

**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ ENERJİ ENSTİTÜSÜ**

**BİRLEŞİK ÇEVİRİMLİ KOJENERASYON TESİSİNİN  
PERFORMANSINA HAVA ŞARTLARININ, YÜK FAKTÖRÜNÜN  
VE ARA SOĞUTMANIN ETKİSİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
Mak. Müh. Hidayet Volkan YENER**

**Anabilim Dalı : Enerji Bilim ve Teknoloji**

**Programı : Enerji Bilim ve Teknoloji**

**OCAK 2009**

**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ ENERJİ ENSTİTÜSÜ**

**BİRLEŞİK ÇEVİRİMLİ KOJENERASYON TESİSİNİN  
PERFORMANSINA HAVA ŞARTLARININ, YÜK FAKTÖRÜNÜN  
VE ARA SOĞUTMANIN ETKİSİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
Mak. Müh. Hidayet Volkan YENER  
(301051034)**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 29 Aralık 2008**

**Tezin Savunulduğu Tarih : 20 Ocak 2009**

**Tez Danışmanı : Prof. Dr. Ahmet DURMAYAZ (İTÜ)  
Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Oğuz Salim SÖĞÜT (İTÜ)  
Prof. Dr. Ahmet BAYÜLKEN (İTÜ)**

**OCAK 2009**



## ÖNSÖZ

Bu çalışmada, ENTEK Elektrik Üretimi A.Ş. Bursa Kojenerasyon Tesisi incelenerek, Cycle-Tempo 5.0. isimli termodinamik analiz programında tesisin basitleştirilmiş bir modeli oluşturularak, meteorolojik şartların değişimine bağlı olarak, farklı gaz türbini yüklerine ve buhar türbininden farklı buhar çekişlerine bağlı olarak tesisin performansının değişimi incelenmiştir. Bununla birlikte, ara soğutma yapılmasının, tesisin ısı verimi veya yararlanma oranını nasıl etkilediği de araştırılmıştır.

Bu tez çalışması ile, bilgisayarlı analiz programlarının önemi kavranmış, güç santralleri için değişik modellemeler ile parametrik analizler yapılabileceği ve bu konunun oldukça geniş ve araştırmaya açık olduğu öğrenilmiştir. Değişik santraller için bu tarz çalışmaların yapılması ve ülkemizin sıfırdan santral tasarımını yapabilen ve yönetebilen mühendislerle sahip olması gerektiği kanısındayım. Beni bu konuda çalışmaya sevk eden, bilgi ve tecrübeleri ile bana yol gösteren, yardımlarını esirgemeyen çok değerli hocam Prof. Dr. Ahmet DURMAYAZ ile bilgi ve deneyimi ile bu çalışmayı destekleyen Prof. Dr. Oğuz Salim SÖĞÜT'e teşekkürlerimi sunarım. Tez çalışmam sırasında emeği geçen müdürlerime, iş arkadaşlarıma, çok sevdiğim dostlarıma, haklarını hiçbir zaman ödeyemeyeceğim sevgili Anneme ve Babama, bugüne kadar üzerimde emeği olan tüm öğretmenlerime, acı ve tatlı her anımda yanımda olan Sezin KAVRAZ'a teşekkürü bir borç bilirim.

Aralık 2008

Hidayet Volkan YENER

Makine Mühendisi



## İÇİNDEKİLER

### Sayfa

<b>ÖZET</b> .....	<b>xv</b>
<b>SUMMARY</b> .....	<b>xvii</b>
<b>1. GİRİŞ</b> .....	<b>1</b>
<b>2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI</b> .....	<b>5</b>
<b>3. ENTEK E.Ü.A.Ş. BURSA DOĞALGAZ KOJENERASYON TESİSİ</b> .....	<b>23</b>
3.1 Gaz Türbini Elektrik Üreticisi Grubu.....	27
3.2 Buhar Türbini Elektrik Üreticisi Grubu .....	29
3.3 Atık Isı Buhar Üreticisi .....	30
3.3.1 Yüksek basınçlı buhar üretimi .....	33
3.3.2 Orta basınçlı buhar üretimi .....	34
3.3.3 Alçak basınçlı buhar üretimi .....	35
3.3.4 Isıtıcılar .....	35
3.3.5 Buharlaştırıcılar.....	35
3.3.6 Kızdırıcılar .....	36
3.3.7 Doymuş sıvı buhar ayırıcı kazan.....	36
3.3.8 Kazandan ani buhar atış yöntemleri.....	39
3.3.8.1 Sürekli ani buhar atışı .....	39
3.3.8.2 Kesikli ani buhar atışı .....	39
3.4 Saf Su İlave Sistemi .....	40
3.5 Besi Suyu Sistemi.....	40
3.6 NO <sub>x</sub> Su Püskürtme Sistemi.....	40
3.7 Atık Isı Buhar Üreticisi Köprüleme Bacası.....	41
3.8 Gazsızlaştırma Ünitesi.....	41
3.9 ENTEK E.Ü.A.Ş. Bursa Doğalgaz Kojenerasyon Tesisi Enerji Dengesi Diyagramı .....	42
<b>4.0 CYCLE-TEMPO PROGRAMI</b> .....	<b>45</b>
4.1 Cycle-Tempo Programında Kullanılan Ekipmanlar.....	47
4.1.1 Türbin (Tip 3).....	47
4.1.2 Yoğuşturucu (Tip 4).....	48
4.1.3 Besleme suyu ısıtıcısı (Tip 5).....	49
4.1.4 Standart ısı değiştirici (Tip 6 ve 12).....	50
4.1.5 Gazsızlaştırma ünitesi (Tip 7) .....	50
4.1.6 Pompa (Tip 8) .....	51
4.1.7 Nokta (karıştırıcı ve ayırıcı) (Tip 9 ve 11).....	52
4.1.8 Kaynak (Tip 10) .....	52
4.1.9 Isı kaynağı veya ısı kuyusu (Tip 10).....	53
4.1.10 Baca (Tip 10) .....	54
4.1.11 Yanma odası (Tip 13) .....	54
4.1.12 Vana (Tip 14) .....	55
4.1.13 Doymuş sıvı buhar ayırıcı kazan (Tip 15) .....	55
4.1.14 Kompresör (Tip 29) .....	56
4.1.15 Gaz türbini grubu (Tip 30) .....	56

4.1.16 Elektrik üreticisi (Tip G).....	57
4.2 Cycle-Tempo Programının Kullanılışı .....	58
4.3 Cycle-Tempo Programının Temel Çalışma Prensibi.....	60
<b>5. ENTEK E.Ü.A.Ş. BURSA KOJENERASYON TESİSİNİN CYCLE-TEMPO PROGRAMINDA MODELLENMESİ .....</b>	<b>67</b>
5.1 Brayton Çevimi Modellenmesi.....	67
5.2 Atık Isı Buhar Üreticisinin Modellenmesi .....	73
5.3 Gazsızlaştırma Ünitesinin Modellenmesi.....	75
5.4 Diğer Ünitelerin Modellenmesi.....	76
<b>6. SONUÇ VE ÖNERİLER .....</b>	<b>79</b>
6.1 Bütün Borulardaki Akışkanların Termodinamik Özelliklerinin Belirlenmesi ..	79
6.2 Cycle-Tempo Programı İle Yapılan Analizler .....	79
6.2.1 Hava sıcaklığı değişiminin tesisin performans parametrelerine etkisi.....	79
6.2.2 Bağıl nem değişiminin tesisin performans parametrelerine etkisi .....	87
6.2.3 Hava basıncı değişiminin tesisin performans parametrelerine etkisi.....	90
6.2.4 Farklı yüklerde çalışmanın tesisin performans parametrelerine etkisi.....	92
6.2.5 Buhar türbininden çekilen buharın miktarına bağlı olarak değişiminin incelenmesi.....	97
6.3 Öneriler.....	98
<b>KAYNAKLAR.....</b>	<b>99</b>
<b>EKLER.....</b>	<b>103</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>129</b>

## KISALTMALAR

<b>AB</b>	: Alçak Basınç (LP: Low Pressure)
<b>ABB</b>	: Alçak Basınç Buharlaştırıcısı (LPevap: Low Pressure Evaporator)
<b>ABI</b>	: Alçak Basınç Isıtıcısı (LPeco: Low Pressure Economizer)
<b>ABK</b>	: Alçak Basınç Kızdırıcısı (LPS: Low Pressure Superheater)
<b>AIBÜ</b>	: Atık Isı Geri Kazanımlı Buhar Üreticisi (WHRSG: Waste Heat Recovery Steam Generator)
<b>AID</b>	: Alt Isıl Değer
<b>AS</b>	: Ara Soğutma (SPRINT: Spray Intercooling)
<b>BESS</b>	: Buhar Emilimli Soğutma Sistemi
<b>BSKB</b>	: Buhar Sıcaklığı Kontrol Bölümü (Desuperheater)
<b>BTEÜ</b>	: Buhar Türbini Elektrik Üreticisi (STG: Steam Turbine Generator)
<b>CTP</b>	: Cycle-Tempo Programı
<b>DKS</b>	: Dağıtılmış Kontrol Sistemi
<b>DKT</b>	: Doğalgaz Kojenerasyon Tesisi
<b>DSBAK</b>	: Doymuş Sıvı Buhar Ayırıcı Kazan (Drum)
<b>E.Ü.A.Ş.</b>	: Elektrik Üretimi Anonim Şirketi
<b>EV</b>	: Emniyet Vanası
<b>GE</b>	: General Electric
<b>GTEÜ</b>	: Gaz Türbini Elektrik Üreticisi (GTG: Gas Turbine Generator)
<b>OB</b>	: Orta Basınç (IP: Intermediate Pressure)
<b>OBV</b>	: Orta Basınç Buharlaştırıcısı (IPEvap: Intermediate Pressure Evaporator)
<b>OBI</b>	: Orta Basınç Isıtıcısı (IPEco: Intermediate Pressure Economizer)
<b>OBK</b>	: Orta Basınç Kızdırıcısı (IPS: Intermediate Pressure Superheater)
<b>SIGS</b>	: Soğutma, Isıtma ve Güç Sistemi
<b>TÇS</b>	: Türbin Çıkış Sıcaklığı
<b>TGS</b>	: Türbin Giriş Sıcaklığı
<b>YB</b>	: Yüksek Basınç (HP: High Pressure)
<b>YBV</b>	: Yüksek Basınç Buharlaştırıcısı (HPEvap: High Pressure Evaporator)
<b>YBGKTM</b>	: Yüksek Basınçlı Geri Kazanımlı Türbin Motoru
<b>YBI</b>	: Yüksek Basınç Isıtıcısı (HPEco: High Pressure Economizer)
<b>YBK</b>	: Yüksek Basınç Kızdırıcısı (HPS: High Pressure Superheater)





## ÇİZELGE LİSTESİ

### Sayfa

<b>Çizelge 4.1</b> : Cycle-Tempo Programı ekipman listesi, sistem eşitliği ve semboller [35]. .....	45
<b>Çizelge 4.2</b> : Hesaplama için başlangıç değerleri .....	63
<b>Çizelge 6.1</b> : Ara soğutma yapılmaması halinde sadece Brayton çevriminin incelenmesi. ....	80
<b>Çizelge 6.2</b> : Ara soğutma yapılması halinde sadece Brayton çevrimi için yapılan inceleme sonuçları. ....	81
<b>Çizelge 6.3</b> : Ara soğutma yapılmaması halinde, birleşik çevrim ve kojenerasyon uygulamasının incelenmesinin sonuçları. ....	82
<b>Çizelge 6.4</b> : Ara soğutma yapılması halinde, birleşik çevrim ve kojenerasyon uygulamasının incelenmesinin sonuçları. ....	82
<b>Çizelge 6.6</b> : 0°C hava sıcaklığı için bağıl nem analizi sonuçları.....	88
<b>Çizelge 6.7</b> : 15°C hava sıcaklığı için bağıl nem analizi sonuçları.....	89
<b>Çizelge 6.8</b> : 40°C hava sıcaklığı için bağıl nem analizi sonuçları.....	89
<b>Çizelge 6.9</b> : Farklı hava basınçları için bağıl nemin, ara soğutma olması halinde gaz türbini gücünün, yakıt ısıl gücünün ve gaz türbini çevriminin ısıl veriminin incelenmesi.....	91
<b>Çizelge 6.10</b> : -10°C sıcaklıkta farklı yük oranları için buhar türbini gücü, gaz türbini gücü, satılan buharın elektrik eşdeğeri, giriş havası debisi, yakıt ısıl gücü, ısıl verim ve yararlanma oranının incelenmesi sonuçları.....	92
<b>Çizelge 6.11</b> : 0°C sıcaklıkta farklı yük oranları için buhar türbini gücü, gaz türbini gücü, satılan buharın elektrik eşdeğeri, giriş havası debisi, yakıt ısıl gücü, ısıl verim ve yararlanma oranının incelenmesi sonuçları.....	92
<b>Çizelge 6.12</b> : 15°C sıcaklıkta farklı yük oranları için buhar türbini gücü, gaz türbini gücü, satılan buharın elektrik eşdeğeri, giriş havası debisi, yakıt ısıl gücü, ısıl verim ve yararlanma oranının incelenmesi sonuçları.....	93
<b>Çizelge 6.13</b> : 40°C sıcaklıkta farklı yük oranları için buhar türbini gücü, gaz türbini gücü, satılan buharın elektrik eşdeğeri, giriş havası debisi, yakıt ısıl gücü, ısıl verim ve yararlanma oranının incelenmesi sonuçları.....	93
<b>Çizelge 6.14</b> : % 75 yük için hava sıcaklığı değişiminin etkisi.....	94
<b>Çizelge 6.15</b> : % 50 yük için, hava sıcaklığı değişiminin etkisi.....	94
<b>Çizelge 6.16</b> : % 25 yük için, hava sıcaklığı değişiminin etkisi.....	94
<b>Çizelge 6.17</b> : Çekilen ara buhar debisine göre buhar türbini gücü.....	97
<b>Çizelge A.1</b> : Ara soğutma yapılmayan CTP modelinde CTP'ye değer girişleri....	107
<b>Çizelge A.2</b> : Ara soğutma yapılan CTP modelinde CTP'ye değer girişleri.....	111
<b>Çizelge B.1</b> : Ara soğutma yapılmaması durumunda tüm borulardaki akışkanların termodinamik özellikleri .....	115
<b>Çizelge B.2</b> : Ara soğutma yapılması durumunda tüm borulardaki akışkanların termodinamik özellikleri .....	122



