_{kuru} + [\varepsilon^s - (AID)_s^0] s \quad (5.18)$$

Burada s kükürt'ün yakıt içerisindeki kütle oranını göstermekte, alt indis olarak kullanılan s ise denklemdeki kükürt elementine ait olan değişkenleri ifade etmektedir. Kükürdün ekserji değeri $\varepsilon^s = 18.676$ kJ/kg ve net kalorifik değeri $(AID)_s^0 = 9259$ kJ/kg'dir.

Dolayısıyla bu iki değer farkı $[\varepsilon^s - (AID)_s^0] = 9417$ kJ/kg olur ve yerine koyulduğunda Denklem 5.19 elde edilir.

$$\varepsilon^0 [kJ/kg] = [(AID)^0 [kJ/kg] + wh_{fg}] \phi_{kuru} + 9417 s \quad (5.19)$$

Kükürdün etkisi de dikkate alınarak sıvı yakıtlar için kimyasal ekserji oranı ise $\phi_{SIVI} \pm 0,38$ sapma ile aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır;

$$\phi_{SIVI} = 1,047 + 0,0154 \frac{h}{c} + 0,0562 \frac{O}{c} + 0,5904 \frac{S}{c} (1 - 0,175 \frac{h}{c}) \quad (5.20)$$

Gaz yakıtlar genellikle birden fazla gazın karışımından oluşmaktadır. Buna rağmen yakıt olarak kullanılan gazların büyük kısmının içerdiği gazlar ve karışım oranları görece dar bir aralıkta değişiklik göstermektedir. Bu sayede bir yakıt türü için belirli bir karışım oranında hesaplanmış ϕ_{gaz} değeri, ilgili yakıt türünün tüm karışımlarının hesaplarında yüksek doğrulukta kullanılabilir [17].

Çizelge 5.1'de doğalgaz dahil olmak üzere başlıca gaz karışımları için hesaplanmış ϕ_{gaz} değerleri sunulmaktadır. Eşitlik 5.15'ten

$$\varepsilon^0 = \phi AID^0 \quad (5.21)$$

yazılabilir.

Gaz yakıtların ekserjisini hesaplamak için kullanılacak φ oranı yaygın olarak kullanılan gaz yakıtlar ve bu gaz yakıtlarla karışım halinde bulunan başlıca gazlar için Çizelge 5.1’de verilmiştir.

Çizelge 5.1 : Başlıca gazların φ oranları [17].

Gaz Türü	$\varphi_{gaz} = \frac{\varepsilon^0}{AID^0}$
Doğal gaz	1,040 ± %0,5
Kömür gazı	1,000 ± %1,0
Hidrojen	0,985
Karbon monoksit	0,973
Kükürt	2,017

5.1.3.3. Madde akışı ile ekserji transferi

Kontrol hacminde ekserji dengesi incelenirken, üç tip ekserji geçişi olduğu görülmektedir. Bunlar madde akışı ile iş etkileşimi ile ve ısı etkileşimi ile ekserji geçişleridir. Birden çok giriş ve çıkışın olduğu açık bir sistemde, kontrol hacmine veya kontrol hacminden madde akışı ile enerji ve ekserji geçişi olabilmektedir. Bu durumda ekserji, “akış ekserjisi” ile ifade edilmektedir. Akış ekserjisi akış koşullarına ve incelenecek sisteme göre farklı şekillerde hesaplanabilir.

5.1.3.4. İşin ekserji eşdeğeri

Ekserji, enerjiden elde edilebilecek maksimum iş potansiyeli olarak tanımlandığından tüm proseslerde iş, ekserjiye eşittir.

5.1.3.5. Isı transferinin ekserji eşdeğeri

Çevre ile kontrol hacmi arasındaki bir ısı transferinin ekserji eşdeğeri, çevre sıcaklığı ile sistem sıcaklığı arasında çalışan bir ısı makinasından elde edilebilecek işe eşit olmaktadır. Isı makinasından birim zamanda elde edilebilecek işe bağlı olarak ısı transferinin ekserji eşdeğeri

$$\dot{E}x^Q = \left[1 - \frac{T_0}{T} \right] \dot{Q} \quad (5.22)$$

denklemleri ile ifade edilir. Burada $\dot{Q}$ birim zamandaki ısı geçişini, T sistem sıcaklığını ve T₀ çevre sıcaklığını belirtmektedir.

5.1.4. Ekserji analizi

Ekserji analizi, bu bölümün başında da belirtildiği üzere, sistemdeki gerçek kayıpların nerede ve ne kadar olduklarını belirleyerek mevcut bir sistemdeki iyileştirmelerin yapılması veya yeni yapılacak bir tasarımın geliştirilmesi ve optimizasyonu için kullanışlı bir araçtır. Ekserji analizi ile termal sistemlerin değerlendirilmesi birçok fayda sağlamaktadır, bunlardan bazıları aşağıda sıralanmıştır [24].

- (a). Ekserji verimleri, enerji verimlerinin sağlayamadığı ideal noktaya sistemin ne kadar yaklaşabildiğini ölçebilmekte ve sistemlerin değerlendirilmesinde daha anlamlı mesajlar verebilmektedir. Ayrıca, ekserji kayıpları, sistemin ideallikten sapmasını, yani kusurlarını, yer ve miktar belirterek açıkça tanımlayabilmektedir.
- (b). Farklı ürün veya akışkanların çalıştığı karmaşık sistemlerin analizlerinde, ekserji metodu, farklı karakteristikte olan ürünleri ortak paydada değerlendirmeye ve enerji kalitesinin hesaba katılmasına imkân sağlamaktadır.
- (c). Ekserji yöntemi, termal sistemlerin tasarım ve Ar-Ge faaliyetlerinde sistemlerin uygulanabilirliği, ön tasarımı ve mevcut tasarımların iyileştirilmesi konularında ekserjiye dayalı ekonomik, enerjiye dayalı ekonomik ve çevresel ekonomik uygulamaları ile yol gösterici olabilmektedir.
- (d). Ayrıca ekserji, enerjinin korunumu ve enerji krizleri hakkındaki problemlere daha tatmin edici cevaplar sağlayabilmektedir.

Ekserji analizleri, bir sistemde, sisteme giren ve çıkan ekserjilerin belirlenmesi, sistemde ortaya çıkan tersinmezliklerin ve sistem verimlerinin hesaplanması ile yapılmaktadır. Ekserji çevre şartlarına bağlı bir büyüklük olduğundan hesaplanabilmesi için çevre şartlarının bilinmesi gereklidir.

Ekserji analizlerinde genellikle Çizelge 5.2’de verilen çevre modeli kullanılmaktadır. Fakat analizi yapılacak olan sistemin veya prosesin gerçekleştiği çevrenin basınç ve sıcaklık değerleri biliniyor ise 25°C ve 1 atm değerleri yerine sistem veya prosesin kendi çevresel değerleri kullanılmalıdır. Kullanılan referans çevre için bu çevrenin ekserjisi nümerik olarak sıfır değerine eşit olmaktadır [24].

Çizelge 5.2 : Referans çevre modeli [24].

Parametre	Değer
Sıcaklık (T_0)	25°C
Basınç (P_0)	1 atm
Kompozisyon: T_0 ve P_0 'da atmosferik ve H_2O 'ya doymuş hava	
Hava Bileşenleri	Bileşen Oranı
N_2	0,7729
O_2	0,2075
H_2O	0,0101
Ar	0,0092
CO_2	0,0003

Termik santrallerdeki buhar çevrimlerinin enerji ve ekserji analizlerinde genellikle, seçilen her bir kontrol hacminin hız ve yüksekliği çevresine göre sıfır olarak alınmakta, yani kinetik ve potansiyel enerji değişimleri ihmal edilmektedir. Ayrıca, akışkanın tüm çevrim boyunca herhangi bir kimyasal değişime uğramaması ve çevre ile kontrol hacmi arasında herhangi bir madde değişimi veya kimyasal bir tepkime gerçekleşmemesinden dolayı kimyasal ekserji değişimi de ihmal edilmektedir.

Sonuç olarak toplam ekserji sadece fiziksel ekserjiye eşit olarak alınmakta ve analiz daha da pratikleşmektedir. Aynı şekilde analizde kullanılacak her bir noktanın, toplam ekserji akış hızı da toplam fiziksel ekserji akış hızına eşit olacaktır.

Toplam ekserji akış hızı;

$$\dot{E}x^m = \dot{m}\varepsilon \quad (5.23)$$

olarak ifade edilirse, akan akışkanın özgül ekserjisi Denklem 5.14'teki gibi yerine koyularak kinetik, potansiyel ve kimyasal ekserji terimlerinin yok olması ile

$$\varepsilon = \varepsilon_{fz} = h - h_0 - T_0(s - s_0) \quad (5.24)$$

halini alır ve toplam ekserji akış hızı özgül ekserjinin kütleli debi ile çarpımı ile elde edilir;

$$\dot{E}x^m = \dot{m}[(h - h_0) - T_0(s - s_0)] \quad (5.25)$$

Benzer şekilde ekserji analizlerinde her bir üniteye (ekipmana) giriş çıkış noktasındaki kütle transferiyle toplam enerji akış hızları da

$$\dot{E}^m = \dot{m}(h - h_0) \quad (5.26)$$

şeklinde tanımlanmaktadır. Ayrıca, birden çok giriş ve çıkışı olan bir kontrol hacminde sürekli akışta ekserji dengesi, enerji ve entropi denge denklemleri kullanılarak

$$\sum \dot{E}x^Q - \sum \dot{E}x^W + \sum_g \dot{E}x_g^m - \sum_{\varsigma} \dot{E}x_{\varsigma}^m - \dot{I} = 0 \quad (5.27)$$

olarak yazılabilir. Denklem 5.27’de birim zamandaki toplam ısı transferinin ekserji eşdeğeri

$$\sum \dot{E}x^Q = \sum_i \left[1 - \frac{T_0}{T_i} \right] \dot{Q}_i \quad (5.28)$$

şeklinde ifade edilmektedir. Giren ve çıkan ekserjiler sırasıyla g ve ç indisleriyle, sistem ile çevre arasındaki birim zamandaki iş transferinin ekserji eşdeğeri ve tersinmezlikler sırasıyla $\dot{W}$ ve $\dot{I}$ ile gösterilmiştir. Denklem 5.27’de verilen ekserji dengesi, kontrol hacmine giren ekserjinin gerçek proseslerde kontrol hacminden çıkan ekserjiden daha büyük olduğunu ifade etmekte, bu ikisi arasındaki farkın ise ekserji tahribi, ekserji yıkımı yani tersinmezlik miktarınca olduğunu söylemektedir.

5.1.5. Enerji ve ekserji analizlerinde performans kriterleri

Bir termal sistemin performansı verimi için kullanılmakta olan enerjiye dayalı iki tip performans kriteri mevcuttur; bunlar tesisin toplam enerji dönüşüm oranlarını belirtmekte olan güç çevrimlerinin genel termal verimi ve soğutma çevrimlerinin COP olarak ifade edilen performans katsayısı ve ikinci olarak genellikle ekipman bazında uygulanan, türbinlerde gerçek enerji çıkışı ile ideal enerji çıkışı ve pompalarda ideal enerji girişi ile gerçek enerji girişi arasındaki orandan bulunan izantropik verim veya mekanik verim gibi değerler ile ısı değiştiricileri için gerçek ısı transferinin maksimum muhtemel ısı transferi arasındaki oran ile tanımlanan etkinliktir (*Ing. Effectiveness*).

Bu performans kriterlerinde enerjinin her formu aynı kabul edilmekte ve İkinci Yasa ile ilgili herhangi bir parametre bulunmamaktadır [17].

Ekserji analizindeki gelişmeler bu enerji oranı esaslı verim kriterlerinden daha farklı ve ikinci yasa parametrelerini içeren performans kriterlerini ortaya çıkarmıştır. Ekserji kavramı, yıkımı ve kaybı ile ilişkili ve termodinamiğin ikinci yasası verimi olarak ifade edilen bu kriterler literatürde ekserji esaslı verim veya ekserjiye dayalı verim olarak ifade edilmektedir.

Maksimum ekserji verimine ancak ekserjinin yok olmayacağı tersinir proseslerde ulaşılmaktadır. Bu durumda ekserji esaslı verim de tersinirliğe veya bir başka ifade ile ideallığe yaklaşımı ölçmektedir. Dolayısıyla ekserji esaslı verimler enerji verimlerine göre daha gerçekçi olmaktadır. Örneğin, bir soğutma tesisinin enerji performans katsayısı yani COP değeri 1'den (%100'den) büyük olarak ifade edilebilmekte, fakat ekserji analizinde performans her zaman %0 ila %100 arasında kalmaktadır.

Bir sistemin ekserji verimleri genel olarak Denklem 5.29 ve Denklem 5.30'da ifade edilmiştir.

Sürekli akışlı bir kontrol hacminin sürekli prosesi için kütle, ısı ve iş ile giren ve çıkan toplam ekserjiler ve proses esnasındaki ekserji yıkımı arasındaki denge denklemi Denklem 5.27 yardımıyla

$$\sum \dot{E}x_g = \sum \dot{E}x_\zeta + \dot{I} \quad (5.29)$$

şeklinde yazılabilir. Bu sistem i adet alt bileşenden oluşmakta ise

$$\psi = \frac{\sum \dot{E}x_\zeta}{\sum \dot{E}x_g} = 1 - \frac{\sum \dot{I}_i}{\sum \dot{E}x_g} \quad (5.30)$$

olarak tanımlanan verim ifadesine “ekserji verimi”, “ekserji esaslı verim” veya “ekserjiye dayalı verim” denilmektedir [17].

Ayrıca, i adet alt bileşenden oluşan bir sistemin incelenmesinde bu sistem için ekserji veriminin ikinci formu daha kullanışlı olabilmektedir ve

$$\delta = 1 - \psi = \frac{\sum_i \dot{I}_i}{\sum \dot{E}x_g} \quad (5.31)$$

yazılabilir. Burada $1 - \psi$ farkı, tersinmezlikten dolayı oluşan kaybın toplam ekserji girişine oranı olmakta ve “tersinmezlik nedeniyle verim azalması oranı” olarak tanımlanmaktadır. δ ile gösterilen bu azalma oranı, alt bileşenlerin tersinmezliklerinin sistem için gerekli ekserji girişi hızına bölünmesi ve toplamının alınması ile elde edilmektedir. i 'nci alt bileşen için ekserji verimindeki bu azalma oranı

$$\delta_i = \frac{\dot{I}_i}{\sum \Delta \dot{E}x_g} \quad (5.32)$$

olur. Burada $\sum \Delta \dot{E}x_{g_{giriş}}$ tüm sisteme dışarıdan ekserji girişini yani birim zamandaki toplam tersinir ekserji girişi miktarını belirtmektedir. Buna ek olarak N adet bileşenden oluşan bir sistem için ifade aşağıdaki şekilde yazılarak ekserji dengesi sonuçlarında boyutsuz bir parametre olarak kullanılabilir [17]:

$$1 = \psi + \delta_1 + \delta_2 + \delta_3 + \dots + \delta_N \quad (5.33)$$

Denklem 5.30'da verilen ekserji verimi ifadesi, analizde kullanılacak bazı prosesler için özelleştirilmektedir. Bu ifadeler aşağıdaki başlıklarda kısaca açıklanacaktır.

5.1.5.1. Türbinlerde genişleme prosesi

Türbindeki ideal genişleme prosesinde sabit kalması gereken entropi, gerçek proste tersinmezliklerden dolayı artış göstermekte ve dolayısıyla türbin ideal prosten ayrılmaktadır. Bu ideal prosten ayrılma neticesinde gerçek gücün ideal güce oranı izantropik verim olarak

$$(\eta_{izantropik})_{turb} = \frac{\dot{W}_t}{(\dot{W}_{ter})_{turb}} = \frac{\dot{W}_t}{\sum \dot{E}x_g^m - \sum \dot{E}x_{\zeta}^m} \quad (5.34)$$

şeklinde tanımlanmaktadır.

Adyabatik bir türbinin ekserji verimi ise Denklem 5.30 baz alınarak

$$\psi_{turb} = \frac{\dot{W}_{turb} + \sum \dot{E}x_g^m}{\sum \dot{E}x_g^m} \quad (5.35)$$

olarak ifade edilir.

5.1.5.2. Pompalarda sıkıştırma prosesi

Isı kaybı ihmal edilebilen pompalarda izantropik verim

$$(\eta_{izantropik})_p = \frac{(\dot{W}_{ter})_p}{\dot{W}_p} = \frac{\dot{W}_p + \dot{I}_p}{\dot{W}_p} \quad (5.36)$$

ve ekserji verimi de yine Denklem 5.30 baz alınarak

$$\psi_p = \frac{\sum \dot{E}x_g^m}{|\dot{W}_p| + \sum \dot{E}x_g^m} \quad (5.37)$$

şeklinde tanımlanabilir.

5.1.5.3. Isı değiştiriciler ve yoğuşturucular

Çevreye ısı kaybı ihmal edilebilen ısı değiştiricileri ve yoğuşturucularda ısı değiştirici veya yoğuşturucunun bütünü bir kontrol hacmi olarak seçildiği takdirde herhangi bir iş üretimi olmadığından ekserji verimi

$$\psi_I = \frac{\sum \dot{E}x_g^m}{\sum \dot{E}x_g^m} \quad (5.38)$$

şeklinde tanımlanır.

5.1.5.4. Yanma odasında enerji dönüşümü

Yanma odasına giren yakıttan yanma ile birim zamanda açığa çıkan enerji alt ısıl değerin yakıtın debisi ile çarpımı ile bulunmaktadır.

$$\dot{E}_{yakit} = \dot{m}_{yakit} AID \quad (5.39)$$

5.1.5.5. Gaz türbini

Gaz türbini grubu içerisinde bulunan gaz türbini ve kompresörün ürettikleri net gücü hesaplarken, sistemde iş akışkanı olan gazların entalpi değişimlerinin özgül ısı ile sıcaklık değişimi çarpımlarına eşit olduğu kabulünden yola çıkarak ve yü alt indisi yanma ürünü gazları belirterek.

$$\dot{W}_{GT} = \dot{W}_{GT,turb} - \dot{W}_{GT,komp} = \left[\dot{m}_{GT} \times (c \times \Delta T) \right]_{yü} - \left[\dot{m}_{komp} \times (c \times \Delta T) \right]_{hava} \quad (5.40)$$

eşitliğiyle net güç hesaplanabilir.

5.2. EÜAŞ Ambarlı DGKÇS Enerji ve Ekserji Analizi Hesapları

Ambarlı Doğalgaz Kombine Çevrim Santralinin ana kumanda bilgisayarı üzerinden 16 Ağustos 2011 tarihinde 30°C dış hava sıcaklığında yapılmış olan anlık ölçümlerde santrali oluşturan ekipmanların giriş ve çıkışlarındaki hava, yakıt, yanmış hava yakıt karışımı (baca gazı), su ve buhar akışkanlarının sıcaklık, basınç ve debileri ölçülmüştür. Ayrıca santralin gaz ve buhar türbinlerine bağlı elektrik jeneratörlerinin ürettiği elektrik gücü de eş zamanlı olarak ölçülmüştür. Yapılan ölçümler sonucunda elde edilen veriler doğrultusunda enerji ve ekserji akış hızları hesaplanmıştır.

EÜAŞ Ambarlı DGKÇS kayıtlarından termodinamik ölçümlerin yapıldığı zaman aralığı için anlık brüt elektrik üretimleri; gaz türbini elektrik üreticisi grubu için 127.719 MW ve buhar türbini elektrik üreticisi grubu için 146.062 MW olarak okunmuştur. Hesaplamalarda bir gaz türbini ve bir AIGKK dikkate alındığı için buhar türbini elektrik üreticisi grubun üretiminin yarısı hesaplanarak 73.031 MW olarak dikkate alınmıştır. Bu sayede oluşturulan termodinamik model ile hesaplanan sonuçların ve santralden ölçülen değerlerin karşılaştırılabilmesi mümkün olmuştur.