## ŞEKİL LİSTESİ

### Sayfa

Şekil 2.1 : Kompresör giriş havasının ısı depolaması yöntemiyle soğutulması [1].....	6
Şekil 2.2 : Modellemede kullanılan programın yapısı [1] .....	7
Şekil 2.3 : Buhar çevrimli güç santralinin Cycle-Tempo modeli [4]. .....	10
Şekil 2.4 : Buhar çevrimli güç santralinin SimECS modeli [4].....	10
Şekil 2.5 : Rankine ara ısıtıcılı su buharı çevriminin şematik gösterimi [5]. .....	11
Şekil 2.6 : Rankine ara ısıtıcılı su buharı çevriminin T-s diyagramı [5]. .....	12
Şekil 3.1: ENTEK E.Ü.A.Ş. Bursa Doğalgaz Kojenerasyon Tesisi enerji dengesi diyagramının şematik gösterimi [28] .....	24
Şekil 3.2 : Ara soğutma yapılmaması hali (a) ve (b) ara soğutma yapılması halleri [29]. .....	26
Şekil 3.3 : GE-LM 6000 Gaz türbini grubu elektrik üreticisi grubu [30].....	27
Şekil 3.4 : Buhar türbini elektrik üreticisi grubu [31]. .....	29
Şekil 3.5 : Atık ısı buhar üreticisi [32]. .....	31
Şekil 3.6 : Atık ısı buhar üreticisi ve iç yapısı [33]. .....	32
Şekil 3.7 : Atık ısı buhar üreticisi sıcaklık profili [34]. .....	33
Şekil 3.8 : Doymuş sıvı buhar ayırıcı kazanın iç yapısı [34].....	38
Şekil 3.9 : Doymuş sıvı buhar ayırıcı kazanın döngüsü ve buharlaştırma [34].....	38
Şekil 3.10 : Doymuş sıvı buhar ayırıcı kazanda ani buhar atışı [34].....	39
Şekil 3.11 : ENTEK E.Ü.A.Ş. Bursa Doğalgaz Kojenerasyon Tesisi enerji dengesi diyagramı (ENTEK E.Ü.A.Ş. izni alınmıştır)[28]. .....	44
Şekil 4.1 : Türbin modeli için simgeler ve giriş-çıkış bilgileri [35]. .....	47
Şekil 4.2 : Yoğuşturucu modeli için simgeler ve giriş-çıkış bilgileri [35]. .....	48
Şekil 4.3 : Besleme suyu ısıtıcısı için simgeler ve giriş-çıkış bilgileri [35]. .....	49
Şekil 4.4 : Standart ısı değiştirici için simgeler ve giriş-çıkış bilgileri [35].....	50
Şekil 4.5 : Gazsızlaştırma ünitesi için simgeler ve giriş-çıkış bilgileri [35].....	51
Şekil 4.6 : Pompa için simgeler ve giriş-çıkış bilgileri [35]. .....	51
Şekil 4.7 : Nokta için simgeler ve giriş-çıkış bilgileri [35]. .....	52
Şekil 4.8 : Kaynak için simgeler ve giriş-çıkış bilgileri [35]. .....	53
Şekil 4.9 : Isı kaynağı veya kuyusu için simgeler ve giriş-çıkış bilgileri [35]. .....	53
Şekil 4.10 : Baca için simgeler ve giriş-çıkış bilgileri [35]. .....	54
Şekil 4.11 : Yanma odası için simgeler ve giriş-çıkış bilgileri [35]. .....	54
Şekil 4.12 : Vana için simgeler ve giriş-çıkış bilgileri [35]. .....	55
Şekil 4.13 : Doymuş sıvı buhar ayırıcı kazan için simgeler ve giriş-çıkış bilgileri [35].	56
Şekil 4.14 : Kompresör için simgeler ve giriş-çıkış bilgileri [35]. .....	56
Şekil 4.15 : Gaz türbini elektrik üreticisi için simgeler ve giriş-çıkış bilgileri [35].	57
Şekil 4.16 : Cycle-Tempo Programında gaz türbini seçim ekranı [35]. .....	57
Şekil 4.17 : Elektrik üreticisi için simgeler ve giriş-çıkış bilgileri [18]. .....	58
Şekil 4.18 : Cycle-Tempo Programı ana penceresi [35]. .....	59
Şekil 4.19 : Cycle-Tempo Programı çalışma alanı penceresi [35]. .....	59
Şekil 4.20 : Cycle-Tempo Programı çalışma sayfası [35]. .....	60
Şekil 4.21 : Cycle-Tempo Programı ile hazırlanan basit bir Rankine çevrimi [35].	61

<b>Şekil 4.22</b> : Basit Rankine çevrimi için sistem matrisi [35].	61
<b>Şekil 4.23</b> : Cycle-Tempo Programı örnek modelinde verilen değerlerin birimleri [35].	62
<b>Şekil 4.24</b> : Cycle-Tempo Programı örnek modelinin çalıştırıldıktan sonra başlangıç değerlerinin pencerede görünüşü [35].	63
<b>Şekil 4.25</b> : Sistemin çözümünü özetleyen bilgi penceresi [35].	64
<b>Şekil 4.26</b> : Modelin sorunsuz çalıştığını gösteren pencere [35].	64
<b>Şekil 4.27</b> : Cycle-Tempo Programı modeli verim bilgi ekranı [35].	65
<b>Şekil 5.1</b> : Gaz türbini çevriminin ENTEK E.Ü.A.Ş. Bursa Doğalgaz Kojenerasyon Tesisi enerji dengesi diyagramında şematik gösterimi [28].	67
<b>Şekil 5.2</b> : Ara soğutma olmaması durumunda Cycle-Tempo Programında oluşturulan model.	68
<b>Şekil 5.3</b> : Ara soğutma olması durumunda Cycle-Tempo Programında oluşturulan model.	69
<b>Şekil 5.4</b> : Ara soğutma yapılmaması durumunda Brayton çevriminin modellenmesi.	70
<b>Şekil 5.5</b> : Brayton çevriminin ara soğutma yapılması durumunda modellenmesi ...	70
<b>Şekil 5.6</b> : Yakıta karışacak NO <sub>x</sub> suyunun boruda gaz karışımı olarak gösterilmesi. ....	71
<b>Şekil 5.7</b> : Cycle-Tempo Programı modelindeki 122 numaralı boru için hava özelliklerinin girilmesi.	71
<b>Şekil 5.8</b> : Hata mesajı.	72
<b>Şekil 5.9</b> : Çalışmanın başarılı olduğunu gösteren mesaj.	72
<b>Şekil 5.11</b> : Atık ısı buhar üreticisinin Cycle-Tempo Programındaki gösterimi. ....	73
<b>Şekil 5.12</b> : Gazsızlaştırma ünitesinin enerji dengesi diyagramındaki gösterimi. ....	75
<b>Şekil 5.13</b> : Gazsızlaştırma ünitesinin Cycle-Tempo Programındaki gösterimi. ....	75
<b>Şekil 5.14</b> : Üç yollu vananın oransal kullanımı. ....	77
<b>Şekil 5.15</b> : Üç yollu vananın debi değerlerini girdileme amacı ile kullanımı. ....	78
<b>Şekil 5.16</b> : Çalıştır komutu.	78
<b>Şekil 6.1</b> : Basınç, sıcaklık ve nem değerlerinin değiştirildiği Cycle-Tempo Programındaki penceresi.	80
<b>Şekil 6.2</b> : Hava sıcaklığı değişiminin elektrik gücü üretimine etkisi.	83
<b>Şekil 6.3</b> : Isı-güç oranının hava sıcaklığı ile değişimi. ....	84
<b>Şekil 6.4</b> : Brayton çevrimi için ısı verimin, kombine çevrim için yararlanma oranının hava sıcaklığı ile değişimi. ....	85
<b>Şekil 6.5</b> : Hava sıcaklığı değişiminin birim maliyete etkisi.	86
<b>Şekil 6.6</b> : Hava sıcaklığı değişiminin baca gazı çıkış sıcaklığına etkisi. ....	86
<b>Şekil 6.7</b> : Hava sıcaklığının baca gazı çıkış debisine etkisi	87
<b>Şekil 6.8</b> : Atmosferik hava sıcaklıkları için, havanın bağıl nem değişiminin tesisin ısı verimine etkisi. ....	90
<b>Şekil 6.9</b> : 15°C sıcaklıkta hava basıncı değişiminin gaz türbini gücüne etkisi	91
<b>Şekil 6.10</b> : Farklı yükler için buhar türbin gücü değişimi.	95
<b>Şekil 6.11</b> : Farklı yükler için buhar ve gaz türbin güçlerinin değişimi.	95
<b>Şekil 6.12</b> : Farklı yük oranları için gaz türbini çevriminin ısı verim değişimi. ....	96
<b>Şekil 6.13</b> : Farklı yüklerde, ısı güç oranının hava sıcaklığıyla değişimi. ....	96
<b>Şekil 6.14</b> : Buhar türbini ara buhar çekişi için vana ayar ekranı.	97
<b>Şekil 6.15</b> : Farklı ara buhar çekişlerinin güç değişimine etkisi.	98
<b>Şekil A.1</b> : Ara soğutma yapılmaması durumunda Cycle-Tempo Programında oluşturulan model.	105
<b>Şekil A.2</b> : Ara soğutma yapılması durumunda Cycle-Tempo Programında oluşturulan model.	106

## SEMBOL LİSTESİ

<b>E</b>	: Enerji
<b>h</b>	: Entalpi
<b>M</b>	: Kütle
<b>P<sub>el</sub></b>	: Elektriksel Güç
<b>P<sub>tur</sub></b>	: Türbin Gücü
<b>T</b>	: Sıcaklık
<b>s</b>	: Entropi
<b>Φ<sub>m</sub></b>	: Kütleli Debi



## BİRLEŞİK ÇEVİRİMLİ KOJENERASYON TESİSİNİN PERFORMANSINA HAVA ŞARTLARININ YÜK FAKTÖRÜNÜN VE ARA SOĞUTMANIN ETKİSİ

### ÖZET

Enerji üretim şirketi ENTEK, toplam elektriksel kapasitesi 253 MW olan Bursa ve İzmit'te iki adet doğal gaz kojenerasyon santrali ile İstanbul Türkiye'de bir adet gaz motorlu kojenerasyon santraline sahiptir. ENTEK Bursa 104 MW Doğalgaz Kojenerasyon Tesisi, Brayton veya Brayton ve Rankine birleşik (kombine) çevrimini kullanarak elektrik üretimi ya da endüstriyel uygulamalar için buharla birlikte elektrik üretimi amacıyla kurulmuştur. Bir kojenerasyon uygulamasında, buhar çekişi buhar türbinlerinden veya doğrudan atık ısı buhar üreticiden sağlanabilir. Güç ve buhar çıkışını arttırmak ya da verimi yükseltmek için, ilave türbinler veya diğer ekipmanlar tesise eklenebilir. İncelenen tesiste kullanılan performans yükseltme metodu, su püskürtülmesi ile kompresördeki havanın soğutulmasıdır. Güç santrali simülasyonları tesise yapılacak herhangi bir değişikliğin etkisini öngörmek için, termodinamik analiz yazılımları ile yapılmaktadır.

Bu çalışmada, ENTEK Bursa Kojenerasyon Tesisinin simülasyonu için Cycle-Tempo 5.0. kullanılarak basitleştirilmiş bir termodinamik analiz modeli geliştirilmiştir. Tesisin ısı denge diyagramına karşılık gelen Cycle-Tempo modeli, verilen parametreleri kullanarak ve sürekli hal kütle ile enerji dengesi denklemlerini çözerek, her ekipmanın çıkışındaki termodinamik özellikleri, tasarım ve çalışma şartlarındaki güç çıktısını ve ısı verimi hesaplar. Farklı yükler için, tek çevrim (Brayton) ve birleşik çevrim (Brayton ve Rankine) ve ayrıca kojenerasyon uygulaması için kompresörde ara soğutma yapılması hali veya yapılmaması haline bağlı olarak termodinamik analizler gerçekleştirilmiştir. Tesise yapılacak herhangi bir değişikliğin etkisinin öngörülmesi ile birlikte, tesis sahasındaki sıcaklık, bağıl nem ve atmosferik basınç gibi ortam havasının şartlarındaki değişikliğin sistemin performansı üzerindeki etkileri bu model ile incelenmiştir. Tüm sistemin verimini artırabilecek muhtemel iyileştirmeler karşılaştırılmıştır.

Analizin sonuçları şu şekilde özetlenebilir: Güç çıktısı en yüksek değerine  $-5^{\circ}\text{C}$ 'lik ortam sıcaklığında ulaşmaktadır. Ara soğutma, hava sıcaklığındaki artış nedeniyle oluşan tesisin toplam güç kaybını azaltmaktadır. Brayton çevriminin ısı verimi hava sıcaklığı  $-10^{\circ}\text{C}$  ve  $40^{\circ}\text{C}$  aralığında yükseldikçe, sürekli düşmektedir ve ısı-güç oranı en yüksek değerini  $-10^{\circ}\text{C}$ 'de almaktadır. Bununla birlikte birleşik çevrimin ısı verimi aynı hava sıcaklığı aralığında,  $0^{\circ}\text{C}$ 'de en yüksek değerini almaktadır. Bağıl nemdeki artış, ısı verimi ve güç çıktısını azaltmaktadır. Sabit sıcaklıkta hava basıncındaki artış, güç çıktısını biraz yükseltmektedir. Düşük yüklerdeki ısı verim yüksek yüklerdeki göre, hava sıcaklığı arttıkça daha fazla düşmektedir. Modelleme sonucunda tüm ekipmanların girişindeki ve çıkışındaki termodinamik özellikler belirlenmiş ve hava sıcaklığı değişiminin tesisin güç çıktısına etkisinin küçük bir gaz türbininin gücü kadar değişiklik gösterebileceği görülmektedir.





# **IMPACT OF AMBIENT AIR CONDITIONS, LOAD FACTOR AND INTERCOOLING ON THE PERFORMANCE OF A COMBINED-CYCLE COGENERATION PLANT**

## **SUMMARY**

The power generation company ENTEK owns two natural-gas combined-cycle cogeneration plants in Bursa and Izmit and one gas-engine cogeneration plant in Istanbul-Türkiye with a total electrical capacity of 253 MW. ENTEK Bursa 104-MW Cogeneration Plant was constructed for the purpose of generating either electrical power or electrical power together with steam for the industrial utilities by employing the Brayton cycle or the Brayton and Rankine combined cycle. In a cogeneration application, steam extraction may be achieved from the steam turbines and directly from the heat recovery steam generator.

To increase power and steam output, or to improve the efficiency, additional turbines and other equipments may be added to the plant. The performance improvement method used in this plant is intercooling the air at the compressor by water injection. Simulations of power plants are performed with thermodynamic analysis software to estimate the impact of any modification to the plant.

In this study, a simplified thermodynamic-analysis model was developed by the aid of the Cycle-Tempo 5.0 for the simulation of ENTEK Bursa Cogeneration Plant. The Cycle-Tempo model resembling the heat balance diagram of the plant calculates the unknown thermodynamic properties at the outlet of each equipment, the power output and the thermal efficiency for both design and operating conditions by using all given parameters and solving the steady-state mass and energy balance equations implicitly.

Thermodynamic analyses are performed for single (Brayton) and combined (Brayton and Rankine) cycles and also cogeneration with and without intercooling the air at the compressor considering different loads. In addition to the estimation of the impact of any modification to the plant, the effects of the change in ambient air conditions such as temperature, relative humidity and atmospheric pressure at the plant site on the performance of the system are examined through this model. The possible improvements which may increase the overall system efficiency are compared.

The results of the analysis performed can be summarized as follows: The power output reaches its maximum value at an ambient temperature of  $-5^{\circ}\text{C}$ . The intercooling causes some decrease in the power loss due to increase in air temperature. The thermal efficiency of the Brayton cycle decreases continuously within the range of air temperature of  $-10^{\circ}\text{C}$  and  $40^{\circ}\text{C}$  as air temperature increases, its heat rate takes its minimum value at  $-10^{\circ}\text{C}$ . However, the plant thermal efficiency of the combined cycle has a maximum value at  $0^{\circ}\text{C}$  in the same air temperature range. Increase in the relative humidity lowers the thermal efficiency and net power output. Increase in the air pressure at constant temperature causes the power output

to increase slightly. The thermal efficiency at lower loads decreases more than that at higher loads as air temperature increases. The effect of change in air temperature for the same range on the power output of this plant can be as high as in the order of the power output of a small gas turbine plant.

## 1. GİRİŞ

Elektrik üretim şirketi olan ENTEK, İstanbul, İzmit ve Bursa'da toplam kapasitesi 253 MW olan iki doğalgaz çevrim santrali ve bir gaz motorlu kojenerasyon tesisine sahiptir. Kojenerasyon, enerjinin hem elektrik hem de ısı formlarında aynı sistemden beraberce üretilmesidir. Bu beraber üretim, iki enerji formunun da ayrı ayrı kendi başlarına farklı yerlerde üretilmesinden daha ekonomik sonuçlar doğurmaktadır. Brayton çevrimi ile sadece elektrik üreten bir gaz türbini çevrimi, kullandığı ısı enerjisiyi genel olarak %30 ila %40 oranında elektrik enerjisine çevirebilir. Brayton çevrimi ile çalışan sistemin kojenerasyon amacıyla kullanılması halinde, sistemden dışarıya atılacak olan ısı enerjisinin büyük bir bölümü geri kazanım amacıyla kullanılabilir. Kojenerasyon uygulamasıyla toplam enerji girişinin %90'a kadar değerlendirilmesi sağlanabilir. Bu tekniğe "birleşik ısı-güç üretimi" veya kısaca "kojenerasyon" denir. ENTEK Bursa 104-MW Doğalgaz Kojenerasyon Tesisi (DKT), Brayton çevrimi ile sadece elektrik üretebileceği gibi Brayton ve Rankine çevrimlerini aynı anda kullanarak, hem elektrik, hem de buhar üretebilmektedir. ENTEK Bursa Kojenerasyon Tesisi'nde su buharı üretimi, atık ısı buhar üreticisi ile yapılabildiği gibi, buhar türbininden ara buhar çekilmesiyle de yapılabilmektedir. ENTEK Bursa Kojenerasyon Tesisin'de üretilen su buharı, 8 ve 24 bar basınçta müşteri firmalara nakledilir.

ENTEK Elektrik Üretimi Anonim Şirketi (E.Ü.A.Ş.) Bursa DKT içerisinde bulunan gaz türbini bacasından çıkan sıcak baca gazı, atık ısı buhar üreticisinden geçer ve buradan besi suyunu ısıtarak faz dönüşümünün gerçekleştirilmesiyle su buharı elde edilir. Elde edilen su buharı çeşitli amaçlarla kullanılmak üzere, öncelikli olarak doğrudan bağlı bulunan müşteri firmalara verilir. Müşteri firmalara verilen su buharı ilgili işlemlerde kullanıldıktan sonra yoğunlaşmış su olarak, geri dönüş hattı üzerinden ENTEK E.Ü.A.Ş. sahasında bulunan, yoğunlaşmış su dönüş tankına gelir. Müşteri firmaların buhar ihtiyacı karşılandıktan sonra, kazanlarda üretilen buharın geriye kalanı, buhar türbininde kullanılır ve bu şekilde elektrik enerjisi elde edilir. Buhar türbininde, entalpisi ve enerjisi azalmış çürük buhar yoğunlaştırucuya gönderilir.

Yoğuşturucudan pompalar vasıtasıyla gazsızlaştırma ünitesine, oradan da besi suyu pompaları ile atık ısı buhar üreticisine (AIBÜ) basılır. Böylece sistem kapalı çevrim halinde çalışmaya devam eder.

ENTEK E.Ü.A.Ş. Bursa DKT'ye ihtiyaca göre ek gaz türbini ve ek buhar türbini eklenebilir. Buna ilave olarak, tesisdeki bazı ekipmanlar enerji verimliliği veya başka sebeplerle değiştirilmek istenebilir. Tüm bu nedenlerle, bütün ekipmanların girişinde ve çıkışında termodinamik özelliklerin bilinmesi gerekir. ENTEK E.Ü.A.Ş. Bursa DKT enerji dengesi diyagramı, bütün ekipmanların giriş ve çıkış termodinamik özelliklerinin işletme koşullarında bilinmesi için yeterli olmaz. Bu sebepten, ENTEK E.Ü.A.Ş. Bursa DKT'ye herhangi bir müdahaleyi önceden incelemek ve sonuçlarını görmek için termodinamik analiz programları kullanılır. Bu amaçla, Delft Teknoloji Üniversitesi (Delft University of Technology) tarafından geliştirilen, Cycle-Tempo 5.0. termodinamik analiz programı ile tesisin modeli kurulmuştur. ENTEK E.Ü.A.Ş. Bursa DKT enerji dengesi diyagramında bilinen termodinamik özelliklerin, programa girilmesi ile tüm ekipmanların giriş ve çıkışındaki termodinamik özellikler, deneme yanılma yoluyla belirlenir. Bu sayede tüm tesis için çeşitli parametrelerin değişimlerinin etkisi incelenebilir. Tesise ilave gaz türbini, buhar türbini, atık ısı buhar üreticisi ve başka ekipmanların eklenmesi halinde sistemin nasıl tepki vereceği, ısı veriminin ne olacağı, bilgisayar ortamında hesaplanabilir. Ayrıca hava sıcaklığı değişiminin, bağıl nem değişiminin ve hava basıncı değişiminin, tesisin performansını nasıl etkileyeceği görülebilir. Tüm bu etkilerin belirlenmesi ile beraber sisteme verim yükseltmek için iyileştirme yapılabilir ve iyileştirme çeşitlerinin bilgisayar programında kıyası yapılabilir. İyileştirme amacı ile kompresörde ara soğutma, su püskürtülmesi yoluyla yapılmış ve çalışmada bu hal incelenmiştir.

Cycle-Tempo Programı (CTP) ile modelleme yapılırken, lisanslı CTP'nin belleğinin yetersiz olması nedeniyle ENTEK E.Ü.A.Ş. Bursa DKT'sinin, 2 adet gaz türbini ve 1 adet buhar türbini çevrimi, gaz türbini debisi sabit olmak kaydıyla buhar türbini debisi yarıya indirilerek, 1 adet gaz türbini ve 1 adet buhar türbini çevrimine indirgenmiştir. Çıkan analiz sonuçlarının, basitleştirilmemiş orijinal çevrimlerle elde edilecek sonuçlarla yakın değerlerde olacağı beklenebilir.

Hazırlanan CTP modelinde, ara soğutma olan veya olmayan halde, hava sıcaklığı, bağıl nem, hava basıncı gibi meteorolojik şartlardaki değişimin etkileriyle birlikte farklı yük oranları ve farklı ara buhar çekişleri için; Birleşik çevrim, Brayton çevrimi ve kojenerasyon amaçlı çalışma durumları incelenmiştir.

Bu tez kapsamında, Bölüm 2’de, CTP ile yapılan diğer tesislerin termodinamik analizleri, gaz türbini modellemelerinde diğer yaklaşımlar, dinamik termodinamik analiz modellemeleri, gaz türbin kompresörüne giren havanın sıcaklığının gaz türbini verimine olan etkisinin incelendiği diğer çalışmalar, incelenmiştir.

Bölüm 3’de, ENTEK E.Ü.A.Ş. Bursa DKT enerji dengesi diyagramı verilerek, bu diyagramda gösterilen; gaz türbini elektrik üreticisi grubu, buhar türbini elektrik üreticisi grubu, atık ısı buhar üreticisi, su saflaştırma ünitesi, besi suyu sistemi, NO<sub>x</sub> kontrolü için su püskürtme sistemi, gaz türbini bacasına yerleştirilmiş köprüleme sistemi, gazsızlaştırma ünitesi ayrıntılı bir biçimde açıklanmış ve tanıtılmıştır.

Bölüm 4’de, Delft Teknoloji Üniversitesi tarafından geliştirilen Cycle-Tempo 5.0. termodinamik analiz programı tanıtılmıştır. ENTEK E.Ü.A.Ş. Bursa DKT enerji dengesi diyagramında gösterilen ekipmanların CTP karşılıkları ve CTP’de nasıl modellendikleri açıklanmıştır. Bunlara ilave olarak, CTP’nin kullanılışı ve temel çalışma prensipleri, sadece elektrik üreten basit bir çevrim için örneklenmiş ve CTP’nin bu çevrimdeki analizleri nasıl yaptığı açıklanmıştır.

Bölüm 5’de, ENTEK E.Ü.A.Ş. Bursa DKT’nin, CTP’de nasıl modellendiği anlatılmıştır. CTP’de modellemeye, programda eklenen ekipmanların basitten karmaşığa doğru her safhasında program çalıştırılarak ve programın doğru çalıştığı kontrol edilerek devam edilmelidir. Aksi halde herhangi bir program hatasında sorunun hangi ekipmandan geldiğini bulmak çok güç olacaktır. Brayton çevriminin, atık ısı buhar üreticisinin ve gazsızlaştırma ünitesinin, CTP modeli gösterimi ve ENTEK E.Ü.A.Ş. Bursa DKT enerji dengesi diyagramı gösterimi ayrı ayrı verilerek, tesisin kurulumu gösterilmiştir. Bölüm 5’in sonunda ise diğer üniteler anlatılmıştır.

Bölüm 6'da, ENTEK E.Ü.A.Ş. Bursa DKT enerji dengesi diyagramındaki ekipmanların giriş ve çıkışlarında belirli olmayan termodinamik özellikler belirlenmiştir. Bu termodinamik özelliklerin belirlenmesinden sonra, meteorolojik şartların örneğin, hava sıcaklığının, hava bağıl neminin, hava basıncının değişiminin etkisi incelenmiş ve farklı gaz türbini yükleri ve buhar türbininden çekilen farklı ara buhar debilerinin etkisi incelenmiştir.

## 2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

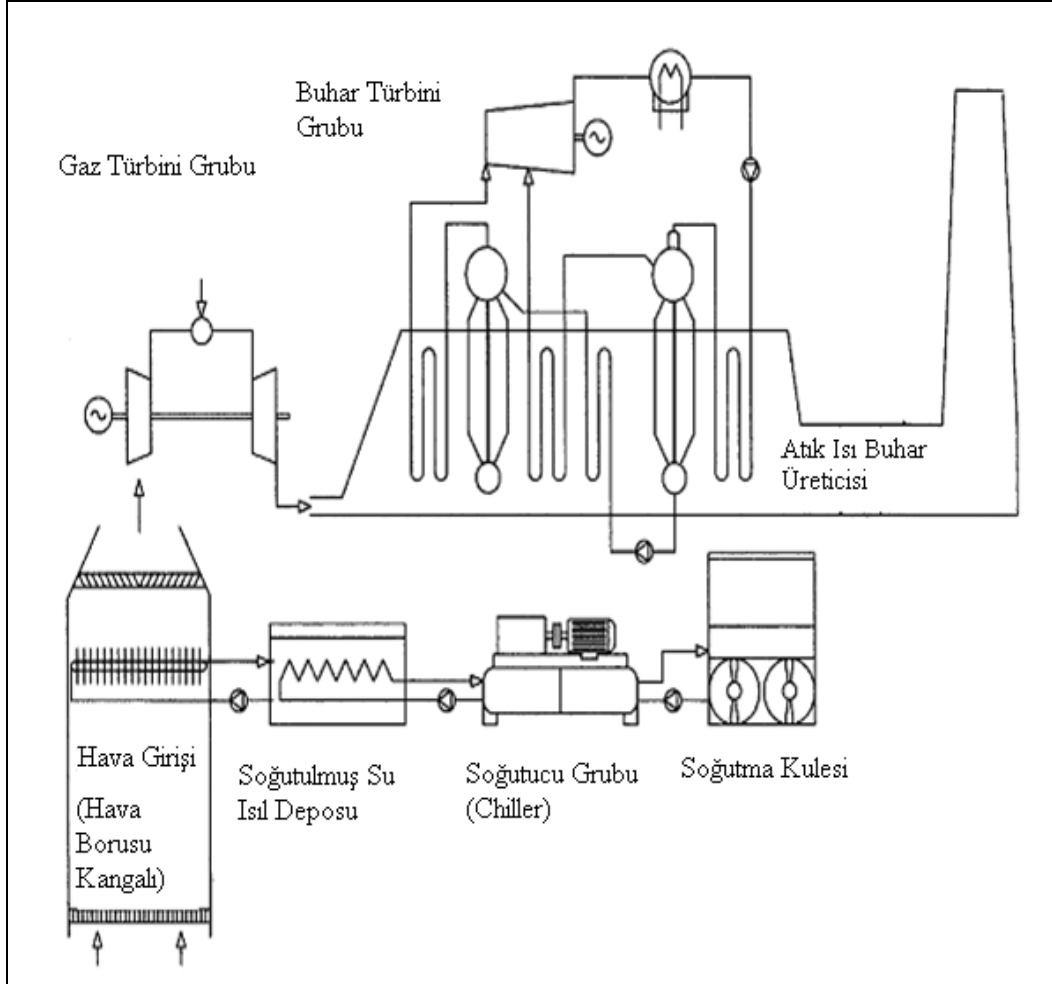
Güç santrallerinin önemli bir bölümünün fosil yakıtlar ile elektrik ürettiği ve bu yakıtların pahalı ve sınırlı olması ile birlikte çevre etkileri de göz önüne alındığında bu santrallerin toplam ısı verimlerinin artırılması hususu önem kazanmaktadır. Isıl güç santrallerinin ısı verimini etkileyen faktörlere göre yapılabilecek iyileştirmelerin, güç santrallerine nasıl uygulanabileceği konusunda bilim adamları tarafından araştırma ve geliştirme çalışmaları yapılmaktadır. Bu araştırma ve geliştirme çalışmalarında termodinamik analiz ve tesis optimizasyonu için bilgisayar yazılımlarından faydalanılmaktadır ve bu konuda önemli çalışmalar yapılmıştır. Güç santralleri bilgisayar yazılımları ile modellenerek, ısı verimi etkileyen faktörler daha ayrıntılı bir şekilde tespit edilebilmekte ve değişik parametrelerin, örneğin, meteorolojik şartların ısı verimi nasıl etkilediği görülebilmektedir. Bu çalışmalarda, güç santrallerinin kurulum yeri, kurulum şekli ve kullanılacak termodinamik çevrime göre elde edilebilecek en yüksek ısı verimle ne şekilde çalıştırılabileceğini ortaya koymak amaçlanmaktadır.

Bu bölümde, birleşik (Brayton ve Rankine) çevrimli güç santralleri için yapılan termodinamik analizler, bilgisayar yazılımı ile yapılan termodinamik analizler, gaz türbini sistemlerinin modellenmesinde yeni yaklaşımlar, birleşik çevrimli sistemlerde gaz türbini giriş havası soğutma sistemleri ile ilgili literatürde yer alan çalışmalardan bazıları verilmektedir.