EK C’de sunulan Şekil C.1’deki numaralandırmaya göre kompresöre giren taze havanın kütleli debisi (1 numaralı boru), yanma odasına giren doğalgazın sıcaklığı (3 numaralı boru) ve yanma odasından çıkan yanmış gazların sıcaklığı (4 numaralı boru) ölçülemediği için hesaplamalarda gaz türbini dizayn değerleri kullanılmıştır. Ayrıca santralde yakılan doğal gazın debisi (3 numaralı boru) anlık olarak ölçülemediği için aylık ortalama doğal gaz tüketiminin gaz türbini jeneratöründe üretilen elektrik enerjisine göre anlık olarak doğru orantılı olduğu kabulü yapılarak doğal gazın anlık debisi hesaplanmıştır. Alçak basınç türbini (ABT) ve yüksek basınç türbini (YBT) giriş

debileri ölçülebilmekte fakat ABT üzerinden alınan iki ayrı ara buharın (29 ve 30 numaralı boruların) debileri ölçülememektedir. Fakat ilgili ekipmanlara giren ve çıkan akışlar için kütlenin ve enerjinin korunumu ilkesine dayanan debi ve enerji dengeleri kurularak bu debileri tahmin etmek mümkün olmuştur. Soğutma suyu debileri (32, 33 ve 34 numaralı boruların) ölçülemediği için enerjinin korunumu ilkesine dayanan enerji dengeleri kurularak bu debileri hesaplamak mümkün olmuştur.

Sızıntı buharı yoğuşturucusundan (29 numaralı kapalı besleme suyu ısıtıcısından) çıkan yoğuşmuş suyun sıcaklığı (37 numaralı boru) ölçülemediği için enerjinin korunumu ilkesine dayanan enerji dengeleri kurularak bu sıcaklık hesaplanmıştır. Ekserji hesabında ortam sıcaklığı (T_0) ve basıncı (P_0) için santralin ölçüm yapılan gündeki dış hava sıcaklığı ve basıncı kullanılmıştır.

7, 8, 9, 10, 11, 12, 13 ve 14 numaraları ile ifade edilen borular AIGKK içindeki boru demetlerinin farklı kademelerini temsil etmekte olup, bu borulardan ölçüm yapılamamaktadır. AIGKK içindeki boru demetleri bütünü oluşturarak her alt kısım ayrı bir ısı değiştirici gibi modellendiği için sıvı su-buhar tarafının sıcaklık ve basınç değerlerinin bilinmesi baca gazı tarafının hesaplanmasına imkân vermiştir. Ayrıca 20 ve 45 numaralı borular iki ısı değiştirici arasındaki geçiş hattını temsil etmektedir ve bu borularda ölçüm yapılamamaktadır.

Diğer taraftan enerji ve ekserji analizi yapılacak kontrol hacmi içerisinde kalan bu boruların sıcaklık ve basınç değerlerinin analiz açısından önemi yoktur. Debi ölçümü yapılmayan fakat debisi ölçülen başka bir veya daha fazla hattın devamı niteliğindeki borular için debiler kütlenin korunumu ilkesine göre hesaplanmıştır.

Çizelge 5.3'te santralden ölçülen kütleli debi, sıcaklık ve basınç değerleri verilmiştir (Aynı debi değerine sahip birbirinin devamı niteliğindeki boru hatları için ölçülen debi değerlerinden sadece biri belirtilmiştir).

Denklem 5.25 ve Denklem 5.26 kullanılarak her bir noktada akışkan akışıyla enerji ve ekserji akış hızları bulunmuştur. Ayrıca, tüm gerekli noktaların termodinamik özelliklerinin belirlenmesi ile çizilebilir duruma gelen termal çevrime ait T-s diyagramı da verilmiştir (Ek D).

Çizelge 5.3 : Borulardan geçen akışkanların ölçülen termodinamik özellikleri.

Boru No	$\dot{m}$ [kg/s]	T [°C]	P [bar]
1	-	30,25	0,984
2	-	351,50	11,395
3	-	-	17,410
4	-	-	11,395
5	-	565,06	1,035
6	-	540,13	1,035
15	60,25	287,82	74,086
16	67,41	289,68	74,086
17	-	289,71	74,586
18	-	289,71	74,086
19	-	289,68	74,086
21 g	-	522,50	70,082
21 ç	-	516,25	67,621
22	17,57	168,62	7,659
23	-	168,63	8,159
24	-	168,63	7,659
25	-	168,62	7,659
26 g	13,93	194,31	7,090
26 ç	-	191,20	6,218
27	-	213,88	6,730
28	-	203,81	6,218
29 g	-	143,11	2,922
29 ç	-	103,31	1,136
30	-	99,33	0,990
31	-	41,98	0,082
32	-	26,69	0,984
33	-	26,69	2,162
34	-	30,13	2,156
35	-	40,83	1,030
36	-	40,88	7,448
37	-	-	0,984
38	-	31,25	0,984
39	73,83	40,83	5,089
40 g	-	100,50	3,136
40 ç	-	100,50	1,136
41	-	103,25	1,136
42	-	103,25	1,136
43	-	103,00	1,136
44 g	-	103,80	81,004
44 ç	-	103,81	80,168
45	-	-	-
46	-	103,25	1,136
47	-	103,00	1,136
48 g	-	103,30	28,609
48 ç	-	103,32	27,689
49	-	164,60	7,659
50	-	125,15	1,034

5.2.1. Doğalgaz debisi hesabı

Santralde anlık doğalgaz debisi ölçülememektedir fakat santralin yıllık raporlarında tüketilen toplam doğalgaz miktarı 1.726.455.184 m³ (sıvı) olarak belirtilmiştir. Santralde bulunan üç ayrı üniteye toplam altı adet gaz türbini bulunduğu için gaz türbini başına doğalgaz debisi ortalama olarak 12,19 kg/s olarak hesaplanmıştır.

Bu hesaplanan değer anlık ortalama doğalgaz debisini ifade etmemektedir. Ölçüm yapılan 30°C dış hava sıcaklığındaki anlık debiyi hesaplamak için üretilen gücün tüketilen yakıtla doğru orantılı olduğu kabulü yapılmıştır. Yıllık ortalama gaz türbini güç üretiminin farklı dış hava sıcaklıklarında ölçülen güç üretimine göre oranlanması ile anlık doğal gaz debisi 30°C için 11,45 kg/s olarak hesaplanmıştır.

5.2.2. Doğalgaz termodinamik özellikleri hesabı

Santralde kullanılan doğal gaz karışımı için içeriğinde bulunan gazların termodinamik özellikleri ve karışım oranından yola çıkılarak doğal gaz karışımına ait termodinamik özellikler hesaplanmıştır [25].

Doğal gazın ekserji hesabı için ise alt ısı değerine bağlı Denklem 5.21'den yararlanılmıştır [17].

Santralde kullanılan doğal gazın ekserji hesabı; $\varphi_{dg}=1,04$ katsayısı (Çizelge 5.1'den yola çıkılarak hesaplanan alt ısı değeri Denklem 5.21'de yerlerine yazılarak

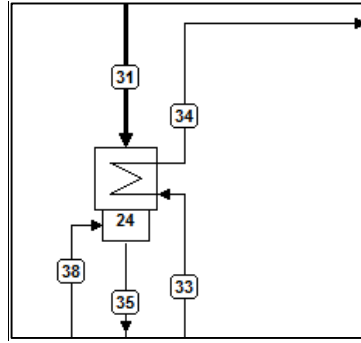
$$\varepsilon_{dog.gaz}^0 = \varphi_{dog.gaz} AID_{dog.gaz}^0 \quad (5.41)$$

bağıntısıyla hesaplanmıştır.

5.2.3. Yoğuşturucu

AB buhar türbininde genişleyen buhar 31 numaralı boru ile yoğuşturucuya ulaşmakta ve burada yoğuşmakta ve 38 numaralı boru ile sızıntı buharı olarak sistemden çıkmış buharın yerine sızıntı buharının yoğuşuktan sonra döküldüğü drenaj tankından sisteme eklenen suyla karışarak 35 numaralı boru ile ana yoğuşmuş su pompasına iletilir. Yoğuşma için gerekli olan ısıyı alma işlemi; 33 numaralı boru ile yoğuşturucuya giren ve ısı alarak 34 numaralı boru ile denize geri gönderilen soğutma suyu tarafından gerçekleştirilmektedir. Yoğuşturucuyla ilgili borulardaki akışkanlara ait

enerji ve ekserji analizi hesapları Şekil 5.3 ve Denklem 5.42a - 5.46 yardımıyla yapılina bilir.



Şekil 5.3 : Yoğuşturucu kontrol hacmi.

$$\dot{Q} - \dot{W} + \sum \dot{E}_g^m - \sum \dot{E}_\zeta^m = \Delta \dot{E}_{kh} \quad (5.42a)$$

$$\dot{Q} = \dot{W} = \Delta \dot{E}_{kh} = 0 \quad (5.42b)$$

olduğundan

$$\sum \dot{E}_g^m = \sum \dot{E}_\zeta^m \quad (5.42c)$$

denkleminde soğutma suyu debisi aşağıdaki eşitliğin çözümü ile hesaplanmıştır.

$$(\dot{m}_{ss} h_{33}) + (\dot{m}_{38} h_{38}) + (\dot{m}_{31} h_{31}) = (\dot{m}_{35} h_{35}) + (\dot{m}_{ss} h_{34}) \quad (5.42d)$$

eşitliğinin çözümüyle hesaplanmıştır.

Yoğuşturucudan atılan ısı miktarı soğutma suyunun kazandığı enerji miktarına eşit olmaktadır ve

$$\dot{Q}_{yog} = \dot{E}_{33} - \dot{E}_{34} \quad (5.43)$$

olarak hesaplanır. Aynı varsayımlar altında ve sayısal alt indis ile boru üzerindeki konumu belirtilmiş noktadaki kütle akışıyla olan toplam ekserji ($\dot{E}x^m$) terimlerinde literatürle uyumlu olmak ve sadeleştirmek amacıyla m üst indisleri yazılmadan Denklem 5.27 ile ifade edilen ekserji dengesi uygulandığında tersinmezlik

$$\dot{I}_{yog} = \dot{E}x_{31} + \dot{E}x_{33} + \dot{E}x_{38} - \dot{E}x_{34} + \dot{E}x_{35} \quad (5.44)$$

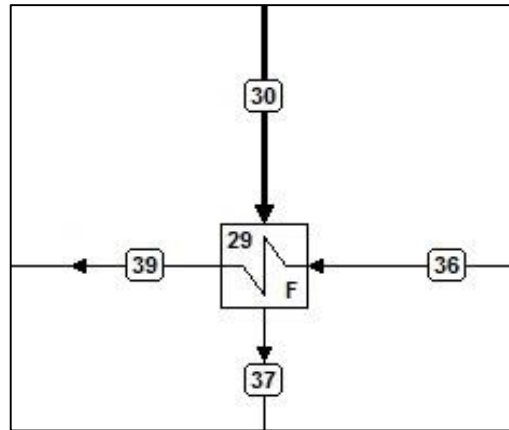
olarak bulunur. Yoğuşturucunun ekserji verimi ise Denklem 5.30 temel alınarak

$$\psi_{yog} = \frac{\sum \dot{E}x_{\zeta}^m}{\sum \dot{E}x_g^m} = \frac{\dot{E}x_{34} + \dot{E}x_{35}}{\dot{E}x_{31} + \dot{E}x_{33} + \dot{E}x_{38}} \quad (5.45)$$

bağıntısıyla hesaplanabilir.

5.2.4. Sızıntı buharı yoğuşturucusu

30 numaralı boru ile YBT ve ABT'den muhafazaya sızan sızıntı buharı Şekil 5.4'de gösterilen sızıntı buharı yoğuşturucusuna iletilerek burada yoğuşturulmakta ve yoğuşmuş su dönüş hattında geçen suyun ısıtılması sağlanmaktadır, çıkışta ise 37 numaralı boru ile drenaj tankına yoğuşmuş su olarak gitmektedir. 36 numaralı boru ile ana yoğuşmuş su pompasından gelen basınçlı su 30 numaralı boru ile gelen sızıntı buharının yoğuşturulması için ısı çekmektedir.



Şekil 5.4 : Sızıntı buharı yoğuşturucusu kontrol hacmi.

Sızıntı buharı yoğuşturucusundan çıkışta 39 numaralı boru ile besleme suyu ön ısıtıcısına gönderilmektedir. 37 numaralı hattın basıncı bilinmektedir, fakat sıcaklığı ölçülemediği sırasında enerji dengesi denklemi ile hesaplanmıştır.

Enerji dengesi

$$\dot{Q}_{yog.su} = \dot{Q}_{buhar} \quad (5.46a)$$

$$\dot{m}_{39} h_{39} - \dot{m}_{36} h_{36} = \dot{m}_{30} h_{30} - \dot{m}_{37} h_{37} \quad (5.46b)$$

şeklinde yazılmıştır.

Sızıntı buharı yoğuşturucusunda ana yoğuşmuş su hattına aktarılan enerji miktarı ise

$$\dot{Q}_{siz.buh.yog.} = \dot{E}_{39} - \dot{E}_{36} \quad (5.47)$$

şeklinde bulunur.

Sızıntı buharı yoğuşturucusu kontrol hacminde Denklem 5.27 'ile ifade edilen ekserji dengesi uygulanarak ısı geçişinden dolayı birim zamanda oluşan tersinmezlik miktarı ise;

$$\dot{E}x_{30} + \dot{E}x_{36} = \dot{E}x_{37} + \dot{E}x_{39} + \dot{I}_{siz.buh.yog.} \quad (5.48a)$$

$$\dot{I}_{siz.buh.yog.} = \dot{E}x_{30} + \dot{E}x_{36} - \dot{E}x_{37} + \dot{E}x_{39} \quad (5.48b)$$

olarak hesaplanır.

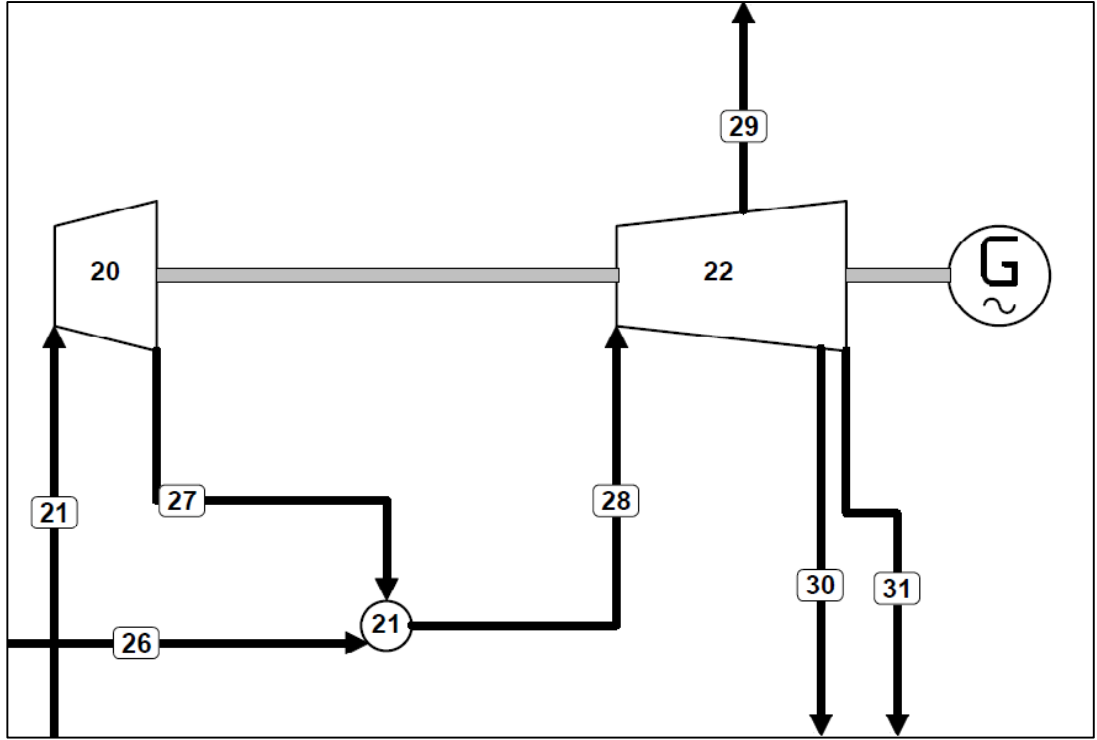
Sızıntı buharı yoğuşturucusunda toplam ekserji verimi ise Denklem 5.30 temel alınarak

$$\Psi_{siz.buh.yog.} = \frac{\sum \dot{E}x_{\zeta}^m}{\sum \dot{E}x_g^m} = \frac{\dot{E}x_{37} + \dot{E}x_{39}}{\dot{E}x_{30} + \dot{E}x_{36}} \quad (5.49)$$

olarak hesaplanır.

5.2.5. Buhar türbinleri

Atık ısı geri kazanım kazanında üretilen yüksek basınçlı buhar Şekil 5.5'te görüldüğü gibi 21 numaralı boru ile yüksek basınç türbinine iletilmektedir. Yüksek basınç türbininde (YBT) genişleyerek iş yapan buhar böylece şafta güç aktarmaktadır 27 numaralı boru ile YBT'den çıkan buhar, 26 numaralı boru AIGKK'dan gelen alçak basınç buhar hattı ile 21 numaralı karıştırıcıda birleşerek 28 numaralı boru ile alçak basınç türbinine (ABT) iletilmektedir.

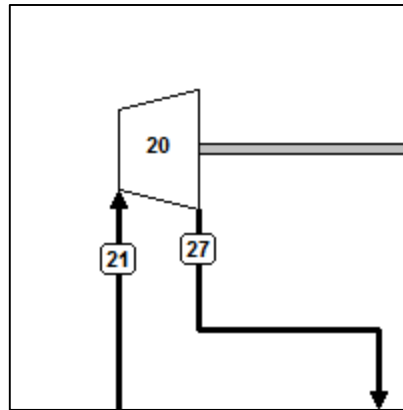


Şekil 5.5 : Buhar türbinleri.

ABT’de genişleyen buhar 29 numaralı boru ile besleme suyu tankına ve 30 numaralı boru ile de sızıntı buharı yoğuşturucusuna iletilir. Genişleyerek iş yapan buhar ABT’den çıkarak 31 numaralı boru ile yoğuşturucuya iletilir. Bu buhar akışlarına ilişkin yapılan ölçümler ve hesaplanan değerler aşağıdaki gibidir.

5.2.5.1. Yüksek basınç buhar türbini (YBT)

Atık ısı geri kazanım kazanında üretilen kızgın su buharı ilk olarak yüksek basınç türbininde mekanik iş yapmaktadır. Üretilen mekanik enerji Şekil 5.6’da görülen ve aynı zamanda alçak basınç türbinine de bağlı olan şaft üzerinden jeneratöre aktarılmaktadır.



Şekil 5.6 : Yüksek basınç buhar türbini kontrol hacmi.

Yüksek basınç türbini kontrol hacmine, adyabatik kabulü ile Denklem 5.5'teki enerji dengesi uygulandığında, yüksek basınç türbininden elde edilen iş

$$\dot{W}_{YBT} = \dot{E}_{21} - \dot{E}_{27} \quad (5.50)$$

bağıntısıyla hesaplanır.