Nicola Palestra, Giovanna Barigozzi ve Antonio Perdichizzi'nin 2006 yılında gerçekleştirip 2007 yılında ASME Turbo Expo 2007'de sundukları, "Birleşik çevrimli güç santrallerinde, giriş havası soğutma sistemlerinin uygulanması" adlı makalelerinde, birleşik çevrimli güç santrallerinde, kompresör giriş havasının soğuk ısı depolama sistemi ile soğutulmasının incelenmesinin sonuçlarını belirtmektedirler. Kompresör giriş havasının soğutulması, gaz türbin gücünün ortam sıcaklığına olan bağımlılığını azaltmaktadır. Bu çalışmada, İtalya'da kurulu bulunan, 127 MW kapasiteli birleşik çevrim santrali gözlemlenmiş, iki farklı giriş havası, soğutma amaçlı soğuk ısı deposu sistemi araştırılmıştır. Çalışan sistemlerin bir tanesi buz toplama (ice harvester) ve diğeri ise katmanlı soğuk su oluşturulması sistemidir.

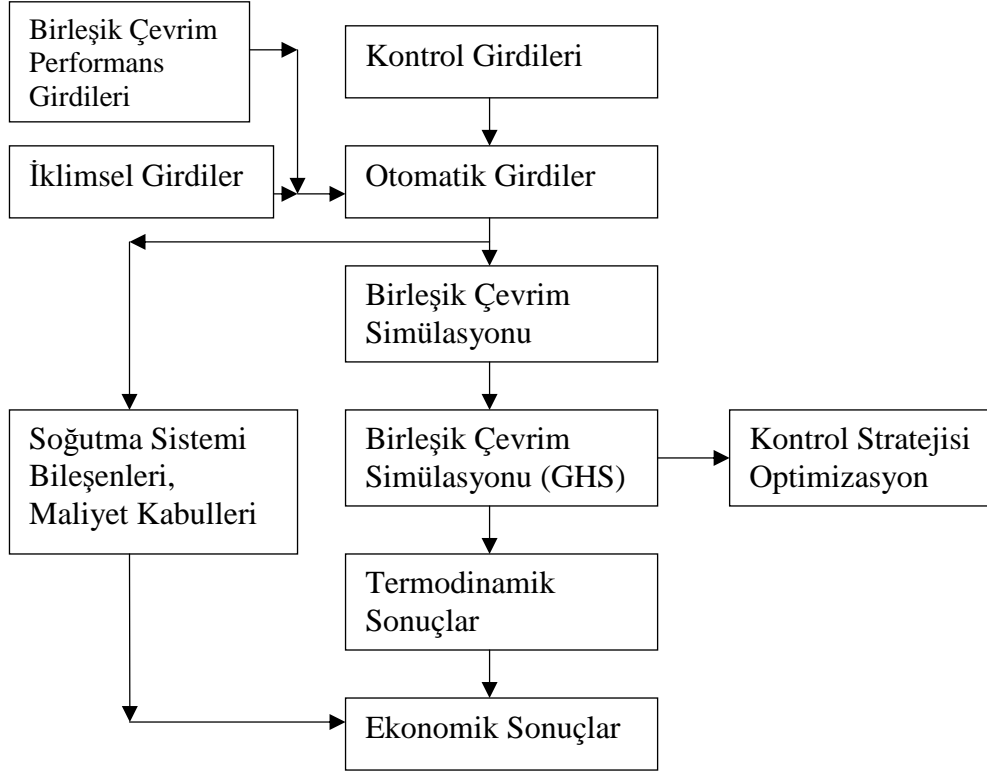


Buz toplama, buharlaştırıcıların (evaporatörlerin) dış yüzeyinde zamanla oluşan buzların ergitilmesiyle, soğuk su tankına düşürülmesi işlemidir. Bu işlem için gerekli olan ısı, kompresördeki sıcak gazlardan alınır. Soğuk ısı depolama yöntemiyle, kompresör giriş havasının soğutulması Şekil 2.1’de gösterilmektedir.



**Şekil 2.1 :** Kompresör giriş havasının ısı depolaması yöntemiyle soğutulması [1].

Birleşik çevrimin, değişik çalışma koşullarındaki performansını değerlendirmek için, giriş soğutma sisteminin simülasyonu ile ilgili bilgisayar kodu geliştirilerek, bir ekonomik analiz yapılmıştır. Değişik işletmeler için, iklim şartlarının etkisini değerlendirmek amacıyla, değişik bölgelerde incelemeler yapılmıştır. Sonuçta, ısı depolama tankının boyutlarındaki değişimin, birleşik çevrim performansının ve yatırımın boyutlarının nasıl etkilendiğini görmek amacıyla, Şekil 2.2’de gösterilen, bir parametrik analiz yolu takip edilmiştir.



**Şekil 2.2 :** Modellemede kullanılan programın yapısı [1]

Bu çalışmada görülmüştür ki, her iki termal depolama teknolojisinde de fazladan güç elde etmek için benzer sonuçlar alınmıştır. Buna rağmen, buz toplama yönteminde, soğutucunun tüketimine göre fazla enerji sarfedilmiştir. Ilık iklimli santral bölgesinde, aynı gücün elde edilebilmesi için buz toplama sisteminin diğer sisteme göre daha fazla çalıştırılması gerekmektedir. Buna bağlı olarak yatırım maliyeti de artmaktadır. Parametrik analiz sonuçları, giriş soğutma deposunun boyutlarının ekonomik sonuçlar üzerinde ne kadar önemli olabileceğini göstermiştir.

Analiz sonucunda, Güney İtalya bölgesinin, soğuk su katmanlaştırma teknolojisi kullanımında, Kuzey İtalya bölgesi ile kıyas edildiğinde, daha yüksek enerji üretimi oluşturduğu için, daha avantajlı olduğu sonucuna varılmıştır [1].

Nicola Palestra, Giovanna Barigozzi ve Antonio Perdichizzi'nin 2007 yılında ASME Turbo Expo 2008'de sundukları, "Birleşik çevrimli güç santrallerinde soğuk ısı depolama yöntemi ile gaz türbini çevriminde kompresör girişinde havanın ön basınçlandırılması ve soğutulması" adlı makalelerinde, birleşik çevrim santraline uygulanmış, kompresör hava giriş destekleyicisi ve soğutması ile ilgili olarak inceleme sonuçları sunulmuş ve tartışılmıştır. Bu çalışmaya göre, gaz türbini performansı, hava kanalındaki ve hava flitresindeki kayıplara bağlı olarak, gaz türbininin yerleşim konumuna göre azalabilir. Gaz türbini kompresörü giriş

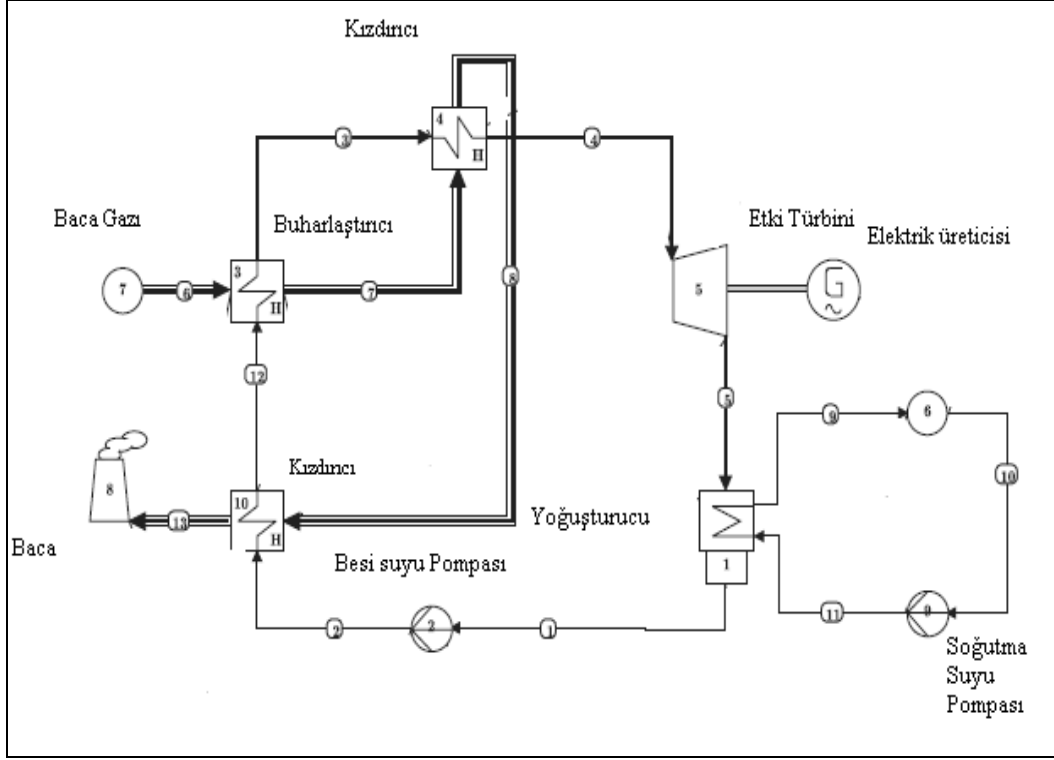
basıncının fanlarla yükseltilmesi, gaz türbininin güç çıkışını ve verimliliğini en azından ISO referans şartlarına göre iyileştirebilir. Bu gibi bir sistemi giriş havası soğutucusu ile bağlamak, hava üfleyicisine doğru basınç kayıplarını ve hava kompresörünün neden olduğu sıcaklık artışının etkisini tamamen yok edebildiği için, bu yöntemle daha fazla elektrik üretimi sağlanabilir. Birleşik çevrim güç santralının tasarım harici işletme koşullarında çalıştırılmasının modellenmesi amacıyla, soğuk ısı depolama sistemi ile giriş hava sistemlerinin performansını değerlendirmek için bir simülasyon yazılımı geliştirilmiştir. İtalya’da çalışmakta olan 127 MW’lık bir güç santrali için, gaz türbini kompresörünün giriş basıncındaki yükselme, kompresörün hava giriş soğutması varken ve yokken değerlendirilmiştir. Ayrıca, kompresörün hava girişinin soğutulması metodu incelenerek, termodinamik ve ekonomik sonuçları analiz edilmiştir. Her iki sistemdeki farklı parametreler için analizler yapılmıştır. Analiz sonuçlarına göre, soğuk ısı depo vasıtasıyla yapılan hava soğutma sistemine destekleyici bağlantı yapmak, elektrik üretimini arttırmak için en iyi çözümdür. Santralin bulunduğu konumunun, kompresörün giriş havasını soğutma sistemiyle elde edilen sonuçlarla karşılaştırıldığında, yatırımın geri dönüşüne etkisinin daha az olduğu kanıtlanmıştır.

Birleşik çevrimli güç santrallerinde, kompresör havası giriş destekleyici (supercharging) fanının elektrik tüketiminin, tesis ısı verimine önemsiz denebilecek kadar az etkisi vardır. Kompresör havası destekleyicisi sisteminin hava soğutması ile beraber kullanımının yatırım maliyeti, iklim koşullarından daha az etkilenmektedir. Bu sistemlerin beraber kullanımının yatırım maliyetinin, konuma bağlı olmadan 5 yıldan daha az geri dönüşüm süresi vardır. Yatırımın karlılığının daha yüksek olabilmesi için gaz türbini giriş değerleri çok dikkatli seçilmelidir. Aksi halde fan boyutları ile ilgili sorunlar oluşabilmektedir. Bu çalışmada, ISO şartlarına yakın bir gaz türbini için analiz yapılmıştır [2].

P. Colona ve H. van Putten’in 2006 yılında yayımladıkları “Buharlı güç çevrimlerinin dinamik modellenmesi: Bölüm 1” adlı makalede, buhar çevrimli güç santrallerinin dinamik simulasyonu için Delft Teknoloji Üniversitesi’nde geliştirilmekte olan enerji sistemlerini dinamik olarak modelleyen bir bilgisayar yazılımı olan SimECS (Simulation toolbox for Energy Conversion System), tanıtılmış ve geçerliliği değerlendirilmiştir. SimECS birimsel, hiyerarşik ve nedensel bir modeli takip eder. Örneğin, sistemler önceden tanımlanmış nedensel etkileşimli

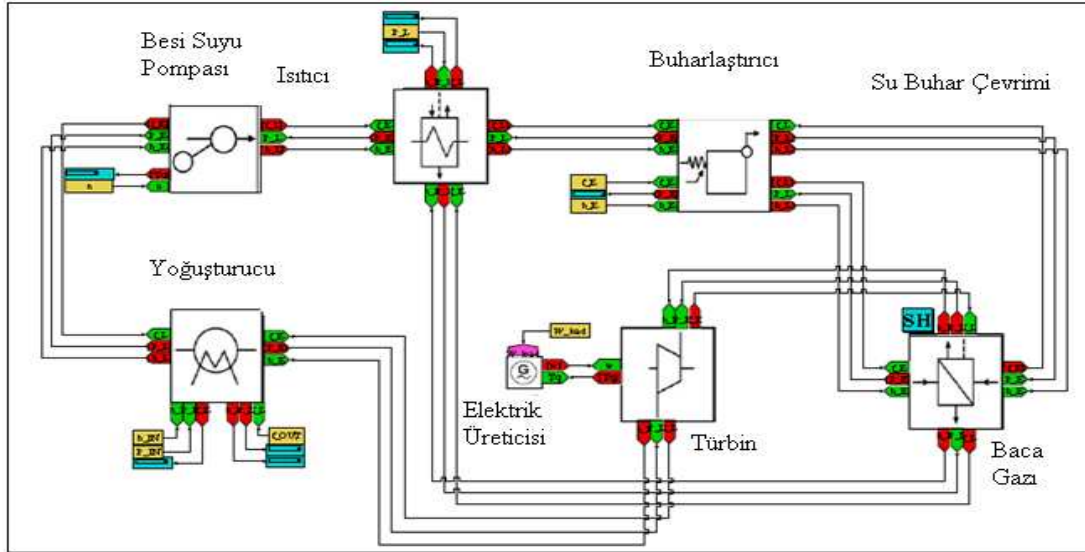
modüller tarafından sırayla oluşturulmuş bileşenlerden oluşur. Bu modüller, ısı değiştirici, türbin, pompa vb. dir. İkinci bölümde oluşturulan buhar çevrimi ekipmanlarının, çeşitli kullanılabilir modülleri çalışmanın ilk bölümünde tanıtılmıştır. Bu modüller, akışkan akışlı modül, katı ısı kaynağı modülü vb. dir. Modüllere uygulanan eşitlikler, derlenmiş parametre formları sonucunda oluşan fiziksel bağıntı ve korunum bağıntılarından gelmektedir. Düşük mertebeden diferansiyel ve cebirsel denklemlerin çözüm sistemini oluşturabilmek için, nedensellik prensibi ile birleştirilmiş bağlantı uygulanır. Yazılıma, içerik ve içeriğin uygulanışı, laboratuvar ölçeğinde kurulu olan buhar çevriminden gelen ölçüm sonuçları ile karşılaştırılarak ve geçerliliği kontrol edilerek doğrulanır (Atık ısı buhar üreticisinin buharlaştırma bölümünün gücü, 1/600 güç ölçeğindedir). Laboratuvar ölçeğinde kurulu bulunan buhar çevrimi, Politecnico Milano'nun IT (Information Technology) ve elektronik bölümlerince yüklenilmiş ve işletilmiştir. Deneysel bilgilere ise kurumun internet sitesinden ulaşılabilir. Sonuçların geçerliliğinin denetlenmesi ve simülasyonu için kullanılan dinamik ve sabit hal deneyleri sonucunda bu deneylerde tatminkar sonuçlara ulaşılmıştır.

Çalışmanın ikinci bölümü olan ve H. van Putten ve P. Colona'nın 2007 yılında yayımladıkları "Buharlı Güç çevriminin dinamik modellenmesi: Bölüm 2" adlı makale, küçük güçlü buhar çevrimli güç santrallerinin dinamik simülasyonu ile ilgilidir. Birinci bölümde tanıtılan SimECS yazılımıyla oluşturulan, 600 kW güçte elektrik üretebilen biokütle yakıtlı buhar çevrimli güç santrali modeli bu makalede temel alınmıştır. Bu tip düşük güç üreten buhar çevrimli güç santrallerinde simülasyon araçları çok yararlıdır. Makalede açıklanan santral modelinin bileşenleri; besleme suyu pompası, ısıtıcı, buharlaştırıcı, kızdırıcı, etki (action) türbini, elektrik üreticisi ve yoğunlaştırıcıdır. Modelde birincil ısı kaynağı, yakıcı (burner) modele dahil edilmediğinden sadece baca gazıdır. Şekil 2.3'de buhar çevrimli güç santralinin Cycle-Tempo modeli gösterilmektedir. Şekil 2.4'de buhar çevrimli güç santralinin SimECS modeli verilmiştir.



**Şekil 2.3 :** Buhar çevrimli güç santralinin Cycle-Tempo modeli [4].

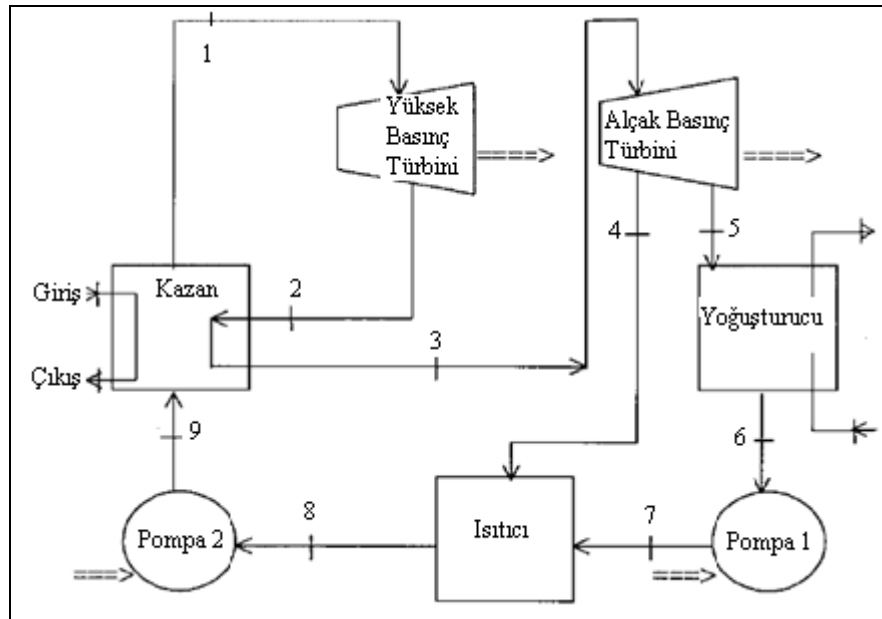
Bu çalışmada SimECS modeli, tasarım koşulları ve tasarım dışı koşullardan hareketle simüle edilerek doğrulanmıştır. Birinci doğrulama basamağı, SimECS çözüm yolunun, sürekli halde simüle edilmiş çözümüyle kıyaslanması şeklindedir. Başarılı dinamik sistem doğrulaması, sistemin tepkisini giriş parametrelerini değiştirerek almak ve gerçek sistem ile kıyaslamak ile mümkün olabilir.



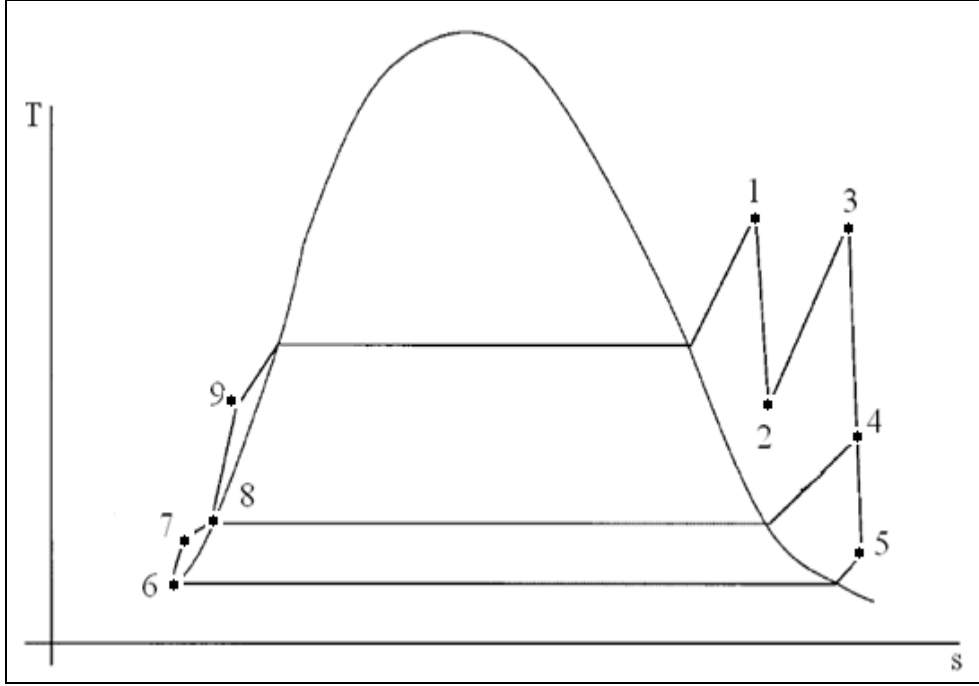
**Şekil 2.4 :** Buhar çevrimli güç santralinin SimECS modeli [4].

Bu aşamadan sonra, biokütle yanma odası sisteme eklenecektir. SimECS kütüphanesi genişletilecek ve birleşik çevrim, organik Rankine çevrimi, birleşik sistemlerden olan; gaz türbini yakıt hücresi birleşimi, üçlü üretim sistemleri ve bütün hibrit enerji sistemleri, SimECS kütüphanesine eklenecektir [4].

İbrahim Dinçer ve Husain Al-Muslim'in 2001 yılında yayımlanan "Ara ısıtmalı buhar çevrimli güç santrallerinin termodinamik analizi" adlı makalelerinde, ara ısıtmalı, Rankine çevrimli bir güç santralinin, birinci ve ikinci termodinamik yasalarına göre, hesap çizelgesi hesaplama tekniği kullanılarak termodinamik analizi yapılmıştır. Enerji ve ekserji verimlerinin değişimi 120 farklı sistem parametresi için örneğin, kazan sıcaklığı, kazan basıncı, kütle oranı, yapılan gerçek iş ve tersinmezlik için incelenmiştir. Türbin girişinde buharın sıcaklığı 400 ile 500°C arasında, basıncı 10 ile 15 MPa arasında seçilmiştir. Hesaplanan ekserji ve enerji verimleri, gerçek değerlerle ve literatür değerleri ile kıyas edilerek en uygun yaklaşım bulunmuştur. Tesis verimini arttırmak için verimi düşüren etkenler bulunarak tesis daha verimli hale getirilmiştir. Sonuçlar, en uygun tesis tasarımını yapmak için ekserji analizini nasıl yapmamız gerektiğini göstermiştir. Bu analizde, açıklanan model, kütle dengesi, enerji dengesi, ekserji dengesi eşitlikleri ve sistem parametrelerinin enerji ve ekserji verimleri üzerindeki etkisi için yapılan hesap tablosu tekniği kullanılarak geliştirilmiştir. Şekil 2.5'de Rankine ara ısıtıcılı su buharı çevrimi gösterilmektedir. Şekil 2.6'da incelenen çevrimin T-s diyagramı gösterilmiştir [5].



Şekil 2.5 : Rankine ara ısıtıcılı su buharı çevriminin şematik gösterimi [5].



**Şekil 2.6 :** Rankine ara ısıtıcılı su buharı çevriminin T-s diyagramı [5].

Patrick E.A. van der Lee, Tamas Terlaky ve Theo Woudstra'nın 1999 yılında yayımladıkları, "Enerji sistemlerinin optimizasyonunda yeni yaklaşımlar" adlı makalelerinde, iki farklı matematik metod olan Quasi-Newton ve ikincil serbest optimizasyon metodları kıyaslanmıştır. Isıl enerji sistemlerinin analizi ve optimizasyonu için kullanılan ve Delft Teknoloji Üniversitesi tarafından geliştirilen Cycle-Tempo, bu incelemeler için kullanılmıştır. [6]

Burhanettin Çetin, 2005 yılında yayımlanan "Birleşik çevrim sistemleri için gaz türbin dizayn parametrelerinin elektrik enerjisi üretim maliyetine etkisi" adlı makalesinde, kompresör basınç oranı, gaz türbin giriş sıcaklığı, türbin ve kompresör izantropik verimleri değişken parametre olarak kabul edildiği durumda, tek basıncılı, atık ısı kazanlı, birleşik çevrim sisteminin, termoeconomik analizi yapılmıştır. Diğer parametreler ise sabit kabul edilmiştir. İncelemelerde, bütün termodinamik ve termoeconomik ifadeler, bu karar değişkenlerinin fonksiyonu olarak formüle edilmiştir. Visual Basic programlama dilinde yazılan programla oluşturulan model çözümlenmiş ve birim elektrik enerjisi için minimum üretim maliyetini veren tasarım parametreleri belirlenmiştir.

Enerji üretim sistemleri için, termodinamik açıdan optimum olan değerler her zaman ekonomik olmayabilir. Benzer şekilde, ekonomik açıdan optimum olan değerler termodinamik yönden her zaman uygun olmayabilir. Bu nedenle, hem termodinamik

hem de ekonomik çözümler birlikte ele alınarak optimum tasarım parametrelerinin belirlenmesi gerekir. Bunu gerçekleştirmek için kullanılan en uygun yöntemlerden biri de termoekonomik analizdir. Bu nedenle, incelenen çalışmada, tek basınçlı atık ısı kazanlı birleşik çevrim sistemi model olarak alınarak termoekonomik analiz yapılmıştır. Amaç fonksiyonu olarak birim elektrik enerjisi üretim maliyetinin minimum yapılması gözönüne alınmıştır. Termoekonomik analiz sonuçları üzerinde pek çok parametrenin etkisi vardır. Bu çalışmada, sadece gaz türbini tasarım parametreleri (kompresör basınç oranı, gaz türbini giriş sıcaklığı, türbin ve kompresör izantropik verimleri) değişken parametre olarak alınmıştır. Analizlerde bu parametrelerin etkisini daha iyi gösterebilmek için diğer ekonomik ve termodinamik parametreler sabit kabul edilmiştir. İncelemelerde, bütün termodinamik ve termoekonomik ifadeler (güç, verim ve birim elektrik enerjisi üretim maliyeti) basınç, sıcaklık, debi ve ünite verimleri gibi termodinamik büyüklükler ile ekonomik ömür, faiz, iskonto ve eskalasyon oranları ve inşaat süresi gibi ekonomik büyüklükler cinsinden yazılmıştır. Ünite yatırım maliyetleri, termodinamik büyüklüklere bağlı olarak ifade edilerek termodinamik ve ekonomik çözümler birlikte ele alınmıştır. Visual Basic programlama dilinde yazılan programla oluşturulan model çözümlenmiş ve birim elektrik enerjisi için minimum üretim maliyetini veren optimum tasarım parametreleri belirlenmiştir.

Birleşik çevrim sisteminin termodinamik analizinden elde edilen sonuçlar şöyledir:

- Birleşik çevrim sisteminde toplam gücün yüksek olması isteniyorsa, kompresör basınç oranı mümkün olduğu kadar düşük, türbin giriş sıcaklığı ve izantropik verimler mümkün olduğu kadar yüksek seçilmelidir.
- Birleşik çevrim sisteminde, her türbin giriş sıcaklığı (TGS) ve izantropik verim değerleri için, verimi maksimum yapan optimum bir kompresör basınç oranı bulunabilmesine rağmen güç için optimum bir değer bulunamamıştır. Birleşik çevrim sisteminin toplam veriminin yüksek olması isteniyorsa, türbin giriş sıcaklığı ve izantropik verimler mümkün olduğu kadar yüksek olmalıdır. Örneğin; türbin giriş sıcaklığı 900 K alındığında verimin maksimum değeri 0,4135 ve bunu sağlayan optimum kompresör basınç oranı 3 olarak hesaplanmıştır. Türbin giriş sıcaklığı 1500 K alındığında, maksimum verim 0,6071 ve optimum kompresör basınç oranı 13 olmaktadır. Benzer şekilde, izantropik verim 0,75 ve 0,90 alındığında, maksimum birleşik çevrim verimi sırasıyla 0,5252 ve 0,5765; optimum kompresör basınç



oranları sırasıyla 4 ve 10 olarak bulunmuştur. Sadece termodinamik analize dayanarak enerji üretim sistemlerini değerlendirmek ve birbiriyle karşılaştırmalarını yapmak doğru olmaz. Çünkü, termodinamik analiz bir sistemin sadece performansını değerlendirir, maliyetleri ise dikkate almaz. Termodinamik analizle sistem performansı iyileştirilmeye çalışılırken, sistemin toplam maliyeti çok artabilir. Benzer şekilde, sadece maliyetler dikkate alınırsa, bu defa sistem performansı çok düşebilir. Bu nedenle, termodinamik analiz ile maliyet etkisi birlikte değerlendirilerek optimum tasarım parametrelerinin belirlenmesi gerekebilir. Bunun için kullanılan en uygun yöntemlerden biri, termoekonomik analizdir. Termoekonomik analiz ile birim elektrik enerjisi üretim maliyetinin belirlenmesi, bu çalışmanın amacını oluşturmaktadır. Termoekonomik analizden elde edilen sonuçlar şöyledir:

- Türbin giriş sıcaklığı ve izantropik verimin artmasıyla, birim elektrik enerjisi üretim maliyetinin düştüğü ve maliyeti minimum yapan optimum kompresör basınç oranının arttığı görülmüştür. Örneğin, gaz türbin giriş sıcaklığı 900 K ve 1500 K alındığında, minimum birim elektrik enerjisi üretim maliyeti, sırasıyla 7,6055 ve 5,38514 US-cent/kW<sub>e</sub>h, optimum kompresör basınç oranları 5 ve 9 olarak bulunmuştur. Benzer şekilde, izantropik verim 0,70 ve 0,85 alındığında minimum birim elektrik enerjisi üretim maliyeti sırasıyla 6,6080 ve 5,5596 US-cent/kW<sub>e</sub>h, optimum kompresör basınç oranları 4 ve 9 olmaktadır.
- Aynı türbin giriş sıcaklığı değeri için, termodinamik ve termoekonomik analiz sonuçları karşılaştırıldığında, termoekonomik analizden elde edilen kompresör basınç oranının daha düşük olduğu görülmüştür. Örneğin; gaz türbin giriş sıcaklığı 1500 K alındığında, termodinamik ve termoekonomik analizlerden elde edilen optimum kompresör basınç oranı sırasıyla 13 ve 9 olmaktadır. Bu da birleşik çevrim sistemlerinde termoekonomik analizlerden daha anlamlı sonuçlar elde edileceğini göstermektedir. [7]

Ahmet Durmayaz ve Oğuz Salim Söğüt'ün, 2006 yılında yayımlanan “Soğutma suyu sıcaklığının bir basınçlı su reaktörü nükleer güç tesisinin ısı verimine etkisi” adlı çalışmalarında, soğutma suyu sıcaklığının, bir kuramsal basınçlı su reaktörü güç tesisinin ısı verimine olan etkisi incelenmiştir. Tesisin ısı verimi, meteorolojik koşulların değişmesi ile beraber tesisin soğutma suyu için kullanılacak, örneğin, deniz suyunun sıcaklığının değişmesi nedeniyle etkilenir. Soğutma suyu sıcaklığının

değişimi, güç santralının ısı verimini etkilediği gibi tasarım aşamasında yer seçimini de etkilemektedir.