Aynı koşullarda Denklem 5.27'de verilen ekserji dengesi uygulanarak YBT'deki tersinmezlik

$$\dot{I}_{YBT} = \dot{E}x_{21} - \dot{E}x_{27} - \dot{W}_{YBT} \quad (5.51)$$

şeklinde bulunur. Yüksek basınç türbininin izantropik verimi

$$\eta_{izantropik,YBT} = \frac{\dot{W}_{YBT}}{\sum \dot{E}x_g^m - \sum \dot{E}x_c^m} = \frac{\dot{W}_{YBT}}{\dot{E}x_{21} - \dot{E}x_{27}} \quad (5.52)$$

denklemiyle hesaplanır.

Yüksek basınç türbininin ekserji verimi ise Denklem 5.30 yardımıyla

$$\psi_{YBT} = \frac{\dot{W}_{YBT} + \sum \dot{E}x_c^m}{\sum \dot{E}x_g^m} = \frac{\dot{W}_{YBT} + \dot{E}x_{27}}{\dot{E}x_{21}} \quad (5.53)$$

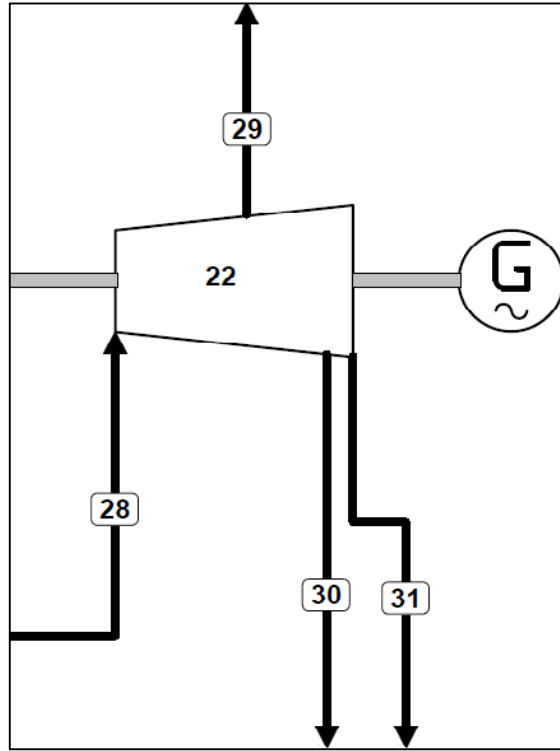
bağıntısıyla hesaplanır.

5.2.5.2. Alçak basınç buhar türbini (ABT)

Yüksek basınç türbininde iş yaptıktan sonra buhar düşük basınçta dolayısıyla daha yüksek özgül hacimde olur. Bu koşullardaki buharın iş yapma potansiyeli halen devam etmekte fakat buharın özgül hacminin yüksek olması sebebiyle daha büyük çapta türbin kanatlarına ihtiyaç duyulmaktadır. Burada alçak basınç türbini kullanılmaktadır.

Alçak basınç türbininden kazan besleme suyunun gazsızlaştırma ünitesinde ısıtılması ve istenmeyen gazlardan arındırılması işlemlerinde kullanmak için 29 numaralı boru ile ara buhar alınmaktadır. Ayrıca türbinin atmosfer basıncından da alçak basınçlarda çalışması sebebiyle türbine dışarıdan hava girmesi riski veya yüksek özgül hacimli buharın dışarı çıkması ihtimalleri yüksektir. Bu sebeple, ABT'den çekilen sızdırmazlık buharları sızdırmazlığı sürekli olarak sağlamaktadır. Sızdırmazlık buharı türbin

yataklarından sonra sızdırmazlık buharı yoğuşturucusuna gitmekte ve burada yoğuşmaktadır (Şekil 5.7).



Şekil 5.7 : Alçak basınç buhar türbini kontrol hacmi.

Alçak basınç türbini kontrol hacmine, türbinin adyabatik olduğu varsayımı ile Denklem 5.5'te verilen enerji dengesi uygulandığında, türbinden elde edilen iş

$$\dot{W}_{ABT} = \dot{E}_{28} - \dot{E}_{29} - \dot{E}_{30} - \dot{E}_{31} \quad (5.54)$$

eşitliğiyle elde edilir.

Aynı koşullarda Denklem 5.27'de verilen ekserji dengesi uygulanarak ABT'deki tersinmezlik

$$I_{ABT} = \dot{E}x_{28} - \dot{E}x_{29} - \dot{E}x_{30} - \dot{E}x_{31} - \dot{W}_{ABT} \quad (5.55)$$

bağıntısıyla bulunur.

Alçak basınç türbinin izantropik verimi

$$\eta_{izantropik,ABT} = \frac{\dot{W}_{ABT}}{\sum \dot{E}x_g^m - \sum \dot{E}x_c^m} = \frac{\dot{W}_{ABT}}{\dot{E}x_{28} - \dot{E}x_{29} - \dot{E}x_{30} - \dot{E}x_{31}} \quad (5.56)$$

Alçak basınç türbininin ekserji verimi ise Denklem 5.30 temel alınarak

$$\psi_{ABT} = \frac{\dot{W}_{ABT} + \sum \dot{E}x_g^m}{\sum \dot{E}x_g^m} = \frac{\dot{W}_{ABT} + \dot{E}x_{29} + \dot{E}x_{30} + \dot{E}x_{31}}{\dot{E}x_{28}} \quad (5.57)$$

olarak bulunur.

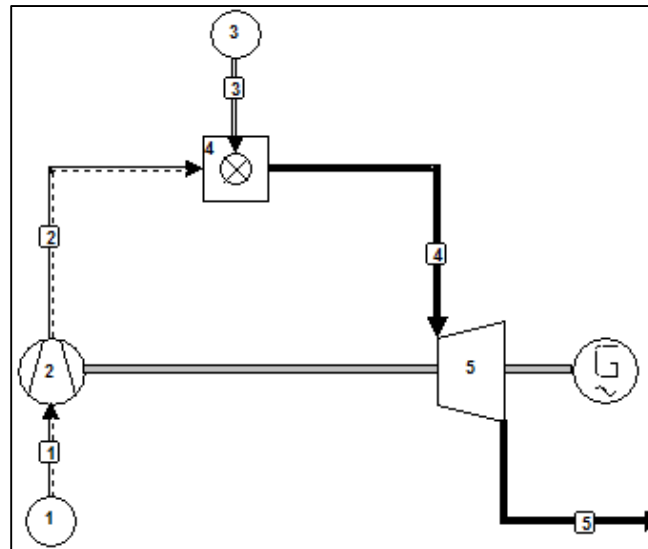
Böylelikle alçak ve yüksek basınçlı buhar türbinlerinin toplam mekanik gücü hesaplanmıştır. Türbinlerin jeneratör çıkışındaki elektrik gücü, jeneratör kayıpları dikkate alındığında;

$$\dot{W}_{elk} = \dot{W}_{mek} \eta_{jen} \quad (5.58)$$

şeklinde bulunur. Bu güç santralin iç tüketimlerini içermediğinden “jeneratör çıkışındaki brüt elektrik gücü” olarak tanımlanmaktadır.

5.2.6. Gaz türbini

1 numaralı boru ile dışarıdan alınan atmosferik hava kompresörde sıkıştırılarak 2 numaralı boru ile yanma odasına iletilmekte ve burada 3 numaralı boru ile ana doğalgaz şebekesinden iletilen doğalgaz ile karışarak yanmaktadır. Yanma sonucu açığa çıkan sıcak ve basınçlı gazlar 5 numaralı gaz türbininde genişlemekte ve çıkışta 5 numaralı boru ile AIGKK'ya iletilmektedir. Gaz türbini tarafından üretilen güç aynı zamanda kompresör ve jeneratöründe bağlı olduğu şafta aktarılmaktadır, bu durumda üretilen net güç aşağıdaki gibi hesaplanır (Şekil 5.8).



Şekil 5.8 : Gaz türbini kontrol hacmi.

Gaz türbini yanma odasının enerji ve ekserji değerlendirmesi yapılırken, doğalgazın (yakıt) kontrol hacmine girmesi ile sisteme giren yakıt enerjisi; doğal gaz debisi (kg/s) ile doğalgazın alt ısı değeri (kJ/kg) Denklem 5.38'e göre çarpılmasıyla

$$\dot{E}_{yakit} = \dot{m}_3 AID \quad (5.59)$$

şeklinde hesaplanır [18].

Hava ve yanma gazlarına ait özgül ısılar karışım oranlarına, sıcaklıklarına ve basınçlarına göre hesaplanmaktadır. Bu özgül ısılar kullanılarak gaz türbini grubunda üretilen net güç Denklem 5.40'a göre

$$\dot{W}_{GT} = \dot{W}_{GT,turb} - \dot{W}_{GT,komp} = [\dot{m}_4(c_4(T_4 - T_5))] - [\dot{m}_1(c_1(T_2 - T_1))] \quad (5.60)$$

ile hesaplanır.

Gaz türbininde kinetik ve potansiyel enerji değişimleri ihmal edilebilir ve adyabatik yani yüzeylerinden çevreye herhangi bir ısı transferinin olmadığı kabul edilmektedir. Bu koşullarda kontrol hacminin enerji dengesinden

$$\dot{E}_{yakit} + \dot{E}_1 = \dot{W}_{GT} + \dot{E}_5 \quad (5.61)$$

yazılabilir.

Aynı koşullarda, ekserji denge denklemi, Denklem 5.27 kullanılarak

$$I_{GT} = \dot{E}x_5 + \dot{W}_{GT} - \dot{E}x_1 - \dot{E}x_{yakit} \quad (5.62)$$

olarak yazılabilir.

Gaz türbini izantropik verimi ise Denklem 5.30 temel alınarak

$$\eta_{izantropik,GT} = \frac{\dot{W}_{GT}}{\sum \dot{E}x_g^m - \sum \dot{E}x_c^m} = \frac{\dot{W}_{GT}}{\dot{E}x_1 + \dot{E}x_3 - \dot{E}x_5} \quad (5.63)$$

şeklinde, ekserji verimi ise Denklem 5.30 temel alınarak

$$\psi_{GT} = \frac{\dot{W}_{GT} + \sum \dot{E}x_{\zeta}^m}{\sum \dot{E}x_g^m} = \frac{\dot{W}_{GT} + \dot{E}x_5}{\dot{E}x_1 + \dot{E}x_3} \quad (5.64)$$

olarak yazılabilir.

Böylelikle gaz türbini net mekanik gücü hesaplanmıştır. Türbinlerin jeneratör çıkışındaki elektrik gücü, jeneratör kayıpları dikkate alındığında

$$\dot{W}_{elk} = \dot{W}_{mek} \eta_{jen.} \quad (5.65)$$

şeklinde bulunur. Bu güç santralin iç tüketimlerini içermediğinden “jeneratör çıkışındaki brüt elektrik gücü” olarak tanımlanmaktadır.

5.2.7. Atık ısı geri kazanım kazanı (AIGKK)

Gaz türbininden çıktıktan sonra baca gazları 6 numaralı boru ile AIGKK’na girmektedir AIGKK içerisinde bulunan boru demetlerine ısı verdikten sonra 50 numaralı baca borusu ile atmosfere atılmaktadır. 6 ile 50 arasındaki baca gazlarının kademelerini temsil eden borulara ait sıcaklık ve basınç değerleri ölçülememektedir. Fakat AIGKK boyunca bu kademelerde bulunan ısı değiştiricilerin içerisinde geçen sıvı su ve buhara ait sıcaklık, basınç ve debi değerleri bilindiği için termodinamik hesaplamalar yapılabilmektedir.

EK C’de sunulan Şekil C.1’deki AIGKK kontrol hacmine ana yoğuşmuş su hattından 39 numaralı boru ile gelen su, ön ısıtıcıda ısıtılarak 40 numaralı boru ile besleme suyu tankına iletilmektedir. 44 ve 48 numaralı borular ile gelen AB ve YB besleme suları boru demetlerinde ısıtıldıktan sonra kazanın kubbeleri ile buharlaştırıcı boru demetleri arasında devridaim pompaları ile iletilerek buharlaştırılmakta sonra kızdırıcı boru demetlerinde kızdırılarak 21 ve 26 numaralı borular ile kızgın buhar olarak AIGKK’dan ayrılarak buhar türbinlerine gönderilmektedir.

AIGKK’da aktarılan ısı enerjisi;

$$\dot{Q}_{AIGKK,on} = \dot{E}_{40} - \dot{E}_{39} \quad (5.66a)$$

$$\dot{Q}_{AIGKK,AB} = \dot{E}_{26} - \dot{E}_{48} \quad (5.66b)$$

$$\dot{Q}_{AIGKK,YB} = \dot{E}_{21} - \dot{E}_{44} \quad (5.66c)$$

$$\dot{Q}_{AIGKK} = \dot{Q}_{AIGKK,on} + \dot{Q}_{AIGKK,AB} + \dot{Q}_{AIGKK,YB} \quad (5.67)$$

şeklinde hesaplanmıştır.

Birinci yasa verimi (ısı geçiş etkinliği)

$$\eta_{AIGKK} = \frac{\sum \dot{E}_{iletlen}}{|\dot{W}_{P,17} + \dot{W}_{P,19}| + \sum \dot{E}_g^m} = \frac{\dot{Q}_{AIGKK}}{|\dot{W}_{P,17} + \dot{W}_{P,19}| + \dot{E}_6} \quad (5.68)$$

ve ekserji denge denklemi Denklem 5.27 kullanılarak birim zamandaki tersinmezlik

$$\dot{I}_{AIGKK} = \dot{E}x_6 + \dot{E}x_{39} + \dot{E}x_{44} + \dot{E}x_{48} - \dot{E}x_{50} - \dot{E}x_{40} - \dot{E}x_{21} - \dot{E}x_{26} - \dot{W}_{P,17} - \dot{W}_{P,19} \quad (5.69)$$

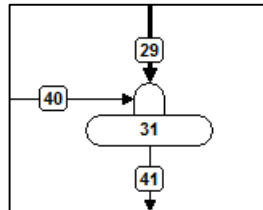
bağlantılarıyla hesaplanır. AIGKK'daki toplam ekserji verimi ise Denklem 5.30 temel alınarak

$$\Psi_{AIGKK} = \frac{\sum \dot{E}x_\zeta^m}{|\dot{W}_{P,17} + \dot{W}_{P,19}| + \sum \dot{E}x_g^m} = \frac{\dot{E}x_{50} + \dot{E}x_{40} + \dot{E}x_{21} + \dot{E}x_{26}}{|\dot{W}_{P,17} + \dot{W}_{P,19}| + \dot{E}x_6 + \dot{E}x_{39} + \dot{E}x_{44} + \dot{E}x_{48}} \quad (5.70)$$

ile hesaplanmıştır.

5.2.8. Besleme suyu tankı - Gazsızlaştırma ünitesi (Gaz alıcı):

29 numaralı boru ile ABT den ara buhar alınarak besleme suyu tankına ısıtma buharı olarak iletilmektedir. 41 numaralı boru besleme suyu tankından çıkarak ikiye ayrılarak alçak basınç ve yüksek basınç besleme suyu olarak AIGKK'ya gönderilmektedir. 40 numaralı boru ise yoğuşmuş su geri dönüşünün AIGKK çıkışındaki sıcak baca gazı yardımıyla bir yoğuşmuş su ön ısıtıcısı ile ısıtıldıktan sona besleme suyu tankına bağlanmaktadır (Şekil 5.9).



Şekil 5.9 : Besleme suyu tankı - Gazsızlaştırma ünitesi (Gaz alıcı) kontrol hacmi.

Denklem 5.5'te verilen enerji dengesi besleme suyu tankı kontrol hacmine tank adyabatik varsayılarak uygulandığında, enerji dengesi

$$\dot{E}_{29} + \dot{E}_{40} = \dot{E}_{41} \quad (5.71a)$$

olarak yazılabilir.

Besleme suyu tankında akışkana aktarılan enerji miktarı ise

$$\dot{Q}_{gazsiz} = \dot{E}_{41} - \dot{E}_{40} = \dot{E}_{29} \quad (5.71b)$$

ile hesaplanabilir.

Kontrol hacmine, Denklem 5.27 ile ifade edilen ekserji dengesi uygulanarak ısı geçişinden dolayı oluşan tersinmezlik miktarı ise

$$\dot{I}_{gazsiz} = \dot{E}x_{29} + \dot{E}x_{40} - \dot{E}x_{41} \quad (5.72)$$

olarak bulunur. Besleme suyu tankı ekserji verimi ise Denklem 5.30 temel alınarak

$$\psi_{gazsiz} = \frac{\sum \dot{E}x_{\zeta}^m}{\sum \dot{E}x_g^m} = \frac{\dot{E}x_{41}}{\dot{E}x_{29} + \dot{E}x_{40}} \quad (5.73)$$

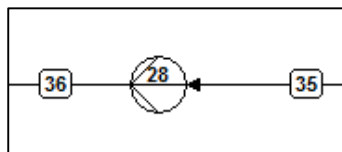
olarak bulunur.

5.2.9. Pompa güçleri

28, 34 ve 36 numaralı pompaların enerji ve ekserji analizi bağıntıları sırasıyla alt başlıklar halinde bu bölümde oluşturulmuştur.

5.2.9.1. Ana yoğuşmuş su pompası

Şekil 5.10'de gösterilen 28 numaralı ana yoğuşmuş su pompası ile yoğuşturucudan 35 numaralı boru ile gelen yoğuşmuş su basınçlandırılarak 36 numaralı boru ile sızıntı buharı yoğuşturucusuna iletilir.



Şekil 5.10 : Ana yoğuşmuş su pompası kontrol hacmi.

Denklem 5.5'te verilen enerji dengesi, adyabatik olduğu varsayılan ana yoğuşmuş su pompasına uygulandığında

$$\dot{W}_{P,28} = \dot{E}_{35} - E_{36} \quad (5.74)$$

elde edilir.

Denklem 5.27 ile ifade edilen ekserji dengesi uygulandığında ise birim zamandaki tersinmezlik

$$\dot{I}_{P,28} = \dot{E}x_{35} - \dot{E}x_{36} - \dot{W}_{P,28} \quad (5.75)$$

bağıntısıyla, pompanın tersinir gücü

$$(\dot{W}_{tersinir})_{P,28} = \dot{I}_{P,28} - |\dot{W}_{P,28}| \quad (5.76)$$

bağıntısıyla hesaplanır ve pompa izantropik verimi

$$\eta_{izantropik,P,28} = \frac{(\dot{W}_{tersinir})_{P,28}}{\dot{W}_{P,28}} \quad (5.77)$$

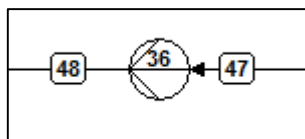
ana yoğuşmuş su pompasının ekserji verimi ise Denklem 5.30 temel alınarak

$$\psi_{P,28} = \frac{\sum \dot{E}x_{\zeta}^m}{|\dot{W}_{P,28}| + \sum \dot{E}x_g^m} = \frac{\dot{E}x_{36}}{|\dot{W}_{P,28}| + \dot{E}x_{35}} \quad (5.78)$$

bağıntılarıyla bulunur.

5.2.9.2. AB besleme suyu pompası

Besleme suyu tankından Şekil 5.11 ile gösterilmiş olan 47 numaralı boru ile gelen suyu basınçlandırarak 48 numaralı boru ile AIGKK'ya iletilmesini sağlayan 36 numaralı pompadır.



Şekil 5.11 : AB besleme suyu pompası kontrol hacmi.