Çalışmanın sonucunda, soğutma suyu sıcaklığının 1°C azalmasının tesis ısı verimine %0,12'lik bir artışa sebep olabileceği hesaplanmıştır. Bu çalışmada, soğutma suyu sıcaklığındaki artış veya azalmanın tesis ısı verimini nasıl etkileyeceğini tahmin edebilmek için bir enerji analizi yapılmıştır. Bu analizin yapılmasındaki amaç, farklı iklim koşullarında nükleer güç santralının performansının hesaplanabilmesi için teorik bir hesaplama yönteminin oluşturulmasının yanısıra tesis için yer seçiminin önemini vurgulamaktır. İklim koşullarının yoğunlaştırıcı basıncını nasıl etkilediğini belirlemek için, yoğunlaştırıcı ısı dengesi modeli çalışma içerisinde oluşturulmuştur ve göz önüne alınan nükleer güç tesisi için çevreden sağlanan soğutma suyunun sıcaklığının değişiminden kaynaklanan tesisin tasarım dışı işletme koşulları, bu model kullanılarak belirlenmiştir.

Bu çalışmada elde edilen tesis ısı verimi değişimine ait hesaplama sonuçlarına göre, Karadeniz suyu sıcaklığının, Akdeniz suyu sıcaklığına nazaran daha soğuk olması sebebiyle, bu denizlerin suyunun, soğutma suyu olarak kullanılması halinde, Türkiye'de Akdeniz veya Karadeniz sahillerinde kurulabilecek kuramsal bir basınçlı su reaktörünün ısı verimini nasıl etkileyeceği belirlenmiştir. Tüm bu değerlendirmelerden, kurulması öngörülen nükleer güç tesisinin termodinamik verimlilik yönünden, Karadeniz sahilinde kurulmasının daha uygun olacağı anlaşılmaktadır [8],[9].

Paolo Chiesa ve Ennio Macchi, 2004 yılında, "Birleşik çevrimli güç santrallerinde elektrik verimini %60'ın üzerine çıkaran değişik seçeneklerin termodinamik analizi" adlı bir makale yayımlamışlardır. Bu makaleye göre, önemli büyük kapasiteli gaz türbini üreticileri, yeni teknikler geliştirirken amaçları, birleşik çevrimde net elektrik verimini %60'ın üzerine çıkartmaktır. Bu hedef için önemli bir unsur da gaz türbininin en yüksek sıcaklığa sahip kanat dizisinde, etkin soğutulma yapılmasıdır. Mevcut çalışma, bu soruna üç farklı yaklaşımı araştırmaktadır. Bunlar en yaygın kullanılan hava soğutmalı açık çevrim, rotor ve kanat için kapalı devre buhar soğutması ve birbirinden bağımsız iki kapalı devre kullanılmasıdır. Örneğin, stator kanatları için buhar ve rotorun kanat bıçakları için hava kullanılmasıdır. Makalede, hesaplama metodu olarak Milano Politeknik Enerji Departmanında geliştirilen güncellenmiş termodinamik yazılımı olan GS kullanılmıştır. Hesaplama metodunun

detaylandırılmış bir sunumu makalede verilmiştir. Güvenilirlik, sermaye maliyeti, çevresel problemler gibi birçok ihmal edilebilir etkiye rağmen termodinamik analizler göstermiştir ki, mevcut teknoloji çerçevesinde verimin %61'den fazla olması sağlanabilir.

Makalede, gaz türbininde genişleme safhasında soğutulma yapılması modellemesi ve başlıca turbo makina ve ısı transferlerinin yeni hesaplama metodu ile gaz türbini performansında önemli etkileri olan turbo makinelerin verimliliği, türbin kanatlarının bıçaklarındaki ısı transferini etkileyen parametreler ve ana üreticilerin belirttiği son teknoloji ürünü enerji santrallerinde performansa uygun kod öngörülmesi için kalibrasyon unsurlarının tanımlanması anlatılmıştır. Özellikle büyük boy tek millî üniteler kaynak alınmıştır. Ayrıca, beş farklı çevrim simülasyonu için, aynı türbin giriş sıcaklığı esas alınarak hesaba katılan simülasyon sonuçları sunulmuştur; herbiri için, gaz ve buhar türbini arasında entegrasyonla ilgili problemler incelenmiştir. İlâveten, çeşitli çevrimlerin performansı termodinamiğin ikinci kanun analizi yardımıyla karşılaştırılmıştır. Bütün karşılaştırmalar aynı şartlarda yapılmıştır. Sonuç olarak, performans üzerindeki türbin giriş sıcaklığı (TGS) etkisinin tartışılması göstermiştir ki, TGS'nin 1500°C'ye çıkarılması son derece yararlıdır, fakat sadece sıralı motor çevrimlerinde benimsenmemektedir [10].

J. R. Khan, 2008 yılında yayımlanan makalesinde, yeni bir soğutma, ısıtma ve güç sistemi olan (SIGS), buhar emilim soğutma sistemi ile bütünleşmiş (BESS, Vapor Absorption Refrigeration System), basınç geri kazanımlı yarı-kapalı bir Brayton çevrimi önerir. Yarı-kapalı Brayton çevrimi, “yüksek basınçlı geri kazanımlı türbin makinası (YBGKTM, the High-Pressure Regenerative Turbine Engine)” olarak adlandırılır. BESS ve YBGKTM güç çevrimi, elektrik üreticisi ve buharlaştırıcılardaki ısı değişimi boyunca birbirlerini etkilerler. YBGKTM'de dolaşım yapan, yanmış hava-gaz karışımından ortaya çıkan atık ısı, emilimli (absorbsiyonlu) soğutma ünitelerini çalıştırmak için kullanılır. Emilimli soğutma üniteleri, YBGKTM'nin yüksek basınçlı kompresör girişlerini, çevre koşullarına düşürmek için soğutur ve aynı zamanda çevre koşullarına bağlı olarak bir miktar fazla soğuma ortaya çıkartır. Yanma ürünü olarak ortaya çıkan su, giriş havasının yüksek basınçlı kompresöre doğru yeterli olarak soğutulması, su çekilmesi (water extraction) ve dış soğutma yüklemesi sağlamak amacıyla tasarlanmış BESS soğutucularında özellikle yoğunlaştırılır. Birleşik YBGKTM/BESS çevrimi bilgisayar

modelinde şöyle öngörülür: “Çevrim, türbin kanatlarındaki bıçakların buharla soğutulmasıyla orta-boyutlu motorlarda türbin giriş sıcaklığı olan 1400°C için %49’luk termal verimliliğe sahip olur. Birleşik YBGKTM/BESS çevrimi, en yüksek ısı verimliliği için en iyi şekilde kullanıldığında çalışma koşullarının belirli aralığı için en elverişli durum ortaya çıkar. Çok değişkenli optimizasyon yöntemi ve sonuçları bu çalışmada tanıtılmıştır.

Yüksek basınçlı üretici türbin makinası olarak adlandırılan yarı-kapalı çevrim gaz türbini ile buhar emilim soğutma sistemini, birleştiren yeni soğutma ve güç çevrimi, güç ve su soğutulması için incelenir. Birleşik çevrim için modelin geçerliliği, önceki çalışmalardaki, deneysel sonuçlar ile karşılaştırılarak kontrol edilmiştir. Model sonuçlarını kullanarak birleşik çevrimin, yanan her kg yakıt (propan) için yaklaşık 1,5 kg su üretirken, türbin giriş sıcaklığı olan 1400°C için %40,4’e yaklaşan bir ısı verim ile çalıştığı gösterilir. Isıl verim, birleşik çevrim tarafından üretilen büyük dış soğutma yükünü hesaba katmaz. Üst çalışma koşullarındaki birleşik çevrim verimliliği %44 olarak hesaplanmıştır.

YBGKTM birleşik çevrimi sürekli değişken amaç fonksiyonu ile verim, soğutma ve taze su üretme hedeflerini birleştirerek optimize edilmiştir. Bu çalışmanın sonuçlarını kullanarak, bu ürünlerin göreceli değeri tesis tasarımcısı tarafından belirlenecektir. Sonra sonuçlardan seçilen en uygun yapılandırma sunulacaktır. En uygun durum, daha sonra, geleneksel gaz türbini birleşimi, geleneksel soğutma, geleneksel saflaştırma tesisi gibi teknolojiler ile karşılaştırılacaktır. Optimizasyon, türbin giriş sıcaklığı 1400°C’ye eşit olan orta-boyutlu makina ve tasarım parametresinin korunumlu (konservatif) değerleri için uygulanmıştır. Optimizasyon değişkenlerinde hesaba katılanlar; türbin çıkış sıcaklığı, alçak basınç kompresörü sıkıştırma oranı, yüksek basınç kompresörüne gaz giriş sıcaklığı, BESS üreticisinin sıcaklığı ve su püskürtme parametreleridir. Isıl verim grafiğinin maksimum değerindeki dikkate değer grafik plato düzlüğü, türbin çıkış sıcaklığı ve alçak basınç kompresörü sıkıştırma oranının geniş aralıktaki değerleri için elde edildi. Birleşik YBGKTM/BESS çevrimine su püskürtmenin, sadece amaç fonksiyonunun, ısı verim olması durumunda avantajlı olduğu bulunmuştur. Ayrıca maksimum değerdeki amaç fonksiyonu grafik plato düzlüğünün, su püskürtme olmayan grafik plato düzlüğü ile karşılaştırıldığında, su püskürtme ile biraz yükseldiği görülür. Nesnel fonksiyonun en uygun değerinin, eğer amaç fonksiyonu soğutma oranı olarak adlandırılan

çevrimdeki dış soğutma yükünün yapılan net işe oranı ihmal edilirse, BESS üretici sıcaklığından neredeyse bağımsız olduğu bulunur. Eğer amaç fonksiyonu, soğutma oranı tarafından kontrol altına alındığında, optimizasyon değişkenlerinin en uygun değerlerinin en üst sınırlarda olduğu bulunmuştur.

Performans temelinde, YBGKTM, geleneksel yaklaşımlarla karşılaştırılan üstün sonuçlar sergilediği gösterilmiştir. Bu çalışmada açıklananlar, bu yaklaşımın yoğunluk, düşük emisyon, düşük hava akışı ve uygun ömür-çevrimi (life-cycle) maliyetleri gibi önemli yararlarını dikkate alan bilgiler bütünüdür: Böylece çevrim özelliklerinin birleşimi, yalnız performans dışında da karasal ve ulaşım-taşıt uygulamaları için YBGKTM'yi muhtemelen tercih edilebilir yapacaktır [11].

Correas ve çalışma arkadaşları 1999 yılında ölçüm hataları varsayımı ile güç santrallerinde kullanılan ölçüm aletlerinin cinsine göre santralin en yüksek güvenilir ısı dengesini araştırmışlardır. Çalışmada bütün ünitelerin arıza durumlarını da kapsayan yakıt ürün ilişkilerinin optimum değerleri tespit edilmiştir. 280 MW gücünde bir kojenerasyon santralinin incelendiği çalışmada gerçek işletme verileri kullanılarak performans teşhisi konulmuştur. Çalışmanın sonucunda, verilerdeki uyumun termodinamik analizlerin güvenilirliğini doğruladığı ve fiziksel nedenlerin yakıt üzerindeki tahmini etkisini gösterdiği belirtilmiştir [12].

Çengel ve Boles 2002 yılında birleşik çevrimleri şu şekilde tanıtmışlardır: Daha yüksek ısı verim elde edebilmek için yürütülen çalışmalar, yenilenemez yakıtlı santrallerde yeni iyileştirmeleri gerek kılmıştır. Bu iyileştirmelere örnek olarak akışkanlı güç çevrimini buharlı bir güç çevriminin üst çevrimi olarak kullanmak sayılabilir.

Brayton çevriminin, yüksek sıcaklıklarda çalışmasının sağladığı kazançlardan yararlanmak ve sıcak yanma sonu gazlarını buharlı güç çevrimi gibi bir alt çevrimde ısı kaynağı olarak değerlendirmek yolu ile gerçekleştirilen çevrim, birleşik çevrimlerdir. Bu çevrimde atık baca gazlarının enerjisinden, bir ısı değiştiricisi kullanılarak, alt çevrimde buhar üretiminde faydalanılır. Ayrıca birleşik güç çevrimlerinde termodinamik analiz metodunu tanıtmış, örnek sistemler üzerinde bazı uygulamalarını vermişlerdir [13].

Arpacı ve Binark 2002 yılında gaz türbini ünitesini kompresör, yanma odası ve türbin olarak 3 ayrı bölümde incelemiş ve ünitenin bu bölümlerine ekserji analizi

yapmışlardır. Çalışmada sistemin bölümlerine ait kullanılabilir işin yanısıra, tersinirlik ifadesi de hesaplanmıştır.

Çalışmada türbin giriş hava sıcaklığının (atmosfer sıcaklığı) gaz türbini üzerindeki etkileri incelenmiştir. Giriş havası sıcaklığının artması ile, sistemin tersinmezliğinin düştüğü tespit edilmiş ve herhangi bir ısıl sistem için kullanılabilecek olan ekserji denge denklemi elde edilmiştir. Ekserji denge denkleminin, ekserjinin ekonomik analizi içinde gaz türbini kojenerasyon sisteminde çeşitli girdi fiyatlarına bağlı olan üretim fiyatlarını tahmin etmede kullanılabileceği belirtilmiştir [14].

Zaporowski ve Szczerbowski, 2003 yılında doğalgaz yakıtlı kojenerasyon santrallerinin elektrik üretiminde daha verimli olduğu, çevreye olan zararlı etkilerin daha az olduğu, daha az yatırım gerektirdiği ve daha kısa sürede inşa edilebildiklerinden cazip olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca vakum yoğunlaştırıcı sistemli buhar türbini olan ve karşı basınç yoğunlaştırıcı doğalgaz yakıtlı birleşik ısı ve güç santralleri için iki farklı durumda simülasyon hesaplamaları yapmışlardır.

Çalışmada, vakumlu tip yoğunlaştırıcı buhar türbini olan birleşik ısı güç sistemlerinin daha yüksek verimli oldukları, yaz mevsiminde de yüksek verimle çalıştıkları ve doğalgazlı sistemlerin sadece veriminin yüksek olması değil, çevreye zararlı etkilerinin de daha az olması nedeniyle daha cazip olduğu sonucuna ulaşılmıştır [15].

Arrieta ve Lora, 2004 yılında çevre sıcaklığının birleşik güç çevrimleri üzerine etkilerini incelemiştir. Tez kapsamında incelenen santralle benzer bir yapıya sahip kojenerasyon santralinin ele alındığı sistemde ek olarak ısı geri kazanımlı buhar kazanında yardımcı yanma sistemi mevcuttur. Çalışmada ek yanma ünitesinin, net elektrik gücünü arttırırken ısıl verimi azalttığı ve çevre havası sıcaklığının 35°C artmasıyla ısıl verimin azaldığı, ayrıca net elektrik gücün 640 MW'dan 540 MW'a düşerek ve %16 oranında azaldığı belirtilmiştir [16].

Bathie, 1996 yılında gaz türbinlerinde performansı arttırmak için takviye üretici (regenerator) eklenebileceğini ve eklentinin en azından teorik olarak elde edilen net işi etkilemeyeceğini ifade etmiştir. Ayrıca ara soğutma ile yüksek basınç kompresörüne giriş havası sıcaklığının düşürülmesinin de çevrimden alınan net işi arttıracığı belirtilmiş, ara soğutmanın türbinden alınan işi etkilemeden kompresörde birim zamanda harcanan işi azaltıcı etkiye sahip olduğunu vurgulamıştır [17].

Bhargava ve arkadaşları, 2002 yılında mevcut bir gaz türbini ünitesine ara soğutma ve tekrar ısıtma ünitelerinin uygulanması için tasarım metodu vermiştir. Üç farklı gaz türbini için sonuçları değerlendirilmiştir.

Uygulama yöntemi yeni kompresör tasarımı, yeni türbin tasarımı başlıkları altında ayrıntılı olarak tarif edilmiştir. Sonuç olarak mevcut gaz türbininin iyileştirilmesi durumunda gaz türbininden elde edilebilecek verimin Brayton çevrimi ilaveli bir birleşik çevrimden elde edilebilecek verim değerine kadar yükseltilebileceği ve gaz türbininin termodinamik performansı ile üretilen gücün artacağı saptanmıştır. Ayrıca yapılacak bir iyileştirmenin ekonomik boyutunun da cazip olduğu belirtilmiştir [18].

Bhargava ve Meher-Homji., 2002 yılında değişik gaz türbinlerinde buharlaştırma ve püskürtme metodları ile kompresöre giriş havası nemlendirilmesinin, gaz türbini performans parametreleri üzerine etkilerini araştırmışlardır. Çalışmada nemlendirme işleminin gaz türbini verimini olumlu etkilediği belirtilmiş ancak atmosferik bağıl nemin %0-%100 arasında değiştiği durumlarda türbin parametrelerindeki değişimin %1'in altında kaldığı ifade edilmiştir [19].

Beyne, 2002 yılında ısı geri kazanım sistemlerinin bazı önemli uygulamaları için genel bir değerlendirme yapmışlardır. Çalışmada birleşik çevrimli güç santralleri için basitleştirilmiş yöntem tanıtılmıştır. Maliyet denklemleri verilmiş ve alternatif birleşik güç santralinde enerji maliyeti terimleri tanıtılmıştır. Çeşitli örnekler üzerinde uygulamalar gösterilmiş ve yapılan analizle yalnızca maliyetlerin değil emisyonların da yöntemle verilen eşleşmelerle tespit edilebileceği vurgulanmıştır [20].

Nixdorf ve arkadaşları, 2002 yılında gaz türbininden elde edilen faydalı iş miktarını arttırmaya yönelik olarak, şartlandırılmış farklı türbin giriş havası sıcaklıkları için elde edilen faydalı iş miktarının ne şekilde değiştiğini, atmosfer sıcaklığı ve değişimlerinin kompresör giriş havası sıcaklığı ve değişik soğutma ünitelerinin ısı yükleri üzerine etkilerini incelemişlerdir. Ayrıca önerilen sistemlerin termoekonomik analizleri de maliyet optimizasyonu tabanlı olarak gerçekleştirilmiştir [21].

Erdem ve arkadaşları, 2001 yılında çevre sıcaklığının performansa etkilerini incelemiş ve iklim bölgelerine göre gaz türbinindeki performans kayıplarının azaltılması ya da kazançlarının artırılması için tasarım parametrelerinin olası büyüklük aralıklarını belirtmişlerdir.

Çalışmada, gaz türbinleri çevre sıcaklığının arttığı saatlerde pik yük talebi olan yerlerde kullanılıyor ise elektrik üretiminin düşeceği, elektriğin değerli olduğu saatlerde üretimin düşmesinin üreticileri zor durumda bırakacağı ve üretim maliyetlerinin yükseleceği belirtilmiştir.

Çalışmada sonuç olarak, çevre sıcaklığının düşmesi ile tüm performans değerlerinin iyileştiği ve sıcaklığın artması ile performansın düştüğü, bu nedenle iklim özelliklerine bağlı olarak sıcak bölgelerde kullanılan gaz türbinlerinin tasarım parametrelerinin seçiminde performansdaki azalmanın da göz önünde bulundurulması gerektiği kaydedilmiştir. Ayrıca kompresör basınç oranının düşük ve çevrimin en yüksek sıcaklığının yüksek olması çevre sıcaklığından dolayı performans değerlerindeki kötüleşmeleri azalttığı, bu durumda gaz türbinin performans değerlerinin çevre sıcaklığına duyarlılığının da azaldığı belirtilmiştir [22].

Erdil ve Yılmaz, 2002 yılında kojenerasyon sistemlerinin performans analizi için kullanılan kriterlerin en çok bilinenlerini; enerji yararlanma oranı, ısıl verim, yakıt enerjisi tasarruf oranı, ekserji verimi ve kojenerasyon verimi olarak sıralamışlar ve sonlu zaman ısı transferi tersinmezliklerini dikkate alarak, bu performans kriterlerine dayalı analiz yapmışlardır.

Sonuç olarak ısı-güç oranı arttıkça çevrimden elde edilecek en yüksek enerji, en yüksek ekserjideki ısı yararlanma oranı ve ekserji veriminin azaldığı tespit edilmiştir. Ayrıca, proses için gerekli olan akışkan sıcaklığının enerji yararlanma oranı ve ekserji verimi değerlerini olumsuz etkilediği belirtilmiştir [23].

Kim ve arkadaşları, 2001 yılında çift basınç kademeli birleşik çevrim santrallerinde buhar çevriminin geçici rejim davranışlarını incelemişlerdir. Çalışmada amaç, çift basınç kademeli sistemlerin buhar tarafının tasarım özelliklerinin belirtilmesi, giriş gaz debisi ve yük durumu gibi harici etkilere sistemin ne şekilde karşılık vereceğinin analizidir [24].

Göğüş ve Ataer, 1998 yılında enerji üretim sistemlerinde değişen çevre sıcaklığı ve buna bağlı olarak kaynak sıcaklığı değişimi, talep değişimi, ekserji depolama kabiliyeti ve sonlu zaman etkisini analiz etmişlerdir.

Sonuç olarak çevre sıcaklığı değişiminin, jeotermal ve güneş enerjisi sistemlerinde ihmal edilmeyecek etkisinin olabileceği vurgulanmıştır. Çevre sıcaklığına bağlı



olarak işletme oranı değişiminin sistemin genel veriminde artışa neden olabileceği belirtilmiştir [25].

Serova ve Brod, 2004 yılında seçilen çevre özelliklerinin termodinamik analizler üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Verilen metodun yalnızca termodinamik problemlerin çözümlerinde kolaylık sağlanması açısından değil, biyoloji ve ekonomi bilimlerini de içeren disiplinler arası bir ekserji metodu olması bakımından, kullanışlı olduğu vurgulanmıştır [26].

Kwark ve çalışma arkadaşları, 2003 yılında 500 MW anma gücünde bir birleşik çevrim güç santraline ekserji analizi uygulamışlardır. Analizlerde sistemdeki her bir ünite kütle ve enerjinin korunumu prensipleri uygulanmış, her bir ünite için ve sistemin bütünü için enerji ve ekserji maliyeti dengesi sağlanmıştır. Sistemin üretim yapısını ortaya koyan ekserjiye bağlı ekonomik model oluşturulmuş, maliyet tablosunda ve üniteler arasındaki üretim etkileşimi gösterilmiştir.

Yakıt dışı akışkan ve yakıtın kütleli debilerinin oranları ile ekserji verimi terimlerini içeren bir maliyet denklemi oluşturulmuş ve birim elektrik üretimi için, bazı yük durumlarında, gaz türbininin buhar türbininden daha ekonomik olduğu vurgulanmıştır [27].

### 3. ENTEK E.Ü.A.Ş. BURSA DOĞALGAZ KOJENERASYON TESİSİ

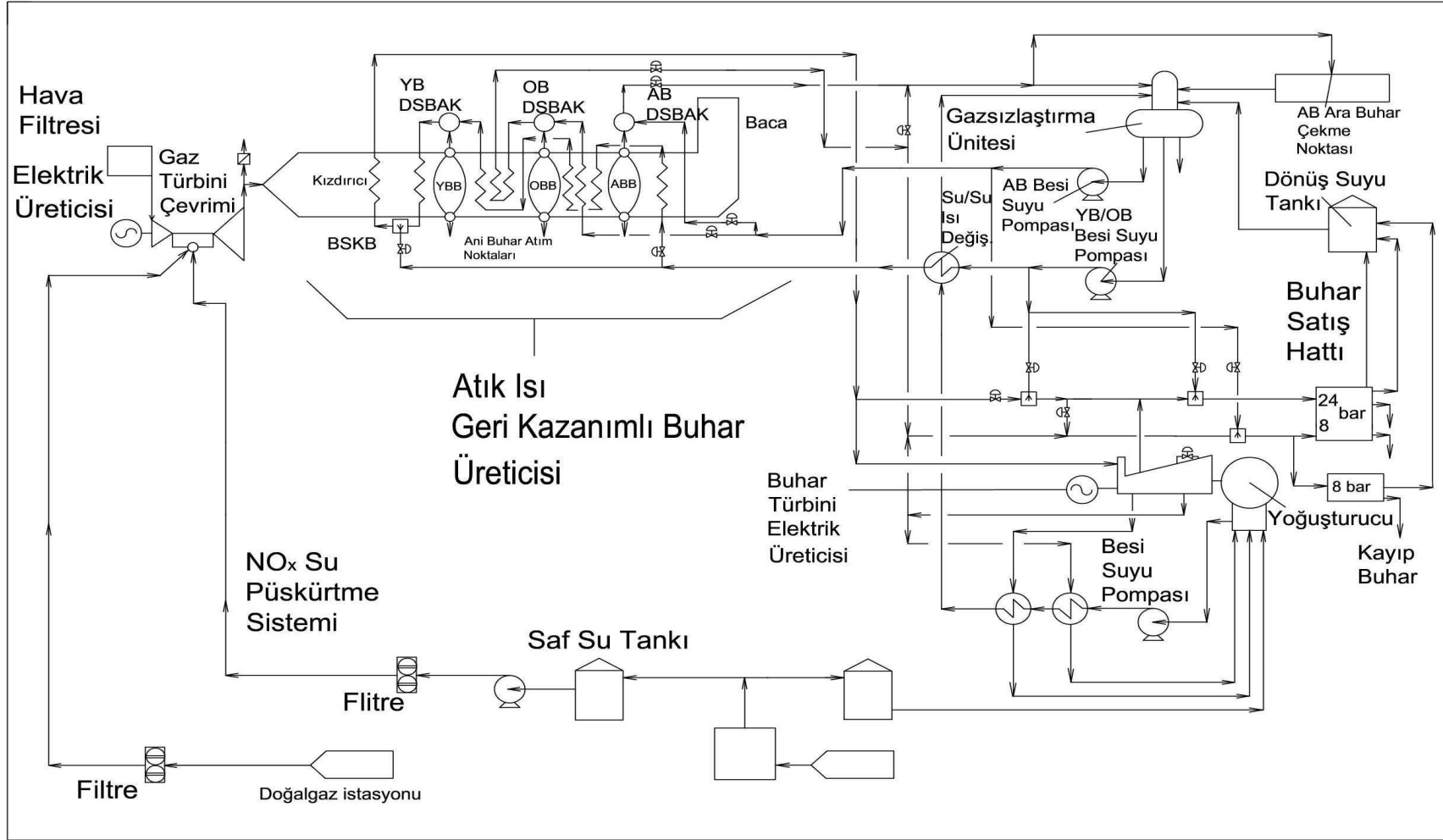
Bursa, Osmangazi, Demirtaş Organize Sanayi Bölgesi'nde kurulu bulunan 104 MW gücündeki ENTEK Elektrik Üretimi A.Ş. Bursa DKT için 1997 yılında Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı'ndan kurulum izni alınmıştır. Şekil 3.1'de ENTEK E.Ü.A.Ş. Bursa DKT enerji dengesi diyagramı sunulmuştur.

Tesis, kojenerasyon amaçlı hem elektrik hem de buhar üretmek üzere tasarlanmış bir doğalgaz çevrim santralidir. Tesiste üretilen elektrik enerjisi, öncelikle şirketin kendi müşterilerine, fazlası ise TEİAŞ'a nakledilmektedir.

Elektrik enerjisi, gaz türbini ve buhar türbinine bağlı elektrik üreticilerinden (jeneratörlerden) elde edilir. Gaz türbini çevrimindeki yanma odasına gelen doğalgazın yanmasıyla ortaya çıkan gazlar, gaz türbininin rotorunu çevirir. Bu da, gaz türbini miline bağlı elektrik üreticilerinin rotorunu çevirir ve böylece elektrik enerjisi elde edilmiş olur.

Gaz türbinini terk ederek bacadan çıkan sıcak baca gazı, atık ısı buhar üreticisinden geçer ve buradan, buhar türbini çevrimindeki besi suyunun ısıtılarak faz dönüşümünün gerçekleştirilmesi ile su buharı elde edilir. Elde edilen buhar, çeşitli amaçlarla kullanılmak üzere öncelikle doğrudan ENTEK E.Ü.A.Ş.'a bağlı bulunan müşteri firmalara verilir. Buhar buralarda kullanıldıktan sonra yoğuşmuş su geri dönüş hattı üzerinden ENTEK E.Ü.A.Ş. Bursa DKT sahasında bulunan yoğuşmuş su dönüş tankına gelir. Bu firmaların buhar ihtiyacı karşılandıktan sonra buhar üreticisinde üretilen buharın geriye kalanı, buhar türbinini çevirmek için kullanılır ve buradan elektrik enerjisi elde edilir. Buhar türbininde entalpisi ve basıncı azalan çürük buhar yoğuşturucuya gönderilir, yoğuşturucudan pompalar vasıtasıyla gazsızlaştırma ünitesine, oradan da besi suyu pompaları ile buhar üreticisine basılır. Böylece sistem, kapalı çevrim halinde çalışmaya devam eder.

NO<sub>x</sub> emisyonunun azaltılması için NO<sub>x</sub> sistemi mevcuttur. NO<sub>x</sub> su püskürtme sistemi, saf (demineralize) su tankından gaz türbini elektrik üreticisi yakıt sistemine saf su sağlamak için tasarlanmıştır. NO<sub>x</sub> su püskürtme pompa grubu, kontrol sistemi tarafından kontrol edilmektedir.