Denklem 5.5'te verilen enerji dengesi adyabatik olduğu varsayılan AB besleme suyu pompasına uygulandığında

$$\dot{W}_{P,36} = \dot{E}_{47} - E_{48} \quad (5.79)$$

bağıntısıyla pompa gücü ve Denklem 5.27 ile ifade edilen ekserji dengesi uygulandığında pompada birim zamandaki tersinmezlik

$$\dot{I}_{P,36} = \dot{E}x_{47} - \dot{E}x_{48} - \dot{W}_{P,36} \quad (5.80)$$

bağıntısı bulunur. Pompanın izantropik verimini hesaplamak için pompanın sistem üzerindeki tersinir gücü

$$(\dot{W}_{ter})_{P,36} = \dot{I}_{P,36} - |\dot{W}_{P,36}| \quad (5.81)$$

bağıntısıyla hesaplanır ve pompa izantropik verimi

$$\eta_{izantropik} = \frac{(\dot{W}_{ter})_{P,36}}{\dot{W}_{P,36}} \quad (5.82)$$

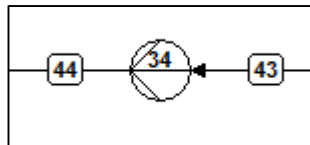
ve AB besleme suyu pompasının ekserji verimi ise Denklem 5.30 temel alınarak

$$\psi_{P,36} = \frac{\sum \dot{E}x_{\zeta}^m}{|\dot{W}_{P,36}| + \sum \dot{E}x_g^m} = \frac{\dot{E}x_{48}}{|\dot{W}_{P,36}| + \dot{E}x_{47}} \quad (5.83)$$

bağıntısıyla hesaplanır.

5.2.9.3. YB besleme suyu pompası

Besleme suyu tankından Şekil 5.12 ile gösterilmiş olan 43 numaralı boru ile gelen suyu basınçlandırarak 44 numaralı boru ile AIGKK'na iletilmesini sağlayan 34 numaralı pompadır.



Şekil 5.12 : YB besleme suyu pompası kontrol hacmi.

Denklem 5.5'te verilen enerji dengesi adyabatik olduğu varsayılan YB besleme suyu pompasına uygulandığında pompa gücü

$$\dot{W}_{P,34} = \dot{E}_{43} - E_{44} \quad (5.84)$$

ve Denklem 5.27 ile ifade edilen ekserji dengesi uygulandığında birim zamandaki tersinmezlik

$$\dot{I}_{P,34} = \dot{E}x_{43} - \dot{E}x_{44} - \dot{W}_{P,34} \quad (5.85)$$

olarak bulunur. Pompanın tersinir gücü

$$(\dot{W}_{ter})_{P,34} = \dot{I}_{P,34} - |\dot{W}_{P,34}| \quad (5.86)$$

bağıntısıyla ve pompa izantropik verimi

$$\eta_{izantropik,P,34} = \frac{(\dot{W}_{ter})_{P,34}}{\dot{W}_{P,34}} \quad (5.87)$$

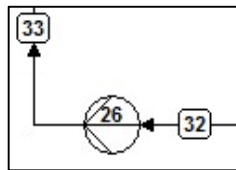
bağıntısıyla ve YB besleme suyu pompasının ekserji verimi ise Denklem 5.30 temel alınarak

$$\psi_{P,34} = \frac{\sum \dot{E}x_{\zeta}}{|\dot{W}_{P,34}| + \sum \dot{E}x_g} = \frac{\dot{E}x_{44}}{|\dot{W}_{P,34}| + \dot{E}x_{43}} \quad (5.88)$$

bağıntısıyla hesaplanır.

5.2.9.4. Deniz suyu pompası

Şekil 5.13 ile gösterilmiş olan 32 numaralı boru ile denizden aldığı soğutma suyunu basınçlandırarak 33 numaralı boru ile yoğuşturucuya iletilmesini sağlayan 26 numaralı pompadır.



Şekil 5.13 : Deniz suyu pompası kontrol hacmi.

Denklem 5.5'te verilen enerji dengesi adyabatik olduğu varsayılan deniz suyu pompasına uygulandığında pompa gücü

$$\dot{W}_{P,26} = \dot{E}_{32} - E_{33} \quad (5.89)$$

eşitliğiyle, Denklem 5.27 'ile ifade edilen ekserji dengesi uygulandığında birim zamandaki tersinmezlik

$$\dot{I}_{P,26} = \dot{E}x_{32} - \dot{E}x_{33} - \dot{W}_{P,26} \quad (5.90)$$

bağıntısıyla, pompanın tersinir gücü

$$(\dot{W}_{ter})_{P,26} = \dot{I}_{P,26} - |\dot{W}_{P,26}| \quad (5.91)$$

bağıntısıyla ve pompa izantropik verimi ise

$$\eta_{izantropik,P,26} = \frac{(\dot{W}_{ter})_{P,26}}{\dot{W}_{P,26}} \quad (5.92)$$

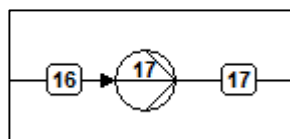
bağıntısıyla bulunur. Deniz suyu pompasının ekserji verimi ise Denklem 5.30 temel alınarak

$$\psi_{P,26} = \frac{\sum \dot{E}x_{\zeta}^m}{|\dot{W}_{P,26}| + \sum \dot{E}x_g^m} = \frac{\dot{E}x_{33}}{|\dot{W}_{P,26}| + \dot{E}x_{32}} \quad (5.93)$$

bağıntısıyla bulunur.

5.2.9.5. YB buharlaştırıcı devridaim pompası

Buharlaştırıcı devridaim pompası AIGKK içerisinde yüksek basınç kubbesinden Şekil 5.14'te gösterilmiş olan 16 numaralı boru ile gelen suyun 17 numaralı boru ile buharlaştırıcıya iletilmesini ve oradan da kubbeye dönmesini sağlayan 17 numaralı pompadır.



Şekil 5.14 : YB buharlaştırıcı devridaim pompası kontrol hacmi.

Denklem 5.5'te verilen enerji dengesi adyabatik olduğu varsayılan YB buharlaştırıcı devridaim pompasına uygulandığında pompa gücü

$$\dot{W}_{P,17} = \dot{E}_{16} - E_{17} \quad (5.94)$$

bağıntısıyla, Denklem 5.27'de ifade edilen ekserji dengesi uygulandığında pompada birim zamandaki tersinmezlik;

$$\dot{I}_{P,17} = \dot{E}x_{16} - \dot{E}x_{17} - \dot{W}_{P,17} \quad (5.95)$$

bağıntısıyla, pompanın tersinir gücü

$$(\dot{W}_{ter})_{P,17} = \dot{I}_{P,17} - |\dot{W}_{P,17}| \quad (5.96)$$

bağıntısıyla ve pompa izantropik verimi

$$\eta_{izantropik,P,17} = \frac{(\dot{W}_{ter})_{P,17}}{\dot{W}_{P,17}} \quad (5.97)$$

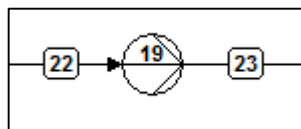
bağıntısıyla bulunur. YB buharlaştırıcı devridaim pompasının ekserji verimi ise Denklem 5.30 temel alınarak

$$\psi_{P,17} = \frac{\sum \dot{E}x_c^m}{|\dot{W}_{P,17}| + \sum \dot{E}x_g^m} = \frac{\dot{E}x_{17}}{|\dot{W}_{P,17}| + \dot{E}x_{16}} \quad (5.98)$$

eşitliğiyle bulunur.

5.2.9.6. AB buharlaştırıcı devridaim pompası

Buharlaştırıcı devridaim pompası AIGKK içerisinde alçak basınç kubbesinden Şekil 5.15'te gösterilmiş olan 22 numaralı boru ile gelen suyun 23 numaralı boru ile buharlaştırıcıya iletilmesini ve oradan da kubbeye dönmesini sağlayan 19 numaralı pompadır.



Şekil 5.15 : AB buharlaştırıcı devridaim pompası kontrol hacmi.

Denklem 5.5'te verilen enerji dengesi adyabatik olduğu varsayılan AB buharlaştırıcı devridaim pompasına uygulandığında pompa gücü

$$\dot{W}_{P,19} = \dot{E}_{22} - E_{23} \quad (5.99)$$

eşitliğiyle Denklem 5.27 'ile ifade edilen ekserji dengesi uygulandığında pompada birim zamandaki tersinmezlik

$$\dot{I}_{P,19} = \dot{E}x_{22} - \dot{E}x_{23} - \dot{W}_{P,19} \quad (5.100)$$

ile bulunur. Pompanın tersinir gücü

$$(\dot{W}_{ter})_{P,19} = \dot{I}_{P,19} - |\dot{W}_{P,19}| \quad (5.101)$$

bağıntısıyla ve pompa izantropik verimi

$$\eta_{izantropik,P,19} = \frac{(\dot{W}_{ter})_{P,19}}{\dot{W}_{P,19}} \quad (5.102)$$

bağıntısıyla bulunur. AB buharlaştırıcı devridaim pompasının ekserji verimi ise Denklem 5.30 temel alınarak

$$\psi_{P,19} = \frac{\sum \dot{E}x_c}{|\dot{W}_{P,19}| + \sum \dot{E}x_g} = \frac{\dot{E}x_{23}}{|\dot{W}_{P,19}| + \dot{E}x_{22}} \quad (5.103)$$

eşitliğiyle bulunur.

5.2.10. Santralin ısı verimi ve ekserji verimi analizi

Santralin ısı verimi

$$\eta_t = \frac{\sum \dot{W}_{net}}{\sum \dot{Q}_{yanmaodasi}} \quad (5.104)$$

bağıntısıyla hesaplanır [26].

Burada net güç değeri türbinlerden üretilen elektrik gücünden pompa güçlerinin çıkarılması ile elde edilir. Bu durumda ısı verim

$$\eta_t = \frac{\dot{W}_{YBT} + \dot{W}_{ABT} + \dot{W}_{GT} - \dot{W}_{P,17} - \dot{W}_{P,19} - \dot{W}_{P,26} - \dot{W}_{P,28} - \dot{W}_{P,34} - \dot{W}_{P,36}}{\dot{Q}_{yanmaodasi}} \quad (5.105)$$

şeklinde hesaplanır.

Santralin ekserji verimi ise Denklem 5.30 ile hesaplanır [17,27].

6. SANTRALDE ÖLÇÜLEN VERİLER VE CTP MODELİ İLE ENERJİ VE EKSERJİ ANALİZİ

Bu bölümde Cycle-Tempo 5.0 bilgisayar yazılımı ile oluşturulan EÜAŞ Ambarlı DKÇS termodinamik modeline santralin kumanda odasındaki merkezi veri izleme ve kayıt sisteminden okunan değerler girdilenecek enerji ve ekserji analizi hesaplamaları yapılmıştır. Kumanda odasından okunan veriler santralin çeşitli noktalarında bulunan sensörlerin anlık ölçümlerine dayanmaktadır (Çizelge 5.3).

Santralde ölçülemeyen değerlerin yerine bir adet gaz türbini için kabul edilen dizayn değerleri Çizelge 6.1’de sunulmuştur.

Çizelge 6.1 : Borulardan geçen akışkanların dizayn değerleri.

Boru No	$\dot{m}$ [kg/s]	T [°C]	P [bar]
1	500,00	-	-
3	-	15,00	-
4	-	1050,00	-

Santralde ölçülemeyen fakat aylık doğal gaz tüketiminden yola çıkılarak hesaplanan bir adet gaz türbini çevriminin ortalama doğal gaz debisi aşağıdaki gibidir (Çizelge 6.2).

Çizelge 6.2 : Ortalama doğalgaz debisi.

Boru No	$\dot{m}$ [kg/s]	T [°C]	P [bar]
3	11,45	-	-

Santralde ölçülemeyen değerlerin yerine enerjinin korunumu ilkesine göre ve bir adet gaz türbininin doğalgaz debisi ile bir adet buhar türbini çevriminin buhar debisinin yarısı göz önünde bulundurularak hesaplanan değerler Çizelge 6.1’de sunulmuştur. İlgili ekipmanı bir kontrol hacmi olarak kabul ederek giren ve çıkan akışları kapsayan enerjinin korunumu ilkesine dayanan termodinamik eşitlikler kurularak ölçülemeyen

bu değerlerin hesaplanması mümkün olmuştur. Bu değerlerin hesaplanmasında ilgili ekipmanlardan ve borulardan ısı kayıpları sıfır kabul edilmiştir yani ihmal edilmiştir.

Çizelge 6.3 : Borulardan geçen akışkanların enerjinin korunumu ilkesine göre hesaplanan değerleri.

Boru No	$\dot{m}$ [kg/s]	T [°C]	P [bar]
30	0,140	-	-
32	11.029,230	-	-
37	-	99,16	-

Santralden ölçülemeyen debi değerleri, ilgili boru ve ekipmanlara giren ve çıkan akışlar için kütlenin korunumu ilkesine dayanan kütle korunumu eşitlikleri oluşturularak hesaplanmıştır. Bu hesaplar yapılırken hesaplamalarla ilgili her boru ve ekipman ayrı ayrı sızdırmaz olarak kabul edilmiştir, böylece kütle kayıplarının sıfır olduğu kabulü ile aynı hat üzerinde yer alan tüm boruların debilerinin aynı olduğu ve bir ekipmana giren ve çıkan boruların toplam debilerinin eşit olduğu kabul edilerek ölçülemeyen tüm debiler hesaplanmıştır.

Santralden ölçülemeyen değerler için bir adet gaz türbininin doğalgaz debisi ile bir adet buhar türbini çevriminin buhar debisinin yarısı göz önünde bulundurularak hesaplanan değerler, dizayn değerleri ve kabul edilen ortalama değerler santralden ölçülen değerler ile birlikte tek bir çizelge olarak Çizelge 6.4’de verilmiştir.

Çizelge 6.5’te CTP bilgisayar yazılımı ile hazırlanan EÜAŞ Ambarlı DKÇS termodinamik modeline Çizelge 6.4’deki değerler girdilenerek enerji ve ekserji analizi hesaplamaları yapılmış ve hesaplamaların iterasyonları sonucunda elde edilen termodinamik değerler Ek F’de CTP modeli çıktısı halinde sunulmuştur.

Çizelge 6.4’de ve Çizelge 6.5’te görülebileceği üzere CTP bilgisayar yazılımı ile yapılan enerji ve ekserji analizi sonuçları ölçülen değerlerle yaklaşık olarak örtüşmektedir. Bu sayede Bölüm 6’da ve Bölüm 7’de sunulan CTP bilgisayar yazılımı kullanılarak yapılmış enerji ve ekserji analizi sonuçlarının kabul edilebilir mertebede doğru olduğu teyit edilmiştir.

Bu tez çalışmasında bir adet gaz türbininin doğalgaz debisi ile bir adet buhar türbini çevriminin buhar debisinin yarısı göz önünde bulundurularak oluşturulmuş CTP EÜAŞ Ambarlı DKÇS termodinamik analiz modelinden alınan termodinamik değerlere dayalı güç ve verimlere ilişkin enerji ve ekserji analizi sonuçları Çizelge 6.6’da sunulmaktadır. Ayrıca CTP modeline değer girişleri Ek E’de sunulmuştur

Çizelge 6.4 : Borulardan geçen akışkanların ölçülen, hesaplanan, dizayn ve kabul edilen ortalama değerleri.

Boru No	$\dot{m}$ [kg/s]	T [°C]	P [bar]
1	500,00	30,25	0,984
2	500,00	351,50	11,395
3	11,45	15,00	17,410
4	511,45	1050,00	11,395
5	511,45	565,06	1,035
6	511,45	540,13	1,035
15	60,25	287,82	74,086
16	67,41	289,68	74,086
17	67,41	289,71	74,586
18	67,41	289,71	74,086
19	60,25	289,68	74,086
21 g	60,25	522,50	70,082
21 ç	60,25	516,25	67,621
22	17,57	168,62	7,659
23	17,57	168,63	8,159
24	17,57	168,63	7,659
25	13,93	168,62	7,659
26 g	13,93	194,31	7,090
26 ç	13,93	191,20	6,218
27	60,25	213,88	6,730
28	74,18	203,81	6,218
29 g	0,36	143,11	2,922
29 ç	0,36	103,31	1,136
30	0,14	99,33	0,990
31	73,69	41,98	0,082
32	11.029,23	26,69	0,984
33	11.029,23	26,69	2,162
34	11.029,23	30,13	2,156
35	73,83	40,83	1,030
36	73,83	40,88	7,448
37	0,14	99,16	0,984
38	0,14	31,25	0,984
39	73,83	40,83	5,089
40 g	73,83	100,50	3,136
40 ç	73,83	100,50	1,136
41	73,83	103,25	1,136
42	60,25	103,25	1,136
43	60,25	103,00	1,136
44 g	60,25	103,80	81,004
44 ç	60,25	103,81	80,168
45	60,25	-	-
46	13,93	103,25	1,136
47	13,93	103,00	1,136
48 g	13,93	103,30	28,609
48 ç	13,93	103,32	27,689
49	13,93	164,60	7,659
50	511,45	125,15	1,034

Çizelge 6.5 : EÜAŞ Ambarlı DKÇS CTP modeli termodinamik analizi sonuçları.

Boru	$\dot{m}$	T	P	h	s	$\dot{E}$	$\dot{E}_X$	x
No	[kg/s]	[°C]	[bar]	[kJ/kg]	[kJ/kg K]	[kW]	[kW]	%
1	500,00	30,25	0,984	-83,45	6,93	7659,42	67,94	
2	500,00	351,50	11,400	247,90	6,96	173.334,1	160.170	
3	11,44	15,00	17,410	-3642,08	9,09	481.842,6	455.940	
4	511,44	1050,00	11,400	160,87	8,00	654.514,2	461.059,1	
5	511,44	565,00	1,035	-427,48	8,15	353.608,5	137.184	
6	511,44	540,82	1,035	-455,48	8,12	339.288,2	128.123,6	
15	60,25	287,80	74,080	1277,79	3,14	69.342,62	20.000,06	0
16	67,41	289,69	74,080	1288,12	3,16	78.277,06	22.696,43	0
17	67,41	289,71	74,580	1288,20	3,16	78.282,48	22.701,41	0
18	67,41	289,69	74,080	2619,20	5,52	168.002,7	64.055,21	90
19	60,25	289,69	74,080	2767,10	5,79	159.073,4	61.360,63	100
21 g	60,25	522,33	70,080	3465,10	6,87	201.128,3	83.631,35	100
21 ç	60,25	516,64	67,620	3454,10	6,87	200.465,5	82.935,68	100
22	17,57	168,62	7,659	713,15	2,03	10.298,09	1834,64	0
23	17,57	168,62	8,159	713,21	2,03	10.299,25	1835,67	0
24	17,57	168,62	7,659	2355,84	5,75	39.152,73	10.872,15	80
25	13,93	168,62	7,659	2766,51	6,68	36.780,67	10.416,73	100
26 g	13,93	194,58	7,090	2832,54	6,86	37.700,69	10.579,22	100
26 ç	13,93	191,46	6,218	2830,54	6,91	37.672,82	10.323,36	100
27	60,25	213,47	6,768	2862,34	6,94	164.811,9	46.012,78	100
28	74,18	203,12	6,218	2856,37	6,96	202.484,8	55.641,32	100
29 g	0,49	142,56	2,922	2745,69	7,05	1287,07	300,88	100
29 ç	0,49	103,25	1,136	2680,69	7,32	1255,12	229,82	100
30	0,14	99,33	0,990	2602,76	7,17	345,78	60,64	97
31	73,55	41,98	0,082	2318,75	7,40	161.218,8	5927,59	89
32	11005,83	26,69	0,980	111,98	0,39	163.891,9	965,6	0
33	11005,83	26,70	2,162	112,12	0,39	162.356,3	2268,16	0
34	11005,83	30,12	2,156	126,45	0,44	4743,07	1297,17	0
35	73,69	40,83	1,030	171,11	0,58	3259,86	55,91	0
36	73,69	40,88	7,448	171,87	0,58	3315,95	103,87	0
37	0,14	99,16	0,984	415,54	1,30	40,31	3,99	0
38	0,14	31,25	0,984	131,06	0,45	0,58	0	0
39	73,69	40,83	5,089	171,43	0,58	3283,44	85,84	0
40 g	73,69	99,66	3,136	417,83	1,30	21.441,26	2150,23	0
40 ç	73,69	99,70	1,136	417,83	1,30	21.441,26	2137,71	0
41	74,18	103,25	1,138	432,82	1,34	22.696,09	2363,36	0
42	60,25	103,25	1,138	432,82	1,34	18.433,08	1919,45	0
43	60,25	103,25	1,138	432,82	1,34	18.433,08	1919,45	0
44 g	60,25	103,80	81,000	441,08	1,34	18.930,79	2420,99	0
44 ç	60,25	103,81	80,170	441,08	1,34	18.930,79	2416,79	0
45	60,25	161,48	78,670	686,25	1,95	33.702,11	6121,78	0
46	13,93	103,25	1,138	432,82	1,34	4263,01	443,91	0
47	13,93	103,25	1,138	432,82	1,34	4263,01	443,91	0
48 g	13,93	103,30	28,610	435,07	1,34	4294,43	482,26	0
48 ç	13,93	103,32	27,690	435,07	1,34	4294,43	481,18	0
49	13,93	164,61	7,659	695,68	1,99	7925,69	1379,88	0
50	511,44	125,18	1,034	-2911,86	7,52	209.242,8	46.821,6	

Çizelge 6.6 : CTP modelinde hesaplanan ekipmanların güç ve santralin güç ve verim değerleri.

	Ekipman No	Ekipman	$\dot{E}$ [kW]	$\sum \dot{E}$ [kW]	$\dot{E}_x$ [kW]	$\sum \dot{E}_x$ [kW]
Çekilen Güç	3	Yakıt Kaynağı	434.749,4		455.940,0	
			→	434.749,4	→	455.940,0
Üretilen Elektrik Gücü	6	Jeneratör GT	127.937,4		127.937,4	
	23	Jeneratör BT	73.043,2		730.43,2	
			→	200.980,62	→	200.980,6
Ekipmanların Tükettiği Güç	17	Pompa	5,5		5,5	
	19	Pompa	1,2		1,2	
	26	Pompa	1551,2		1551,2	
	28	Pompa	56,7		56,7	
	34	Pompa	566,9		566,9	
	36	Pompa	46,6		46,6	
			→	2228,0	→	2228,0
Üretilen Net Güç				198.752,7		198.752,7
			Enerji verimi		Ekserji verimi	
			η		ψ	
Brüt			%46,2		%44,1	
Net			%45,7		%43,6	

Santralin 1991 yılında yapılan kabul testleri sırasında ölçülen ve garanti edilen net verim değeri %51,43-53,17 aralığındadır, hesaplanan net verim ise %45,72'dir. Bu farkın temel sebebi santralin ölçülen ve işletmede hedef alınan baz (temel) buhar debisinin dizayn değerinden düşük olmasıdır [14].

Ayrıca, dizayn gücü 1350 MW olan EÜAŞ Ambarlı DKÇS için CTP ile oluşturulan termodinamik analiz modeli ile yapılan enerji ve ekserji analizlerinde elde edilen güç değerleri ile EÜAŞ Ambarlı DKÇS kumanda odasındaki merkezi veri izleme ve kayıt sisteminden 16.08.2011 tarihinde okunan güç değerleri Çizelge 6.7'de karşılaştırılarak oluşturulan modelin kabul edilebilir mertebede doğruluğu teyit edilmiştir.

Çizelge 6.7 : EÜAŞ Ambarlı DKÇS ölçülen ve CTP ile hesaplanan brüt güç değerleri.

Ekipman	Ölçülen Gerçek Brüt Güç [kW]	CTP'de Hesaplanan Brüt Güç [kW]
2 Gaz Türbini Çevriminde Üretilen	255.438 (127.719x2)	255.874 (127.937x2)
1 Buhar Türbini Çevriminde Üretilen	146.062 (73.031x2)	146.086 (73.043x2)
1 Bloкта (2 Gaz Türbini Çevrimi + 1 Buhar Türbini Çevrimi) Üretilen	401.500	401.960
Santralde (3 Blok) Üretilen	1.204.500	1.205.880

7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu bölümde ise bütün tez çalışması boyunca elde edilmiş sonuçlar değerlendirilmiştir. Bu bölümde ayrıca EÜAŞ Ambarlı DKÇS enerji ve ekserji analizleri ile elde edilen sonuçlar detaylı olarak incelenmiş ve bu sonuçlardan yola çıkarak santral verimini arttırmaya yönelik öneriler sunulmuştur.

CTP bilgisayar yazılımı enerji ve ekserji analizi hesapları sonucu elde edilen ekserji değerleri santralde bulunan başlıca ekipmanlar için Çizelge 7.1’de vermiştir.

Çizelge 7.1 : Ekipman ve borularda transfer edilen ekserji değerleri.

Ekipman/ Boru No	Ekipman	Ekserji Transferi [kW]		
		Toplam	Güç/Isı	Kayıplar
5	Gaz türbini	323.875,09	297.896,59	25.978,50
20	Yüksek basınç buhar türbini	36.922,90	35.297,06	1625,84
22	Alçak basınç buhar türbini	49.352,21	39.236,80	10.115,41
24	Yoğuşturucu	6837,17	0,00	6837,17
29	Sızıntı buharı yoğuşturucu	49,46	0,00	49,46
	AIGKK	-11.557,26	0,00	-11.557,26
31	Besleme suyu tankı	4,18	0,00	4,18
17	Yüksek basınç devridaim pompası	-4,98	-5,47	0,49
19	Alçak basınç devridaim pompası	-1,03	-1,16	0,13
26	Soğutma suyu pompası	-1302,56	-1551,15	248,59
28	Ana yoğuşmuş su pompası	-47,96	-56,66	8,70
34	Yüksek basınç besleme suyu pompası	-513,85	-566,95	53,10
36	Alçak basınç besleme suyu pompası	-41,19	-46,58	5,39
4	Yanma odası	154.394,39	0,00	154.394,39
16	Yüksek basınç kubbesi	-1,79	0,00	-1,79
18	Alçak basınç kubbesi	0,66	0,00	0,66
2	Kompresör	-160.102,02	-167.348,19	7246,17
19	Boru	84,11		84,11
20	Boru	43,77		43,77
21	Boru	695,68		695,68
25	Boru	4,65		4,65
26	Boru	255,86		255,86
27	Boru	691,31		691,31
29	Boru	71,06		71,06
35	Boru	5,49		5,49
36	Boru	10,87		10,87
38	Boru	0,01		0,01
39	Boru	14,35		14,35

Çizelge 7.1 (devam) : Ekipman ve borularda transfer edilen ekserji değerleri.

Ekipman/ Boru No	Ekipman	Ekserji Transferi [kW]		
		Toplam	Güç/Isı	Kayıplar
40	Boru	12,51		12,51
43	Boru	12,31		12,31
44	Boru	4,20		4,20
45	Boru	12,48		12,48
47	Boru	2,85		2,85
48	Boru	1,08		1,08
49	Boru	0,16		0,16

Yapılan çalışma sonucunda en fazla ekserji yıkımının diğer bir deyişle tersinmezliğin sırasıyla yanma odası, gaz türbini, alçak basınç buhar türbini, kompresör, yoğunlaştırıcı ve yüksek basınç buhar türbininde meydana geldiği görülmüştür. Tersinmezliklerin azaltılması ve böylece santral veriminin artırılması için tersinmezliklerin en fazla gerçekleştiği ekipmanların ayrı ayrı ele alınması ve iyileştirme potansiyellerinin incelenmesi doğru bir yol olacaktır.

Yanma odasında gerçekleşen tersinmezlik temelde kimyasal enerjinin ısı enerjisine dönüştürülmesi sırasında oluşan tersinmezliktir. Kimyasal yanma reaksiyonu sırasında oluşan bu tersinmezlik kaçınılmazdır. Bu durumda tersinmezliğin azaltılmasından daha önemli olan yanma verimi ve ısı yalıtımı alanlarında iyileştirme yapılması olacaktır. Böylece meydana gelen tersinmezliğin sisteme aktarılan enerjiye oranı azaltılabilir ve ekserji veriminin artırılması mümkündür.

Gaz türbininde meydana gelen tersinmezliklerin büyük kısmının sebebi ve buhar türbinlerinde olduğu gibi sıcaklık ve basınç değerleri azalan diğer bir deyişle iş yapma potansiyelinin sonuna yaklaşan yanma ürünü gazlar için üretilecek faydalı işin toplam enerji akışına oranı azalmakta, bu durumda tersinmezlik sebebiyle kaybolan iş yapabilme potansiyelinin taşınan enerjiye oranının azalmasına neden olmaktadır. Bakımlar sırasında eskiyen kanatçıkların değişiminde yeni nesil kaplama teknolojisi kullanılarak, ısıya karşı daha dayanıklı hale getirilmiş kanatçıklar kullanılarak gaz türbini çalışma sıcaklığı yükseltilebilir ve böylece ekserji verimi artırılabilir.

Buhar türbinlerinde meydana gelen tersinmezliklerin önemli bir kısmı alçak basınç türbininde meydana gelmektedir. Sıcaklık ve basınç değerleri yoğunlaşma değerlerine yakın olduğu, diğer bir deyişle iş yapma potansiyelinin sonuna yaklaşan buhar için üretilecek faydalı işin toplam enerji akışına oranı azalmakta bu durumda tersinmezlik sebebiyle kaybolan iş yapabilme potansiyelinin taşınan enerjiye oranının azalmasına

neden olmaktadır. Buhar türbinlerinin ekserji verimlerinin arttırılması daha gelişmiş türbin teknolojileri kullanılarak ulaşılan yüksek sıcaklık ve basınç şartlarında çalışabilen yeni nesil türbinlerle mümkün olmuştur. Ayrıca EÜAŞ Ambarlı DKÇS’de olduğu gibi tasarım değerlerinin dışında kullanılan türbinlerin ekserji verimleri düşmektedir. Buhar türbinlerinde de oluşan tersinmezliklerin azaltılması için türbin kanatçıklarının bakımlar sırasında yeni nesil kaplama teknolojisi kullanılarak ısıya karşı daha dayanıklı hale getirilmiş kanatçıklarla değiştirilmesi fayda sağlamaktadır. Ayrıca, buhar türbinlerini tasarım değerlerinde kullanabilmek için santrale eklenecek yeni buhar üretim altyapısının tersinmezliklerin azaltılmasında katkısı olacaktır.

Kompresörde meydana gelen tersinmezliklerin temel sebebi sıkıştırma sonucu artan sıcaklık nedeniyle kaybolan ısıdır. Bu iki sorununda çözümü olarak kompresör basamakları arasına su püskürtülerek sıcaklığın azaltılması ve bu sayede ekserji veriminin arttırılması mümkündür. Bu uygulama dünyada birçok santralde sonradan eklenen verim arttırıcı yatırımların başında gelmektedir.

Yoğuşturucuda deniz suyuna atılan ısı bir kayıp olarak düşünülmemelidir. Fakat yoğuşturucunun ısı iletimi iyileştirilerek devridaim suyu pompalarında oluşan tersinmezlikler azaltılabilir. Bunun için düzenli yapılmakta olan deniz suyu tarafı temizlik çalışmaları sıklaştırılabilir.

Sistemde bulunan tüm pompaların tersinmezlikleri sistemin toplam tersinmezliğine nazaran düşük miktarda olsalar dahi pompaların düzenli bakımı veya verimi yüksek olanlar ile değişimi yıllık ekserji bilançosunda fayda sağlayacaktır.

Kısaca EÜAŞ Ambarlı DKÇS için verim ve net güç üretimini arttırıcı öneri olarak buhar üretimini arttırarak buhar türbinlerinin kurulu güçlerinde kullanılması düşüncesi öne çıkmaktadır. Fakat bu değişikliği mümkün kılacak kazan yatırımının büyüklüğü ve işletmede olan bir santral için uzun süre işletme dışı kalma anlamına geleceği için fizibilitesi düşük bir seçenek olduğu görülmektedir. Ancak, kazan yatırımı dışında önlemler alınarak mevcut kazanların iyileştirilmesi, buhar ve ısı kaçaklarının önlenmesi ve kazanda ısı transferini arttırma amaçlı temizliklerin daha sık yapılması ile buhar üretimi arttırılarak santral verimi ve net güç üretimi artışı sağlanabilir. Ayrıca, santralde bulunan buhar kolektörü sayesinde bakımda olan buhar türbinlerinden kaynaklı ünite içi ihtiyaç fazlası buhar diğer ünitelere gönderilerek değerlendirilebilir. Hatta tüm kazanların değiştirilmesinden daha az yatırım gerektirecek ve santralin işletilmesini sekteye uğratmayacak bir seçenek olarak mevcut

ünitelere ek gaz türbini ve AIGKK yatırımı yapılarak kolektöre santralin verimli bir şekilde güce çevireceği miktarda buhar girişi sağlanabilir.

Gaz türbini tarafında ise enerji ve ekserji kaybı açısından en dikkat çeken ekipman olan kompresörde sıkıştırma basamakları arasına eklenecek su püskürtme sistemi ile sıcaklık düşürülebilir ve buna bağlı olarak sıkıştırma performansı artırılarak enerji ve ekserji veriminde artış elde edilebilir. Buna benzer uygulamalar sahada benzer gaz türbini uygulamalarında yer bulmuştur [27].

Tasarım aşamasındaki santraller için bu sonuçlar dikkate alınarak buhar türbinlerinin kurulu güçlerine uygun buhar üretimi yapabilecek kazan seçimi yapılmalı ve santralin ekonomik ömrü boyunca kazanda meydana gelecek verim kaybı da hesaba katılarak buhar üretim miktarının uzun vadede istenilen seviyede korunması sağlanmalıdır.

KAYNAKLAR

- [1] **Gibbs, J. W.** (1878). On the Equilibrium of Heterogeneous Substances, Transactions of the Connecticut Academy of Arts and Sciences, 3, 108–248, 343–524.
- [2] **Rant, Z.** (1953). Exergie, ein neues Wort für ‘Technische Arbeitsfähigkeit, Ing Wesens , 22, 36-37.
- [3] **Bodvarsson, G., Eggers, D. E.** (1972). The Energy of Thermal Water, Geothermics I, 93-95.
- [4] **Acar, H. İ.** (1997). Second law analysis of the reheat – regenerative rankine cycle. Energy Conversion and Management, Vol. 38: No. 7, 647-657.
- [5] **Tekel, E.** (2006). Termik santrallerin enerji ve ekserji analizi. Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Denizli.
- [6] **Yener, H. V.** (2009). Birleşik çevrimli kojenerasyon tesisinin performansına hava şartlarının, yük faktörünün ve ara soğutmanın etkisi. İstanbul Teknik Üniversitesi Enerji Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi , İstanbul.
- [7] **Ünsal, V.** (2010). CANDU 6 Nükleer güç santrallerinin ekserji analizi. İstanbul Teknik Üniversitesi Enerji Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi , İstanbul.
- [8] **Bisio, G.** (1998) Thermodynamic analysis of the main devices for thermal energy upgrading. Energy Conversion and Management, Vol. 39: No.3 / 4, 229-242.
- [9] **Tuma, M., Oman, J., Sekavčnik, M.** (1999). Efficiency of a combined gas-steam process. Energy Conversion and Management, Vol. 40: 1163-1175.
- [10] **Guarinello, Jr. F., Cerqueira, S. A. A. G., Nebra, S. A.** (2000). Thermoeconomic evaluation of a gas turbine generation system. Energy Conversion and Management, Vol. 41: 1191-1200.
- [11] **Dazlak, S.** (2006). *Bir doğalgaz santralinde atık ısı kazanım tesisinin enerji ve ekserji analizi* (Yüksek Lisans Tezi). Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Zonguldak.
- [12] **Khaliq, A., Kaushik, S.C.** (2004). Second-law Based Thermodynamic Analysis of Brayton/Rankine Combined Power Cycle with Reheat. *Applied Energy*, Vol. 78: 179-197.

- [13] **Verkhivker, G. P., Kosoy, B. V.** (2000). On the exergy analysis of power plants. *Energy Conversion and Management*, Vol. 42: 2053-2059.
- [14] **SIEMENS A.G.** (1988). Ambarlı1350 MW GUD Combined-Cycle Power Plant Design Parameters. Modern Power Systems Publishing Company, Londra.
- [15] **EÜAŞ Ambarlı ve Siemens AG & UB KWU** (1988). EÜAŞ Ambarlı DKÇS tasarım verileri.
- [16] **Delft Teknoloji Üniversitesi** (2006). Cycle-Tempo Release 5.0 tutorials.
- [17] **Kotas, T.J.** (1995). The Exergy Method of Thermal Plant Analysis, Kreiger Publishing Company, Malabar, Florida.
- [18] **Çengel, Y., Boles, M.A.** (2007). Thermodynamics: An Engineering Approach, 5th. Edt., McGraw–Hill, Inc.
- [19] **Eryener D. (2003).** *Cebri konveksiyonla ısı geçişi sağlayan ısı sistemlerin ekserji ekonomik analizi* (Doktora Tezi), Trakya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Edirne.
- [20] **Dinçer I.** (2002). The role of exergy in energy policy making, *Energy Policy*, 30, 137-149.
- [21] **Çamdalı Ü. ve Tunç M.** (2004). Enerji sistemlerinde termoekonomik yaklaşım ve uygulamalar, *Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 8-3, 49-56.
- [22] **Durmayaz A. ve Yavuz H.** (2001). Exergy analysis of a pressurized-water reactor nuclear-power plant, *Applied Energy*, 69, 39-57.
- [23] **Szargut J.** (2005). Exergy Method: Technical and Ecological Applications, WIT Press, Southampton, Boston.
- [24] **Dinçer I. ve Rosen M.A.** (2007). Exergy: Energy, Environment and Sustainable Development, Elsevier Ltd. Jordan Hill, Oxford.
- [25] **Url-1** <<http://www.unitrove.com/engineering/tools/gas/natural-gas-calorific-value>>, Alındığı tarih: 17.08.2015.
- [26] **Şahin H.E.** (2012). *Kritik-üstü tip bir buharlı güç santralinin enerji ve ekserji analizi* (Yüksek Lisans Tezi), İstanbul Teknik Üniversitesi, Enerji Enstitüsü, İstanbul.
- [27] **Etele J. ve Rosen M.A.** (2001) Sensitivity of exergy efficiencies of aerospace engines to reference environment selection, *Exergy Int. J.* 1 (2), 91–99.

- [28] **Yılmazoğlu M.Z. ve Rahim M.A.** (2010). Gaz türbinli santrallerde çevre sıcaklığı ve basıncının santral performansına Etkileri, *Gazi Üniversitesi Müh. Mim. Fak. Dergisi*, Cilt 25, No 3, 495-503.
- [29] **Durmayaz A. ve Söğüt O.S.** (2006). Influence of cooling water temperature on the efficiency of a pressurized-water reactor nuclear-power plant, *International Journal of Energy Research*, 30, 799-810 DOI: 10.1002/er.1186.
- [30] **Yücelay, A. B.** (2000) *Gaz türbinli bir bileşik ısı-güç üretim sisteminin termodinamik çözümlemesi* (Yüksek Lisans Tezi), İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [31] **Tuma, M., Oman, J., Sekavčnik, M.** (1999) Efficiency of a Combined Gas-Steam Process. *Energy Conversion and Management*, Vol. 40: 1163-1175.
- [32] **Ünver, Ü. ve Kılıç, M.** (2005). Bir kombine çevrim güç santralinin termodinamik analizi. *Mühendis ve Makina*, 545: 47-56.

EKLER

EK A: EÜAŞ Ambarlı DKÇS su-buhar çevrim sistemi şeması [14].

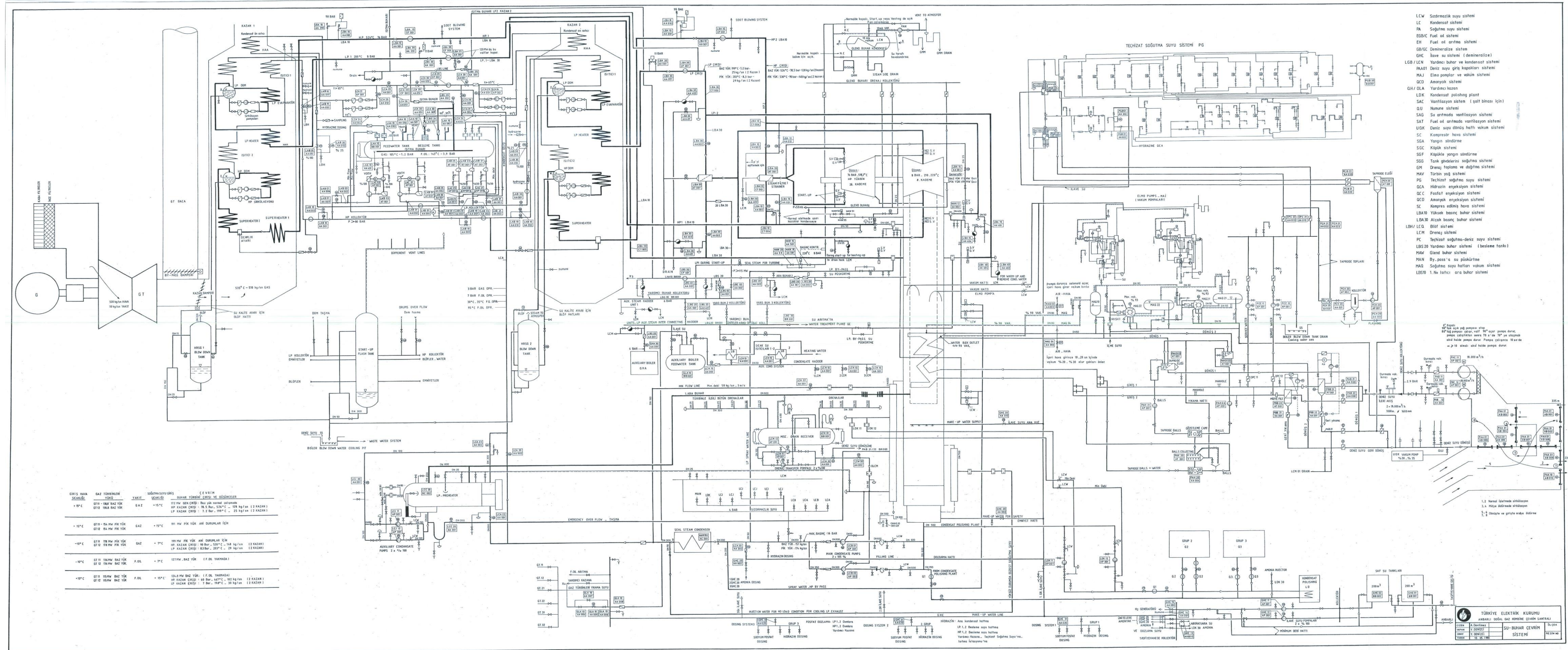
EK B: EÜAŞ Ambarlı Doğalgaz 1350 MW Kombine Çevrim Güç Santrali genel görünümü [14].

EK C: EÜAŞ Ambarlı DKÇS'nin 30°C hava sıcaklığındaki CTP modeli.

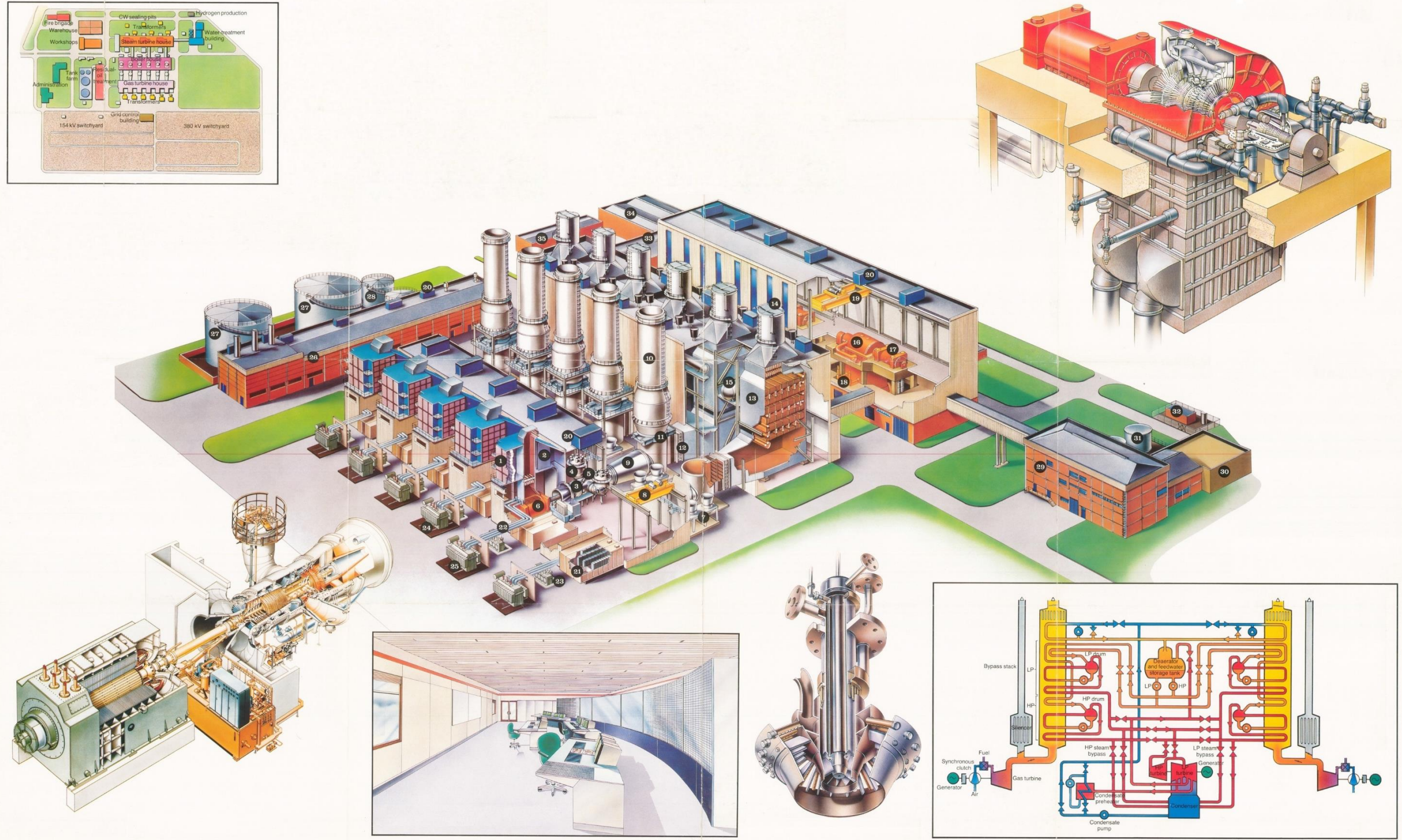
EK D: EÜAŞ Ambarlı DKÇS'nin 30°C hava sıcaklığındaki CTP modeli T-s diyagramı.

EK E: EÜAŞ Ambarlı DKÇS'nin CTP modeline değer girişleri.

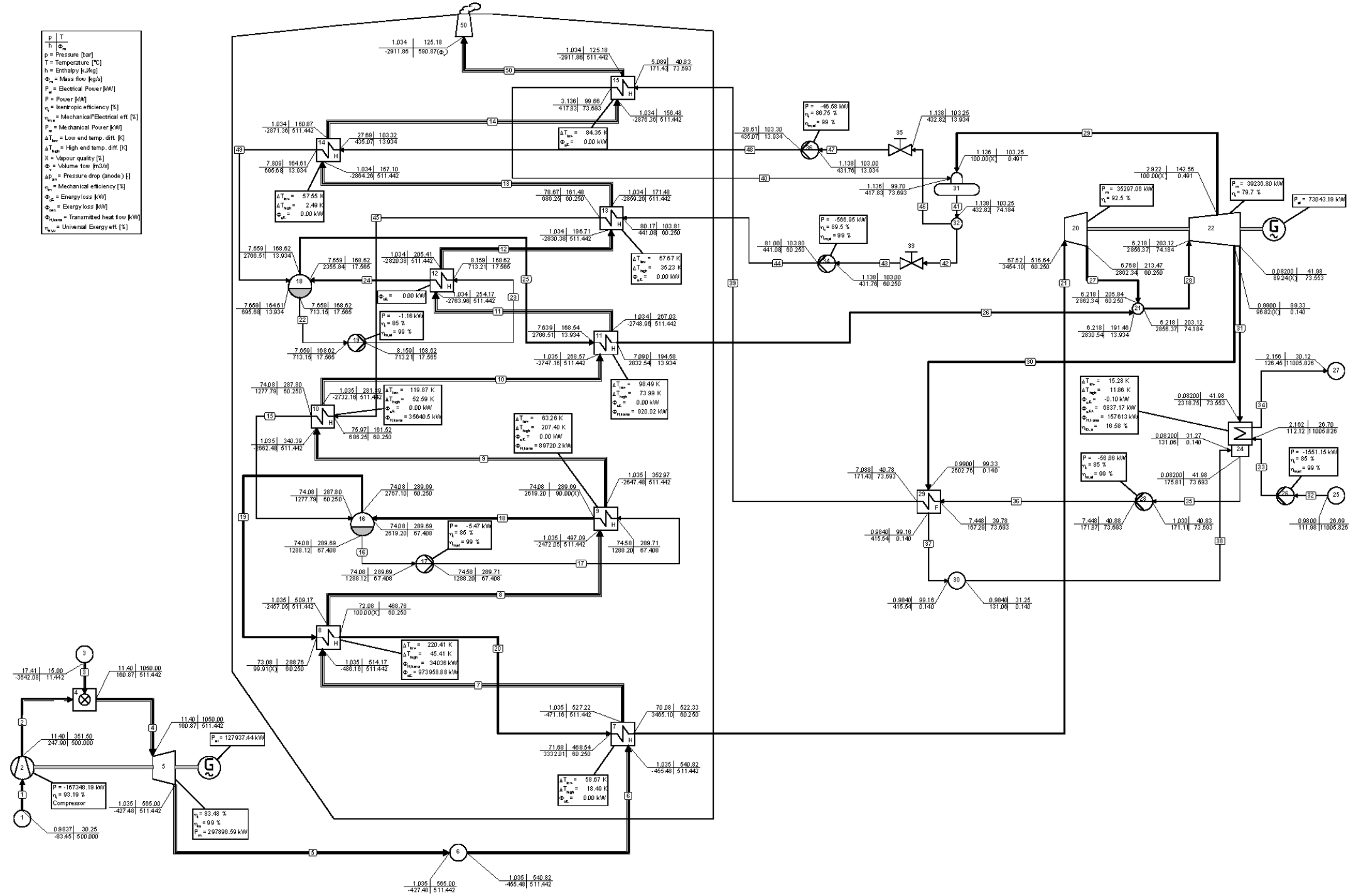
EK F: EÜAŞ Ambarlı DKÇS'nin CTP modeli sonuçları.



EÜAŞ Ambarlı 1350 MW Doğalgaz Kombine Çevrim Santrali

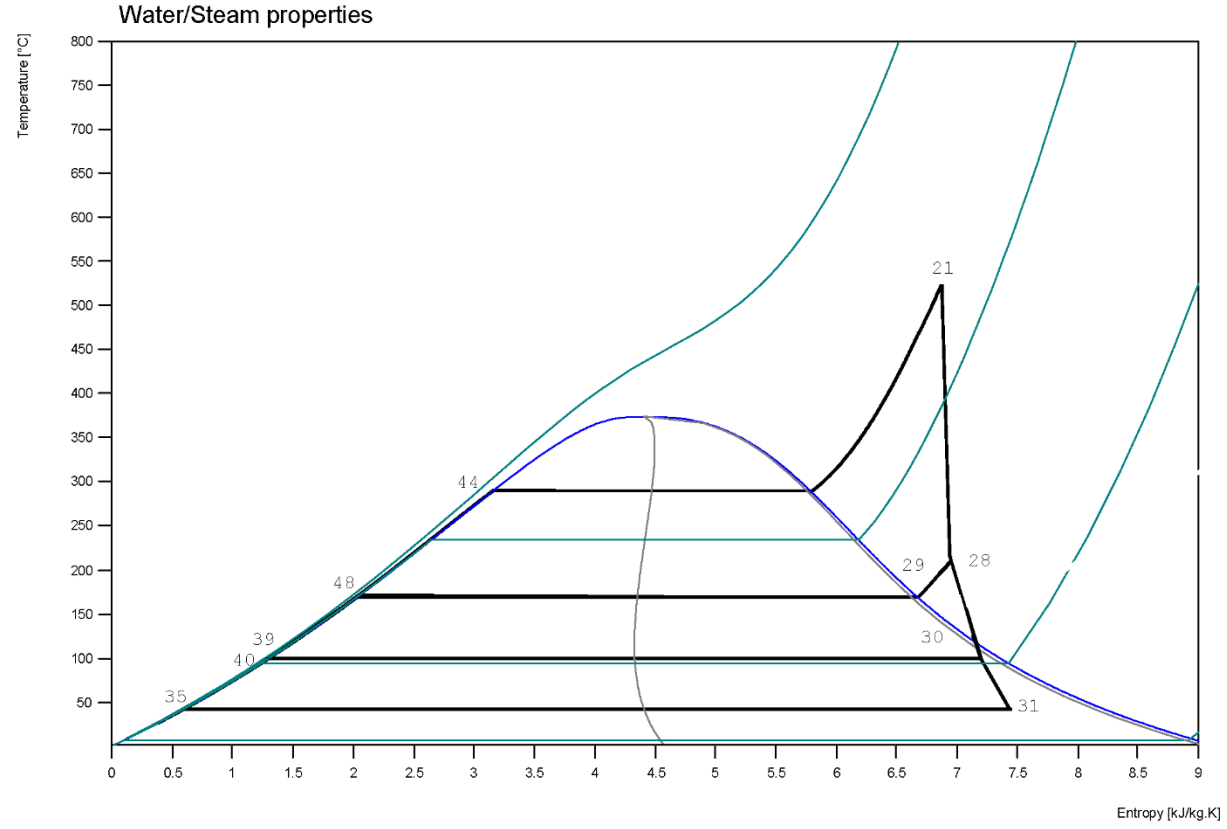


Şekil B.1 : EÜAŞ Ambarlı Doğalgaz 1350 MW Kombine Çevrim Güç Santrali genel görünümü [14].



Şekil C.1 : EÜAŞ Ambarlı DKÇS'nin 30°C hava sıcaklığındaki CTP modeli.

EK D



Şekil D.1 : EÜAŞ Ambarlı DKÇS'nin 30°C hava sıcaklığındaki CTP modeli T-s diyagramı.

Çizelge E.1 : EÜAŞ Ambarlı DKÇS'nin CTP modeline değer girişleri

Tür	Girdiler
Sistem bilgisi	NAPP=36, NLIN=50, NCYCLE=3, MAXITM=50, MAXUR=50, NPRINT=4 NO=1, TYPE=10, APNAME='Air filter', POUT=0.9837, TOUT= 30.25,
Ekipman	DELM= -500
Ekipman	NO=2, TYPE=29, APNAME='Compressor', POUT= 11.395, TOUT= 351.5, ETHAM=0.99
Ekipman	NO=3, TYPE=10, APNAME='Fuel source', POUT= 17.41, TOUT= 15, SUBTYP= 2
Ekipman	NO=4, TYPE=13, APNAME='Combustor', EEQCOD= 1, DELP=0, TOUT= 1050, ESTOFR= 15, TREAT= 1100, PREACT= 4
Ekipman	NO=5, TYPE=3, APNAME='Turbine', TUCODE=0, GDCODE= 1, TOUT= 565, ETHAM=0.99
Ekipman	NO=6, TYPE=10, APNAME='Sink/Source', DELP=0, DELH= -28
Ekipman	NO=7, TYPE=6, APNAME='Heat Exchgr.', DELP1= 1.6, DELP2=0.0001, DELT2= -13.6
Ekipman	NO=8, TYPE=6, APNAME='Heat Exchgr.', DELP1= 1, DELT1= 180, DELP2=0.0001, DELT2= -5
Ekipman	NO=9, TYPE=6, APNAME='Heat Exchgr.', DELP1=0.5, DELP2=0.0001
Ekipman	NO=10, TYPE=6, APNAME='Heat Exchgr.', DELP1= 1.894, DELP2=0.0001, DELT2= -59
Ekipman	NO=11, TYPE=6, APNAME='Heat Exchgr.', DELP1=0.549, DELP2=0.0001, DELT2= -1.54
Ekipman	NO=12, TYPE=6, APNAME='Heat Exchgr.', DELP1=0.5, DELP2=0.0001
Ekipman	NO=13, TYPE=6, APNAME='Heat Exchgr.', DELP1= 1.5, DELP2=0.0001, DELT2= -25.23
Ekipman	NO=14, TYPE=6, APNAME='Heat Exchgr.', DELP1= 19.88, DELP2=0.0001, DELT2= -6.23
Ekipman	NO=15, TYPE=6, APNAME='Heat Exchgr.', DELP1= 1.953, DELP2=0.0001, DELT2= -31.3
Ekipman	NO=16, TYPE=15, APNAME='Drum'
Ekipman	NO=17, TYPE=8, APNAME='Pump', ETHAI=0.85, ETHAM=0.99
Ekipman	NO=18, TYPE=15, APNAME='Drum'
Ekipman	NO=19, TYPE=8, APNAME='Pump', ETHAI=0.85, ETHAM=0.99
Ekipman	NO=20, TYPE=3, APNAME='Turbine', ETHAI=0.925, ETHAM=0.99
Ekipman	NO=21, TYPE=9, APNAME='Node', DELP=0
Ekipman	NO=22, TYPE=3, APNAME='Turbine', ETHAI=0.797, ETHAM=0.99, LBLEED= 29, 30, PBLEED= 1.948, 0.66, MBLEED= 2, 1, VBLEED=0, 0,
Ekipman	NO=24, TYPE=4, APNAME='Condenser', EEQCOD= 1, DELP1=0.006, DELT1= 3.426, PIN2=0.082, POUT2=0.082
Ekipman	NO=25, TYPE=10, APNAME='Sink/Source', POUT=0.98, TOUT= 26.688
Ekipman	NO=26, TYPE=8, APNAME='Pump', DELP= -1.182, ETHAI=0.85, ETHAM=0.99
Ekipman	NO=27, TYPE=10, APNAME='Sink/Source'
Ekipman	NO=28, TYPE=8, APNAME='Pump', POUT= 7.448, ETHAI=0.85, ETHAM=0.99
Ekipman	NO=29, TYPE=5, APNAME='Flash.Heater', DELP1=0.36, DELT1= 1
Ekipman	NO=30, TYPE=10, APNAME='Sink/Source', PIN=0.984, TOUT= 31.25
Ekipman	NO=31, TYPE=7, APNAME='Deaerator', TOUT= 103.25
Ekipman	NO=32, TYPE=9, APNAME='Node', DELP=0

Çizelge E.1 (devam) : EÜAŞ Ambarlı DKÇS'nin CTP modeline değer girişleri

Tür	Girdiler
Ekipman	NO=33, TYPE=14, APNAME='Valve', PIPE= 43, FLOW= 60.25 kg/s
Ekipman	NO=34, TYPE=8, APNAME='Pump', POUT= 81.004, TOUT= 103.8, DELT=0.8, ETHAM=0.99
Ekipman	NO=35, TYPE=14, APNAME='Valve', PIPE= 47, FLOW= 13.934 kg/s
Ekipman	NO=36, TYPE=8, APNAME='Pump', POUT= 28.609, TOUT= 103.3, DELT=0.3, ETHAM=0.99
Ekipman	NO=50, TYPE=10, APNAME='Stack', PIN= 1.034
Jeneratör	NO=23, IGAPP=20,22, ETAGEN=0.98
Jeneratör	NO=6, IGAPP=5, ETAGEN=0.98
Ortam	Pipe No = 1, Type = 'GASMIX' Standard Air
Ortam	Pipe No = 3, Type = 'GASMIX' Standard Natural Gas
Ortam	Pipe No = 8, Type = 'GASMIX' Standard Fluegas
Ortam	Pipe No = 31, Type = 'WATERSTM'
Ortam	Pipe No = 40, Type = 'WATERSTM'
Ortam	Pipe No = 32, Type = 'WATERSTM'
Boru	NO=3, HINL = -3880
Boru	NO=7, DELH = 15
Boru	NO=8, DELH = 15
Boru	NO=9, DELH = 15
Boru	NO=10, DELH = 15
Boru	NO=11, DELH = 15
Boru	NO=12, DELH = 10
Boru	NO=13, DELH = 5
Boru	NO=14, DELH = 5
Boru	NO=16, XOUTL =0
Boru	NO=18, XINL =0.9
Boru	NO=19, DELP = 1
Boru	NO=20, DELP =0.4
Boru	NO=21, DELP = 2.459, DELH = 11
Boru	NO=24, XOUTL =0.8
Boru	NO=25, DELP =0.02
Boru	NO=26, DELP =0.872, DELH = 2
Boru	NO=27, DELP =0.55, DELH = 14
Boru	NO=28, DELP =0, DELH =0
Boru	NO=29, DELP = 1.786, DELH = 65
Boru	NO=35, DELP =-0.948, DELH = 4.7, XINL =0
Boru	NO=37, XINL =0
Boru	NO=38, DELP =0.902
Boru	NO=39, DELP = 1.999, TOUTL = 40.825
Boru	NO=40, DELP = 2.2
Boru	NO=44, DELP =0.83
Boru	NO=45, DELP = 2.7
Boru	NO=48, DELP =0.92
Boru	NO=49, DELP =0.15
Mil	IPUMP=2, ITURBP=5

Çizelge E.1 (devam) : EÜAŞ Ambarlı DKÇS'nin CTP modeline değer girişleri

Tür	Girdiler
Çevre	Kullanıcı tanımlı çevre bilgisi
Bileşen:	AR CO ₂ H ₂ O N ₂ O ₂ O ₂
Mole %:	0,91 0,03 1,68 76,78 20,60 0,91
Çevre basıncı:	0,9837 bar
Çevre sıcaklığı:	30,25 °C
Su/buhar için hal fonksiyonları:	IAPWS Industrial Formulation 1997 (IAPWS-IF97)

Çizelge E.2 : CTP modeli gaz borularından geçen gaz karışımlarının bileşenleri (mol dağılımı)

	Boru no	1	3	8
Bileşen				
N2		0,7729	0,1432	0,7049
O2		0,2075	0,0001	
H2O		0,0101		0,1919
AR		0,0092		0,0082
CO2		0,0003	0,0089	0,0950
CH4			0,8129	
C2H6			0,0287	
C3H8			0,0038	
C4H10			0,0015	
C5H12			0,0004	
C6H14			0,0005	

Çizelge E.3 : CTP modeli ekipman dizayn değerleri dışında değer girişi

Tür	Girdiler		
Ara buhar borularındaki akışkanların değer girişleri	Boru no	Basınc [bar]	Kütlesel debi [kg/s]
	29	1,95	2,00
	30	0,66	1,00
CTP ekipman değer girdileri	TURBINE NO= 22 DESIGN VOLUME FLOW DES VOL= 0.00000, ENTHALPY OUT GOVERNING-STAGE HOUTRT= 0.00		

EK F

Çizelge F.1 : EÜAŞ Ambarlı DKÇS'nin CTP modelinde tüm borulardaki akışkanların termodinamik özellikleri.

Boru no	Ortam	Kütle debisi [kg/s]	Basınç [bar]	Sıcaklık [°C]	Entalpi [kJ/kg]	Entropi [kJ/kg.K]	Exergy [kJ/kg]	Kuruluk derecesi [%]
1	GASMIX 1	500,00	0,984	30,25	-83,45	6,93	0,14	
			0,984	30,25	-83,45	6,93	0,14	
2	GASMIX 1	500,00	11,40	351,50	247,90	6,96	320,34	
			11,40	351,50	247,90	6,96	320,34	
3	GASMIX 2	11,44	17,41	15,00	-3642,08	9,09	39.849,24	
			11,40	15,00	-3642,08	9,28	39.791,87	
4	GASMIX 3	511,44	11,40	1050,00	160,87	8,00	901,49	
			11,40	1050,00	160,87	8,00	901,49	
5	GASMIX 3	511,44	1,035	565,00	-427,48	8,15	268,23	
			1,035	565,00	-427,48	8,15	268,23	
6	GASMIX 3	511,44	1,035	540,82	-455,48	8,12	250,51	
			1,035	540,82	-455,48	8,12	250,51	
7	GASMIX 3	511,44	1,035	527,22	-471,16	8,10	240,72	
			1,035	514,17	-486,16	8,08	231,45	
8	GASMIX 4	511,44	1,035	509,17	-2457,05	8,32	305,17	
			1,035	497,09	-2472,05	8,30	296,03	
9	GASMIX 4	511,44	1,035	352,97	-2647,48	8,04	197,05	
			1,035	340,39	-2662,48	8,02	189,40	
10	GASMIX 4	511,44	1,035	281,39	-2732,16	7,90	155,93	
			1,035	268,57	-2747,16	7,87	149,23	
11	GASMIX 4	511,44	1,034	267,03	-2748,96	7,87	148,43	
			1,034	254,17	-2763,96	7,84	141,96	
12	GASMIX 4	511,44	1,034	205,41	-2820,38	7,73	119,59	
			1,034	196,71	-2830,38	7,71	115,99	
13	GASMIX 4	511,44	1,034	171,48	-2859,26	7,65	106,27	
			1,034	167,10	-2864,26	7,63	104,70	
14	GASMIX 4	511,44	1,034	160,87	-2871,36	7,62	102,52	
			1,034	156,48	-2876,36	7,61	101,03	
15	WATERSTM	60,25	74,08	287,80	1277,79	3,14	331,95	0
			74,08	287,80	1277,79	3,14	331,95	0
16	WATERSTM	67,41	74,08	289,69	1288,12	3,16	336,70	0
			74,08	289,69	1288,12	3,16	336,70	0
17	WATERSTM	67,41	74,58	289,71	1288,20	3,16	336,78	0
			74,58	289,71	1288,20	3,16	336,78	0
18	WATERSTM	67,41	74,08	289,69	2619,20	5,52	950,26	90
			74,08	289,69	2619,20	5,52	950,26	90
19	WATERSTM	60,25	74,08	289,69	2767,10	5,79	1018,43	100
			73,08	288,76	2767,10	5,79	1017,04	100
20	WATERSTM	60,25	72,08	468,76	3332,01	6,68	1311,25	100
			71,68	468,54	3332,01	6,68	1310,52	100
21	WATERSTM	60,25	70,08	522,33	3465,10	6,87	1388,07	100
			67,62	516,64	3454,10	6,87	1376,53	100
22	WATERSTM	17,57	7,66	168,62	713,15	2,03	104,45	0
			7,66	168,62	713,15	2,03	104,45	0
23	WATERSTM	17,57	8,16	168,62	713,21	2,03	104,50	0
			8,16	168,62	713,21	2,03	104,50	0
24	WATERSTM	17,57	7,66	168,62	2355,84	5,75	618,95	80
			7,66	168,62	2355,84	5,75	618,95	80
25	WATERSTM	13,93	7,66	168,62	2766,51	6,68	747,58	100
			7,64	168,54	2766,51	6,68	747,24	100

Çizelge F.1 (devam) : EÜAŞ Ambarlı DKÇS'nin CTP modelinde tüm borulardaki akışkanların termodinamik özellikleri.

Boru no	Ortam	Kütle debisi [kg/s]	Basınç [bar]	Sıcaklık [°C]	Entalpi [kJ/kg]	Entropi [kJ/kg.K]	Exergy [kJ/kg]	Kuruluk derecesi [%]
26	WATERSTM	13,93	7,09	194,58	2832,54	6,86	759,24	100
			6,22	191,46	2830,54	6,91	740,88	100
27	WATERSTM	60,25	6,77	213,47	2862,34	6,94	763,70	100
			6,22	205,84	2862,34	6,98	752,22	100
28	WATERSTM	74,18	6,22	203,12	2856,37	6,96	750,04	100
			6,22	203,12	2856,37	6,96	750,04	100
29	WATERSTM	0,49	2,92	142,56	2745,69	7,05	612,21	100
			1,14	103,25	2680,69	7,32	467,63	100
30	WATERSTM	0,14	0,99	99,33	2602,76	7,17	434,20	97
			0,99	99,33	2602,76	7,17	434,20	97
31	WATERSTM	73,55	0,08	41,98	2318,75	7,40	80,59	89
			0,08	41,98	2318,75	7,40	80,59	89
32	WATERSTM	11005,83	0,98	26,69	111,98	0,39	0,09	0
			0,98	26,69	111,98	0,39	0,09	0
33	WATERSTM	11005,83	2,16	26,70	112,12	0,39	0,21	0
			2,16	26,70	112,12	0,39	0,21	0
34	WATERSTM	11005,83	2,16	30,12	126,45	0,44	0,12	0
			2,16	30,12	126,45	0,44	0,12	0
35	WATERSTM	73,69	0,08	41,98	175,81	0,60	0,83	0
			1,03	40,83	171,11	0,58	0,76	0
36	WATERSTM	73,69	7,45	40,88	171,87	0,58	1,41	0
			7,45	39,78	167,29	0,57	1,26	0
37	WATERSTM	0,14	0,98	99,16	415,54	1,30	28,57	0
			0,98	99,16	415,54	1,30	28,57	0
38	WATERSTM	0,14	0,98	31,25	131,06	0,45	0,01	0
			0,08	31,27	131,06	0,45	-0,08	0
39	WATERSTM	73,69	7,09	40,78	171,43	0,58	1,36	0
			5,09	40,83	171,43	0,58	1,16	0
40	WATERSTM	73,69	3,14	99,66	417,83	1,30	29,18	0
			1,14	99,70	417,83	1,30	29,01	0
41	WATERSTM	74,18	1,14	103,25	432,82	1,34	31,86	0
			1,14	103,25	432,82	1,34	31,86	0
42	WATERSTM	60,25	1,14	103,25	432,82	1,34	31,86	0
			1,14	103,25	432,82	1,34	31,86	0
43	WATERSTM	60,25	1,14	103,25	432,82	1,34	31,86	0
			1,14	103,00	431,76	1,34	31,65	0
44	WATERSTM	60,25	81,00	103,80	441,08	1,34	40,18	0
			80,17	103,81	441,08	1,34	40,11	0
45	WATERSTM	60,25	78,67	161,48	686,25	1,95	101,61	0
			75,97	161,52	686,25	1,95	101,40	0
46	WATERSTM	13,93	1,14	103,25	432,82	1,34	31,86	0
			1,14	103,25	432,82	1,34	31,86	0
47	WATERSTM	13,93	1,14	103,25	432,82	1,34	31,86	0
			1,14	103,00	431,76	1,34	31,65	0
48	WATERSTM	13,93	28,61	103,30	435,07	1,34	34,61	0
			27,69	103,32	435,07	1,34	34,53	0
49	WATERSTM	13,93	7,81	164,61	695,68	1,99	99,04	0
			7,66	164,61	695,68	1,99	99,03	0
50	GASMIX 4	511,44	1,034	125,18	-2911,86	7,52	91,55	
			1,034	125,18	-2911,86	7,52	91,55	

Çizelge F.2 : EÜAŞ Ambarlı DKÇS'nin CTP modelinde tüm borulardaki enerji ve ekserji akış hızları.

Boru no	Toplam enerji akış hızı [kW]	Toplam ekserji akış hızı [kW]
1	7659,42	67,94
	7659,42	67,94
2	173.334,12	160.169,95
	173.334,12	160.169,95
3	481.842,62	455940
	481.842,62	455.283,56
4	654.514,19	461.059,12
	654.514,19	461.059,12
5	353.608,53	137.184,02
	353.608,53	137.184,02
6	339.288,16	128.123,64
	339.288,16	128.123,64
7	331.269,25	123.114,57
	323.597,62	118.375,04
8	441.852,78	156.077,58
	434.181,12	151.404,38
9	344.460,91	100.781,87
	336.789,31	96.865,52
10	301.148,78	79.748,6
	293.477,16	76.323,52
11	292.557,12	75.915,01
	284.885,5	72.604,36
12	256.032,02	61.164,29
	250.917,61	59.322,15
13	236.146,3	54.349,88
	233.589,09	53.546,27
14	229.957,81	52.430,88
	227.400,62	51.670,39
15	69.342,62	20.000,06
	69.342,62	20.000,06
16	78.277,06	22.696,43
	78.277,06	22.696,43
17	78.282,48	22.701,41
	78.282,48	22.701,41
18	168.002,69	64.055,21
	168.002,69	64.055,21
19	159.073,36	61.360,63
	159.073,36	61.276,53
20	193.109,36	79.002,88
	193.109,36	78.959,1
21	201.128,28	83.631,35
	200.465,53	82.935,68
22	10.298,09	1834,64
	10.298,09	1834,64
23	10.299,25	1835,67
	10.299,25	1835,67
24	39.152,73	10.872,15
	39.152,73	10.872,15
25	36.780,67	10.416,73
	36.780,67	10.412,08

Çizelge F.2 (devam) : EÜAŞ Ambarlı DKÇS'nin CTP modelinde tüm borulardaki enerji ve ekserji akış hızları

Boru no	Toplam enerji akış hızı [kW]	Toplam ekserji akış hızı [kW]
26	37.700,69	10.579,22
	37.672,82	10.323,36
27	164.811,94	46.012,78
	164.811,94	45.321,47
28	202.484,75	55.641,32
	202.484,75	55.641,32
29	1287,07	300,88
	1255,12	229,82
30	345,78	60,64
	345,78	60,64
31	161.218,77	5927,59
	161.218,77	5927,59
32	163.891,94	965,6
	163.891,94	965,6
33	162.356,3	2268,16
	162.356,3	2268,16
34	4743,07	1297,17
	4743,07	1297,17
35	3606,22	61,4
	3259,86	55,91
36	3315,95	103,87
	2977,98	93
37	40,31	3,99
	40,31	3,99
38	0,58	0
	0,58	-0,01
39	3283,44	100,19
	3283,44	85,84
40	21.441,26	2150,23
	21.441,26	2137,71
41	22.696,09	2363,36
	22.696,09	2363,36
42	18.433,08	1919,45
	18.433,08	1919,45
43	18.433,08	1919,45
	18.369,51	1907,14
44	18.930,79	2420,99
	18.930,79	2416,79
45	33.702,11	6121,78
	33.702,11	6109,31
46	4263,01	443,91
	4263,01	443,91
47	4263,01	443,91
	4248,31	441,06
48	4294,43	482,26
	4294,43	481,18
49	7925,69	1380,04
	7925,69	1379,88
50	209.242,8	46.821,6
	209.242,8	46.821,6

Çizelge F.3 : EÜAŞ Ambarlı DKÇS'nin CTP modelinde ekipmanların enerji kayıpları.

Ekipman no	Ekipman adı	Ekipman tipi	Enerji kaybı [kW]
5	Gaz türbini	3	300.905,66
20	Yüksek basınç buhar türbini	3	35.653,59
22	Alçak basınç buhar türbini	3	39.633,14
24	Yoğuşturucu	4	-0,1
29	Sızıntı buharı yoğuşturucu	5	0
	AIGKK	6	973.958,88
31	Besleme suyu tankı	7	0,29
17	Yüksek basınç devridaim pompası	8	-5,41
19	Alçak basınç devridaim pompası	8	-1,15
26	Soğutma suyu pompası	8	-1535,64
28	Ana yoğuşmuş su pompası	8	-56,09
34	Yüksek basınç besleme suyu pompası	8	-561,28
36	Alçak basınç besleme suyu pompası	8	-46,12
3	Doğal gaz kaynağı	10	41.671,33
1	Hava filtresi	10	41724,7
50	Baca	10	-1.489.248
4	Yanma odası	13	5,31
16	Yüksek basınç kubbesi	15	-5,11
18	Alçak basınç kubbesi	15	-0,34
2	Kompresör	29	-165.674,7
3	Boru		0
7	Boru		-7671,62
8	Boru		-7671,62
9	Boru		-7671,62
10	Boru		-7671,62
11	Boru		-7671,62
12	Boru		-5114,42
13	Boru		-2557,21
14	Boru		-2557,21
19	Boru		0
20	Boru		0
21	Boru		-662,75
25	Boru		0
26	Boru		-27,87
27	Boru		0
29	Boru		-31,95
35	Boru		-346,35
36	Boru		-337,97
38	Boru		0
39	Boru		0
40	Boru		0
43	Boru		-63,57
44	Boru		0
45	Boru		0
47	Boru		-14,7
48	Boru		0
49	Boru		0

Çizelge F.4 : EÜAŞ Ambarlı DKÇS'nin CTP modelinde sistem verimleri.

	No	Ekipman	Tip	Enerji [kW]	Toplam [kW]	Exerji [kW]	Toplam [kW]
Çekien güç	3	Yakıt kaynağı	10	434.749,4		455.940	
					434749,4		455.940
İletilen brüt güç	6	Jeneratör		127.937,4		127.937,4	
	23	Jeneratör		730.43,19		730.43,19	
					200.980,6		200.980,6
Harcanan güç	17	Yüksek basınç devridaim pompası	8	5,47		5,47	
	19	Alçak basınç devridaim pompası	8	1,16		1,16	
	26	Soğutma suyu pompası	8	1551,15		1551,15	
	28	Ana yoğunlaşmış su pompası	8	56,66		56,66	
	34	Yüksek basınç besleme suyu pompası	8	566,95		566,95	
	36	Alçak basınç besleme suyu pompası	8	46,58		46,58	
					2227,97		2227,97
İletilen net güç				198.752,7		198.752,7	
Verimler	Brüt			%46,23		%44,08	
	Net			%45,72		%43,59	

Çizelge F.5 : EÜAŞ Ambarlı DKÇS'nin CTP modelinde borulardaki gaz karışımlarının bileşimleri (mol dağılımı).

Boru no	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	50
Bileşen															
N2	0,7729	0,7729	0,1432	0,7508	0,7508	0,7508	0,7508	0,7049	0,7049	0,749	0,7049	0,7049	0,7049	0,7049	0,7049
O2	0,2075	0,2075	0,0001	0,1400	0,1400	0,1400	0,1400	0	0	0	0	0	0	0	0
H2O	0,0101	0,0101	0	0,0693	0,0693	0,0693	0,0693	0,1919	0,1919	0,1919	0,1919	0,1919	0,1919	0,1919	0,1919
AR	0,0092	0,0092	0	0,0089	0,0089	0,0089	0,0089	0,0082	0,0082	0,0082	0,0082	0,0082	0,0082	0,0082	0,0082
CO2	0,0003	0,0003	0,0089	0,0311	0,0311	0,0311	0,0311	0,0950	0,0950	0,0950	0,0950	0,0950	0,0950	0,0950	0,0950
CH4	0	0	0,8129	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C2H6	0	0	0,0287	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C3H8	0	0	0,0038	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C4H10	0	0	0,0015	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C5H12	0	0	0,0004	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C6H14	0	0	0,0005	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MOL kütlesi [kg/kmol]	28,85	28,85	18,64	28,48	28,48	28,48	28,48	27,71	27,71	27,71	27,71	27,71	27,71	27,71	27,71
AİD [kJ/mol]	000	000	708,16	000	000	000	000	000	000	000	000	000	000	000	000
ÜİD [kJ/mol]	000	000	784,33	000	000	000	000	000	000	000	000	000	000	000	000
RH	0,2306	0,0007	0	*****	*****	*****	*****	*****	0,0013	0,0033	0,0042	0,0125	0,0255	0,0332	0,0850
Kuruluk derecesi [%]	6,35	6,35	0	45,81	45,81	45,81	45,81	142,53	142,53	142,53	142,53	142,53	142,53	142,53	142,53

Çizelge F.6 : EÜAŞ Ambarlı DKÇS'nin CTP modelinde sistemin enerji dengesi.

Ekipman no	Ekipman adı	Ekipman tipi	Ekipmandan taşınan güç/ısı değeri		
			Entalpi akışına dayalı [MW]	1 Numaralı enerji tanımına dayalı [MW]	2 Numaralı enerji tanımına dayalı [MW]
5	Gaz türbini	3	300,906	30,906	300,906
20	Yüksek basınç buhar türbini	3	35,654	35,654	35,654
22	Alçak basınç buhar türbini	3	39,633	39,633	39,633
24	Yoğuşturucu	4	0,000	0,000	0,000
29	Sızıntı buharı yoğuşturucu	5	0,000	0,000	0,000
7	Isı değiştirici	6	0,000	0,000	0,000
8	Isı değiştirici	6	973,959	-152,291	-51,721
9	Isı değiştirici	6	0,000	0,000	0,000
10	Isı değiştirici	6	0,000	0,000	0,000
11	Isı değiştirici	6	0,000	0,000	0,000
12	Isı değiştirici	6	0,000	0,000	0,000
13	Isı değiştirici	6	0,000	0,000	0,000
14	Isı değiştirici	6	0,000	0,000	0,000
15	Isı değiştirici	6	0,000	0,000	0,000
31	Besleme suyu tankı	7	0,000	0,000	0,000
17	Yüksek basınç devridaim pompası	8	-0,005	-0,005	-0,005
19	Alçak basınç devridaim pompası	8	-0,001	-0,001	-0,001
26	Soğutma suyu pompası	8	-1,536	-1,536	-1,536
28	Ana yoğuşmuş su pompası	8	-0,056	-0,056	-0,056
34	Yüksek basınç besleme suyu pompası	8	-0,561	-0,561	-0,561
36	Alçak basınç besleme suyu pompası	8	-0,046	-0,046	-0,046
3	Yakıt kaynağı	10	41,671	-481,180	-434,418
1	Hava filtersi	10	41,725	-7,659	0,000
50	Baca	10	-1,489,248	209,243	54,251
4	Yanma odası	13	0,005	0,000	0,000
33	Vana	14	0,000	0,000	0,000
35	Vana	14	0,000	0,000	0,000
16	Kubbe	15	-0,005	-0,005	-0,005
18	Kubbe	15	0,000	0,000	0,000
2	Kompresör	29	-165,675	-165,675	-165,675
3	Boru		0,000	0,000	0,000
7	Boru		7,672	7,672	7,672
8	Boru		7,672	7,672	7,672
9	Boru		7,672	7,672	7,672
10	Boru		7,672	7,672	7,672
11	Boru		7,672	7,672	7,672
12	Boru		5,114	5,114	5,114
13	Boru		2,557	2,557	2,557
14	Boru		2,557	2,557	2,557
19	Boru		0,000	0,000	0,000
20	Boru		0,000	0,000	0,000
21	Boru		0,663	0,663	0,663
25	Boru		0,000	0,000	0,000
26	Boru		0,028	0,028	0,028
27	Boru		0,000	0,000	0,000
29	Boru		0,032	0,032	0,032
35	Boru		0,346	0,346	0,346
36	Boru		0,338	0,338	0,338
38	Boru		0,000	0,000	0,000
39	Boru		0,000	0,000	0,000
40	Boru		0,000	0,000	0,000
43	Boru		0,064	0,064	0,064
44	Boru		0,000	0,000	0,000
45	Boru		0,000	0,000	0,000
47	Boru		0,015	0,015	0,015
48	Boru		0,000	0,000	0,000
49	Boru		0,000	0,000	0,000

Not: 1 Numaralı Enerji tanımı: Entalpi eksi çevresel entalpi (sıvı su için) artı üst ısııl değer.

2 Numaralı Enerji tanımı: Entalpi eksi çevresel entalpi (sıvı su için) artı alt ısııl değer.

Çizelge F.7 : EÜAŞ Ambarlı DKÇS'nin CTP modelinde yakıt ısı değerleri.

Boru no	MJ/kg Sıvı		MJ/kg Sıvı (su hariç)	
	AİD	ÜİD	AİD	ÜİD
3	37,9972	42,0842	37,9972	42,0842

Şartlar: Sıcaklık: 30,25°C, basınç 0,98 bar

Çizelge F.8 : EÜAŞ Ambarlı CTP modelinde boru kayıpları.

Boru no	Toplam basınç azalması [bar]	Sıcaklık azalışı [°C]	Entalpi azalışı [kJ/kg]	Entropi artışı [kJ/kg.K]	Ekserji kaybı [kJ/kg]
3	6,02	0,00	0,00	0,1891	57,37
7	0,00	13,05	15,00	-0,0189	9,27
8	0,00	12,07	15,00	-0,0193	9,14
9	0,00	12,58	15,00	-0,0242	7,66
10	0,00	12,82	15,00	-0,0274	6,70
11	0,00	12,86	15,00	-0,0281	6,47
12	0,00	8,70	10,00	-0,0211	3,60
13	0,00	4,38	5,00	-0,0113	1,57
14	0,00	4,39	5,00	-0,0116	1,49
19	1,00	0,93	0,00	0,0046	1,40
20	0,40	0,22	0,00	0,0024	0,73
21	2,46	5,69	11,00	0,0018	11,55
25	0,02	0,07	0,00	0,0011	0,33
26	0,87	3,12	2,00	0,0539	18,36
27	0,55	7,63	0,00	0,0378	11,47
29	1,79	39,31	65,00	0,2623	144,58
35	-0,95	1,14	4,70	-0,0152	0,07
36	0,00	1,10	4,59	-0,0146	0,15
38	0,90	-0,02	0,00	0,0003	0,09
39	2,00	-0,04	0,00	0,0006	0,19
40	2,00	-0,04	0,00	0,0006	0,17
43	0,00	0,25	1,06	-0,0028	0,20
44	0,83	-0,01	0,00	0,0002	0,07
45	2,70	-0,04	0,00	0,0007	0,21
47	0,00	0,25	1,06	-0,0028	0,20
48	0,92	-0,02	0,00	0,0003	0,08
49	0,15	0,00	0,00	0,0000	0,01
Borulardaki toplam kayıplar			50.072,12 [kJ/s]		293,13 [kJ/s]

Çizelge F.9 : EÜAŞ Ambarlı CTP modelinde iletilen ekserji, ekserji kayıpları ve ekserji verimleri.

Ekipman no	Ekipman adı	Ekipman tipi	Sistemden iletilen ekserji [kJ/s]			Ekserji kaybı/ Toplam ekserji girişi [%]	Ekserji verimi [%]	
			Toplam	Güç,Isı	Kayıplar		1	2
5	Gaz türbini	3	323.875,10	297.896,59	25.978,51	5,70	91,98	94,37
20	Yüksek basınç buhar türbini	3	36.922,90	35.297,06	1625,84	0,36	95,60	98,04
22	Alçak basınç buhar türbini	3	49.352,21	39.236,81	10.115,40	2,22	79,50	81,82
24	Yoğuşturucu	4	6837,17	0,00	6837,17	1,50	-16,55	16,58

Çizelge F.9 (devam) : EÜAŞ Ambarlı CTP modelinde iletilen ekserji, ekserji kayıpları ve ekserji verimleri.

Ekipman no	Ekipman adı	Ekipman tipi	Sistemden iletilen ekserji [kJ/s]			Ekserji kaybı/ Toplam ekserji girişi [%]	Ekserji verimi [%]	
			Toplam	Güç,Isı	Kayıplar		1	2
29	Sızıntı buharı yoğunlaştırıcı	5	49,46	0,00	4946	0,01	12,69	67,81
7	Isı değiştirici	6	336,81	0,00	336,81	0,07	93,28	99,84
8	Isı değiştirici	6	-55.428,89	0,00	-55.428,89	-12,16	-47,02	130,85
			1.027.208,55	0,00	1.027.208,55	225,26	1)	
9	Isı değiştirici	6	9268,70	0,00	9268,70	2,03	81,69	94,68
10	Isı değiştirici	6	3226,17	0,00	3226,17	0,71	81,15	96,87
11	Isı değiştirici	6	241,38	0,00	241,38	0,05	40,91	99,72
12	Isı değiştirici	6	2403,59	0,00	2403,59	0,53	78,99	96,77
13	Isı değiştirici	6	1267,28	0,00	1267,28	0,28	74,51	97,95
14	Isı değiştirici	6	216,53	0,00	216,53	0,05	80,59	99,60
15	Isı değiştirici	6	2784,40	0,00	2784,40	0,61	42,58	94,62
31	Besleme suyu tankı	7	4,18	0,00	4,18	0,00	98,05	99,82
17	Yüksek basınç devridaim pompası	8	-4,98	-5,47	0,49	0,00	91,00	100,00
19	Alçak basınç devridaim pompası	8	-1,03	-1,16	0,13	0,00	88,80	99,99
26	Soğutma suyu pompası	8	-1302,56	-1551,15	248,59	0,05	83,97	90,12
28	Ana yoğunlaşmış su pompası	8	-47,96	-56,66	8,70	0,00	84,65	92,28
34	Yüksek basınç besleme suyu pompası	8	-513,85	-566,95	53,10	0,01	90,63	97,85
36	Alçak basınç besleme suyu pompası	8	-41,19	-46,58	5,39	0,00	88,43	98,89
21	Buhar karıştırıcı	9	3,51	0,00	3,51	0,00	-	99,99
32	Besleme suyu tankı çıkışı	9	0,00	0,00	0,00	0,00	-	100,00
6	Gaz türbini AIGKK bağlantısı	10	9060,39	0,00	9060,39	1,99	-	93,40
30	Su tankı	10	3,99	0,00	3,99	0,00	-	0,02
4	Yanma odası	13	154.394,39	0,00	154.394,39	33,86	65,32	74,91
			153.243,27	0,00	153.243,27	33,61	1)	
33	Valf	14	0,00	0,00	0,00	0,00	-	100,00
35	Valf	14	0,00	0,00	0,00	0,00	-	100,00
16	Yüksek basınç kubbesi	15	-1,79	0,00	-1,79	0,00	99,99	100,00
18	Alçak basınç kubbesi	15	0,66	0,00	0,66	0,00	100,04	99,99
2	Kompresör	29	-160.102,01	167.348,19	7246,18	1,59	95,67	95,67
3	Boru		656,42		656,42	0,14		
7	Boru		4739,54		4739,54	1,04		
8	Boru		4673,21		4673,21	1,02		
9	Boru		3916,34		3916,34	0,86		
10	Boru		3425,08		3425,08	0,75		
11	Boru		3310,65		3310,65	0,73		
12	Boru		1842,14		1842,14	0,40		
13	Boru		803,61		803,61	0,18		
14	Boru		760,49		760,49	0,17		
19	Boru		84,11		84,11	0,02		
20	Boru		43,77		43,77	0,01		
21	Boru		695,68		695,68	0,15		
25	Boru		4,65		4,65	0,00		
26	Boru		255,86		255,86	0,06		
27	Boru		691,31		691,31	0,15		
29	Boru		71,06		71,06	0,02		

Çizelge F.9 (devam) : EÜAŞ Ambarlı CTP modelinde iletilen ekserji, ekserji kayıpları ve ekserji verimleri.

Ekipman no	Ekipman adı	Ekipman tipi	Sistemden iletilen ekserji [kJ/s]			Ekserji kaybı/Toplam ekserji girişi [%]	Ekserji verimi [%]	
			Toplam	Güç,Isı	Kayıplar		1	2
35	Boru		5,49		5,49	0,00		
36	Boru		10,87		10,87	0,00		
38	Boru		0,01		0,01	0,00		
39	Boru		14,35		14,35	0,00		
40	Boru		12,51		12,51	0,00		
43	Boru		12,31		12,31	0,00		
44	Boru		4,20		4,20	0,00		
45	Boru		12,48		12,48	0,00		
47	Boru		2,85		2,85	0,00		
48	Boru		1,08		1,08	0,00		
49	Boru		0,16		0,16	0,00		
Ortama-Ortamdan								
3	Yakıt kaynağı	10	455.939,99	-455.939,99	0,00	0,00		
25	Deniz suyu geliş	10	-965,60	0,00	-965,60	-0,21		
27	Deniz suyu dönüş	10	1297,17	0,00	1297,17	0,28		
1	Hava filtresi	10	-67,94	-67,94	0,00	0,00		
50	Baca	10	46.821,60	0,00	46.821,60	10,27		
	Toplam:		0,00	-253.153,63	253.153,63	55,52		

Çizelge F.10 : EÜAŞ Ambarlı CTP modelinde ekipman verimleri.

Ekipman no	Ekipman adı	Ekipman tipi	İzantropik verim [%]		Mekanik verim [%]		Egzoz kayıpları [kJ/kg]
5	Gaz türbini	3	83,48	Hesaplanan	99,00	Girilen	
20	Yüksek basınç buhar türbini	3	92,50	Girilen	99,00	Girilen	14,00
22	Alçak basınç buhar türbini	3	79,70	Girilen	99,00	Girilen	65,00
17	Yüksek basınç devridaim pompası	8	85,00	Girilen	100,00	Sabit	
19	Alçak basınç devridaim pompası	8	85,00	Girilen	100,00	Sabit	
2	Kompresör	29	93,19	Hesaplanan	100,00	Sabit	
26	Soğutma suyu pompası	8	85,00	Girilen	100,00	Sabit	
28	Ana yoğuşmuş su pompası	8	85,00	Girilen	100,00	Sabit	
34	Yüksek basınç besleme suyu pompası	8	89,50	Hesaplanan	100,00	Sabit	
36	Alçak basınç besleme suyu pompası	8	86,75	Hesaplanan	100,00	Sabit	

Çizelge F.11 : EÜAŞ Ambarlı CTP modelinde elektriki ekipman verimleri.

Ekipman no	Ekipman adı	Ekipman tipi	Mekanik verim [%]		Elektirki verim [%]		Toplam verim [%]	
23	Buhar türbini jeneratörü						98,00	Girilen
6	Gaz türbini jeneratörü						98,00	Girilen
17	Yüksek basınç devridaim pompası	8	99,00	Girilen	100,00	Sabit	99,00	Girilen
19	Alçak basınç devridaim pompası	8	99,00	Girilen	100,00	Sabit	99,00	Girilen
26	Soğutma suyu pompası	8	99,00	Girilen	100,00	Sabit	99,00	Girilen
28	Ana kondensat pompası	8	99,00	Girilen	100,00	Sabit	99,00	Girilen
34	Yüksek basınç besli suyu pompası	8	99,00	Girilen	100,00	Sabit	99,00	Girilen
36	Alçak basınç besli suyu pompası	8	99,00	Girilen	100,00	Sabit	99,00	Girilen

Çizelge F.12 : EÜAŞ Ambarlı CTP modelinde ısı değiştirici değerleri.

Ekipman no	Ekipman adı	Ekipman tipi	Ekipmanda ısı transferi [kJ/s]	Yüksek sıcaklıklar farkı [°C]	Süşük sıcaklıklar farkı [°C]	Akış Yönü
24	Yoğuşturucu	4	157.613,24	11,86	15,28	Ters
29	Sızıntı buharı yoğuşturucu	5	305,47	58,54	59,37	Ters
7	Isı değiştirici	6	8018,92	18,49	58,67	Ters
8	Isı değiştirici	6	34.035,99	45,41	220,41	Ters
9	Isı değiştirici	6	89.720,22	207,40	63,26	Ters
10	Isı değiştirici	6	35.640,52	52,59	119,87	Ters
11	Isı değiştirici	6	920,02	73,99	98,49	Ters
12	Isı değiştirici	6	28.853,49	85,55	36,79	Ters
13	Isı değiştirici	6	14.771,31	35,23	67,67	Ters
14	Isı değiştirici	6	3631,26	2,49	57,55	Ters
15	Isı değiştirici	6	18.157,82	56,82	84,35	Ters

Çizelge F.13 : EÜAŞ Ambarlı CTP modelinde dizayn dışı değer girişi yapılan ekiplanların listesi.

Ekipman no	Ekipman adı	Ekipman tipi
22	Alçak basınç buhar türbini	3

Çizelge F.14 : EÜAŞ Ambarlı CTP modelinde kullanılan ekipmanların dizayn değerleri.

5 numaralı türbin

Bağlı boru sayısı: 2
Giriş hacimsel debisi:
173,3542 m³/s

Boru no	Basınç [bar]	Özgül hacim [m ³ /kg]	Kütlesel debi [kg/s]	
5	1,0349	2,36412	511,4416	Çıkış
4	11,3955	0,33895	511,4416	Giriş

20 numaralı türbin

Bağlı boru sayısı: 2
Giriş hacimsel debisi:
3,0894 m³/s

Boru no	Basınç [bar]	Özgül hacim [m ³ /kg]	Kütlesel debi [kg/s]	
27	6,7680	0,31617	60,2500	Çıkış
21	67,6210	0,05128	6,2500	Giriş

2 numaralı kompresör

Hacimsel debi [m ³ /s]	İzantropik verim	Basınç katsayısı
444,37000	0,93000	111,58000

Isı değiştiriciler

Ekipman no	Sıcaklık farkı		Faktör	Kütlesel debi oranı
	Yüksek	Düşük		
24	11,86	15,28	11676,4	11005,8
29	58,54	59,37	5,18119	73,6925
7	18,49	58,67	230,441	60,2500
8	45,41	220,41	307,258	60,2500
9	207,40	63,26	739,089	67,4081
10	52,59	119,87	436,434	60,2500
11	73,99	98,49	10,7407	13,9340
12	85,55	36,79	499,358	17,5655
13	35,23	67,67	297,241	60,2500
14	2,49	57,55	207,021	13,9340
15	56,82	84,35	260,592	73,6925

ÖZGEÇMİŞ



Ad Soyad : Serdar ÇİLOĞLU

E-posta : serdar.ciloglu@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans :** 2009, Yıldız Teknik Üniversitesi - Makina Mühendisliği

MESLEKİ DENEYİMLER:

- 2012-2014 yılları arasında Temsa Global A.Ş.'de Ar-Ge Proje Mühendisi olarak çalıştı.
- 2014-2015 yılları arasında Aksa Jeneratör A.Ş.'de Mekanik Dizayn Mühendisi olarak çalıştı.
- 2015 yılında GE Marmara Technology Center Müh. Hizm. LTD.ŞTİ.'de Ar-Ge Dizayn Mühendisi olarak çalıştı.
- 2015 yılından bu yana Türk Hava Yolları A.O.'da İkinci Pilot olarak çalışmaktadır.