**Şekil 3.1:** ENTEK E.Ü.A.Ş. Bursa Doğalgaz Kojenerasyon Tesisi enerji dengesi diyagramının şematik gösterimi [28]

Modellenen tesiste, kazan besleme suyu olarak kullanılacak olan suyu ve gaz türbini grubunun bacasındaki NO<sub>x</sub> emisyonunu azaltmak için kullanılacak suyu üretmek için 45 m<sup>3</sup>/saat ve 60 m<sup>3</sup>/saat kapasiteli saf su üniteleri bulunmaktadır.

Tesiste bulunan üniteler şunlardır;

- 2 adet gaz türbini elektrik üreticisi grubu
- 1 adet buhar türbini elektrik üreticisi grubu
- 2 adet atık ısı buhar üreticisi
- 1 adet saf su oluşturma ünitesi
- Doğalgaz basınçlandırıcı
- 154 kV ve 34,5 kV elektriksel gerilimi indirici (şalt) sistemi
- Soğutma kulesi

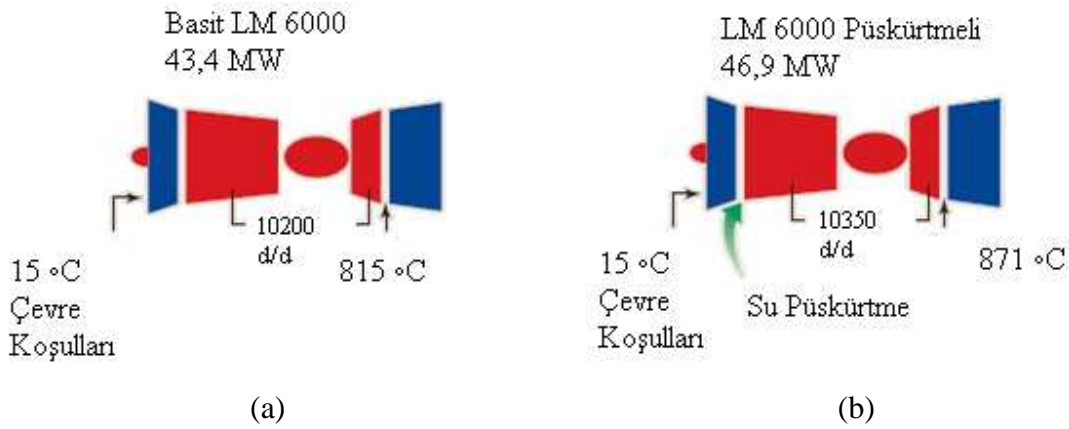
Cycle-Tempo Programı ile modelleme yapılırken, programın belleğinin yetersiz kalması nedeniyle basitleştirme yapılması amaçlanarak tesisin 2 adet gaz türbini ve 1 adet buhar türbini çevrimi, gaz türbini debisi sabit olmak kaydıyla buhar türbini debisi yarıya indirilerek, 1 adet gaz türbini ve 1 adet buhar türbini çevrimine indirgenmiştir. Çıkan analiz sonuçlarının, basitleştirilmemiş orijinal çevrimlerle elde edilecek sonuçlarla yakın değerlerde olacağı beklenebilir.

Modellenen tesis, Brayton çevrimi, birleşik (Brayton ve Rankine) çevrim veya kojenerasyon modunda işletilebilir. ENTEK E.Ü.A.Ş. Bursa DKT'yi sadece elektrik üretimine yönelik olarak Brayton çevriminde işletebilmek için köprüleme (by-pass) bacası kullanılır. Köprüleme bacası, AIBÜ'yü izole edebilmek için, tek kanatlı yönlendirici kapak (damper) ile donatılmıştır. Yönlendirici kapak, elle ayarlanabilir bir tasarıma sahiptir.

Kojenerasyon ve birleşik çevrimde AIBÜ ile üretilen olan su buharı tesise ait buhar borularına verilir. BTEÜ'de kanal ısıtıcıları olmadığından, üretim, buhar müşterilerinin talepleri veya gaz türbini elektrik üreticisinin (GTEÜ) çeşitli yük durumları ile kontrol edilir.

Mevcut BTEÜ, AIBÜ'nün mevcut ısı değiştiriciler ile beraber en yüksek akış şartlarında ürettiği yüksek basınçlı (YB) ve orta basınçlı (OB) buharların tümünü kullanmak için tasarlanmıştır. GTEÜ'de yük düşerken, AIBÜ yüksek basınç buhar çıkış sıcaklığı düşme eğilimi gösterir.

GTEÜ'nün elektrik üretimi ortam sıcaklığına bağlıdır. Ortam sıcaklığı performansı birkaç yönden etkiler. GTEÜ (General Electric GE-LM 6000 modeli), kompresöre giriş havası sıcaklık kontrolü tasarımına sahip olmadığından, gaz türbini girişi hava sıcaklığı ortam sıcaklığında olur. GTEÜ'de elektrik üretimi genel olarak yüksek atmosferik hava sıcaklığında azalır. GTEÜ (GE-LM 6000 PC Sprint modeli), kompresöre giriş havası sıcaklık kontrolü tasarımına sahip olduğundan, bu iki türbin arasındaki işletme farkı, çalışmanın sonuçlar ve öneriler bölümündeki incelemelerde ortaya konmuştur. Şekil 3.2'de ara soğutma olması ve olmaması durumları gösterilmektedir.



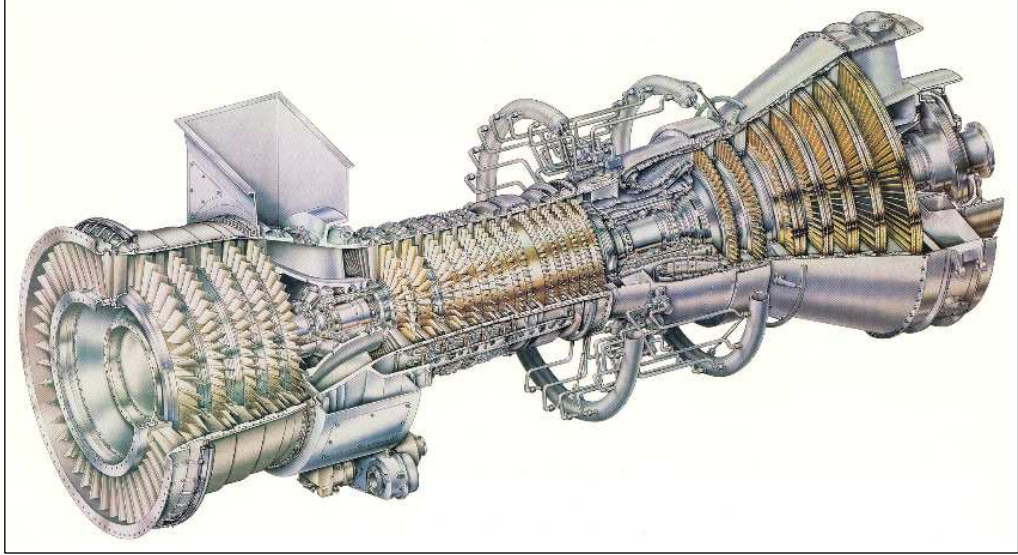
**Şekil 3.2 :** Ara soğutma yapılmaması hali (a) ve (b) ara soğutma yapılması halleri [29].

Ara soğutma aynı zamanda baca gazı sıcaklığını ve baca gazı debisini etkiler. Bunlar da AIBÜ'deki buhar üretimini doğrudan etkiler. Buhar üretimi, GTEÜ güç üretimini izleme eğilimindedir. Başka bir deyişle, gaz türbininin elektrik güç çıkışındaki artışı, buhar üretimindeki artış takip eder. AIBÜ'nün yüksek basınçlı buhar üretimi arttığında, BTEÜ elektrik gücü üretimi de artar.

### 3.1 Gaz Türbini Elektrik Üreticisi Grubu

GTEÜ grubu, iki kademe güç türbinine sahip iki şaftlı bir modeldir. Şaft, esnek bir kaplin ve yanmış gaz çıkışı toplayıcısı üzerinden hız düşürücü dişli kutusuna bağlanır.

GTEÜ (GE-LM 6000 modeli) Şekil 3.3'de gösterilmiştir.



**Şekil 3.3 :** GE-LM 6000 Gaz türbini grubu elektrik üreticisi grubu [30].

GTEÜ 3 adet soğutucu fana (fan/fan cooler) sahip olup, GTEÜ'nün yağlama sistemlerinin soğutulmasında kullanılır. Bu soğutucuların her biri 11 kW gücündedir.

GTEÜ su sızdırmazlığına sahip ve 85 dB ortalama ses şiddetine göre tasarlanmış bir kabin tarafından korunur.

GTEÜ soğuk hava şartlarında emniyetli işletme için buzlanma koruması (anti-icing) sistemiyle donatılmıştır. Normal koşullar için bir köprüleme sistemine sahiptir.

### **Gaz türbini için genel bilgiler;**

- İmalatçı firma: General Electric
- Gaz türbini modeli: LM 6000 PC-SPRINT w/o VIGVs
- Elektrik üreticisi modeli: 290 ERT 50 Hz 11,5 kV, 0,85 PF
- Yakıt: Doğalgaz

Gaz türbininin sıkıştırma oranı 31 olup, 15 °C ve %70 bağıl neme sahip hava için:

- Brüt elektrik çıkışı gücü: 45.977 kW
- Isı-güç oranı: 2130,91 kcal/kWh
- NO<sub>x</sub> kontrolü için püskürtülen suyun debisi: 5305 kg/h
- Kompresörde ara soğutma yapılırken püskürtülen suyun debisi: 2396 kg/h
- GTEÜ'nün baca gazı çıkış sıcaklığı: 446 °C
- GTEÜ'nün baca gazı çıkış debisi: 129 kg/s olarak verilmektedir.

Gaz türbini yakıt sisteminde kullanılan doğalgazın sıcaklığının, en az 28°C olması gerekmektedir.

NO<sub>x</sub> emisyonunun azaltılması için NO<sub>x</sub> kontrollu su püskürtme sistemi mevcuttur. GTEÜ bacasında NO<sub>x</sub>,60 ppm seviyesinin altında tutulur.

GTEÜ iki ayrı yağlama sistemine sahiptir. Bu yağlama sistemleri güç türbini, dişli kutusu ve elektrik üreticisi için kullanılır. Her yağlama sistemi ikili filtrele ve sıcaklık kontrol vanalarına sahiptir. Acil durumlarda GTEÜ'de kullanılması için doğru akım beslemeli bir yağlama pompası mevcuttur.

Yardımcı dişli kutusu üzerinden türbin shaftını döndürmeye yarayan bir hidrolik motor sistemi vardır. GTEÜ'yü devreye alma sırasında hidrolik motor sistemi kullanılır.

### 3.2 Buhar Türbini Elektrik Üreticisi Grubu

GE-155432 numaralı buhar türbini, bir tek kontrollü giriş-çıkış ve tek kontrolsüz çıkışı olan yoğuşurmalı (kondensli) buhar türbinidir. Buhar türbini, doğrudan 40 MVA nominal gücünde 6A6 model GE elektrik üreticisini çalıştırır.

GE normal işletme şartları için yüksek basınçlı giriş buharında en alt sıcaklık sınırını belirlemiştir. AIBÜ'nün tasarımına ve GTEÜ'nün performansına bağlı olarak, GTEÜ tam yükte iken anormal düşük ortam sıcaklıklarında yüksek basınçlı giriş buharında belirlenen en düşük sıcaklık limitine ulaşılabilir. Buhar türbini, bu sıcaklığa ulaşıldığında devre dışı olmalıdır. Dağıtılmış kontrol sistemi (DKS), düşük YB buhar sıcaklığı için bir alarm sağlar. Eğer sıcaklık düşmeye devam eder ve belirlenen limite ulaşırsa, DKS buhar türbini kontrol sistemine BTEÜ'yü durduracak bir sinyal sağlayacaktır. Buhar türbini kontrol sistemi, DKS benzeri bir koruyucu mantık ile programlanmıştır. Şekil 3.4'de bir buhar türbini gösterilmektedir.



Şekil 3.4 : Buhar türbini elektrik üreticisi grubu [31].



### 3.3 Atık Isı Buhar Üreticisi

Atık ısı buhar üreticisine giren su, ısındığı ve belli bir sıcaklığa eriştiği zaman, artık sıvı halinde kalamayacağı bir hale gelir. Buna “doyma” noktası denir. Su kaynamaya başlar ve kısmi olarak buhar fazına geçer. Bu andan itibaren suyun tamamının buhar fazına geçtiği ana kadar, su-buhar karışımının sıcaklığı yükselmez. Alınan ısıнын tamamı, faz dönüşümünde kullanılır. Oluşan buharı, bir şekilde kapalı bir kaptaki biriktirir ve faz dönüşümü tamamlandıktan sonra buharı ısı vermeye devam edersek, buharın sıcaklığı ve basıncı artmaya başlayacaktır. Bu andan itibaren buhar kızgın buhar haline dönüşür. Buharın hangi halde olduğunu belirlememizde bize yardımcı olan ana parametreler basınç ve sıcaklıktır. Bu parametrelerden doymuş buhar için en az birinin ve kuruluk derecesinin kızgın buhar için her ikisinin de bilinmesi durumunda, buharın diğer fiziksel özellikleri termodinamik tablolar yardımıyla kolay bir şekilde bulunabilir.

Buhar özelliklerinden en önemli olanı entalpidir. Buhar için termodinamik tablolar yardımıyla bulunan entalpi değerini kullanarak, basınç düşümü sonrası sıcaklığın ne olması gerektiği, türbinde genişleme işleminde enerjinin korunumundan yola çıkılarak bulunabilir.

Gerek proseslerden dönen yoğuşmuş suyun tekrar ısıtma amaçlı kullanımı, gerekse buhar kapalı çıkışlarındaki (flaş) buharın tekrar kullanımı sağlanarak, ısı geri kazanımı sağlanabilir. Buhar, yanmaz ve alev almaz özelliği nedeniyle patlayıcı ortamlar için emniyetlidir. Buhar, nakil sırasında kaliteli sızdırmazlık elemanları ile tüm ortamlarda kullanılabilir. Buhar sağlıklı bir akışkandır ve pişirme ve mikroplarından arındırma gerektiren (sterilizasyon) işlemlerde doğrudan püskürtülerek kullanılır. Buhar, enerjinin verimli olarak kullanılması ve çevrenin korunması açısından önemli bir enerji kaynağıdır. AIBÜ örneği, Şekil 3.5’de gösterilmiştir.



**Şekil 3.5 :** Atık ısı buhar üreticisi [32].

AIBÜ, gaz türbini grubu çıkışındaki yanmış hava yakıt karışımının ısısının, kazan içinden geçen suya transfer edilmesi ve böylece buhar üretilmesi için tasarlanmıştır. AIBÜ, üç farklı basınçlı doymuş sıvı buhar ayırıcı kazandan (DSBAK) oluşur. Bunlar; yüksek basınç (YB), orta basınç (OB) ve alçak basınç (AB) bölümleridir. DKS, aşağıda tanımlandığı gibi AIBÜ'nün ilgili işlem suyu ve buhar sistemlerini kontrol eder.

AIBÜ'nün genel özellikleri ve ana bileşenleri şu şekildedir;

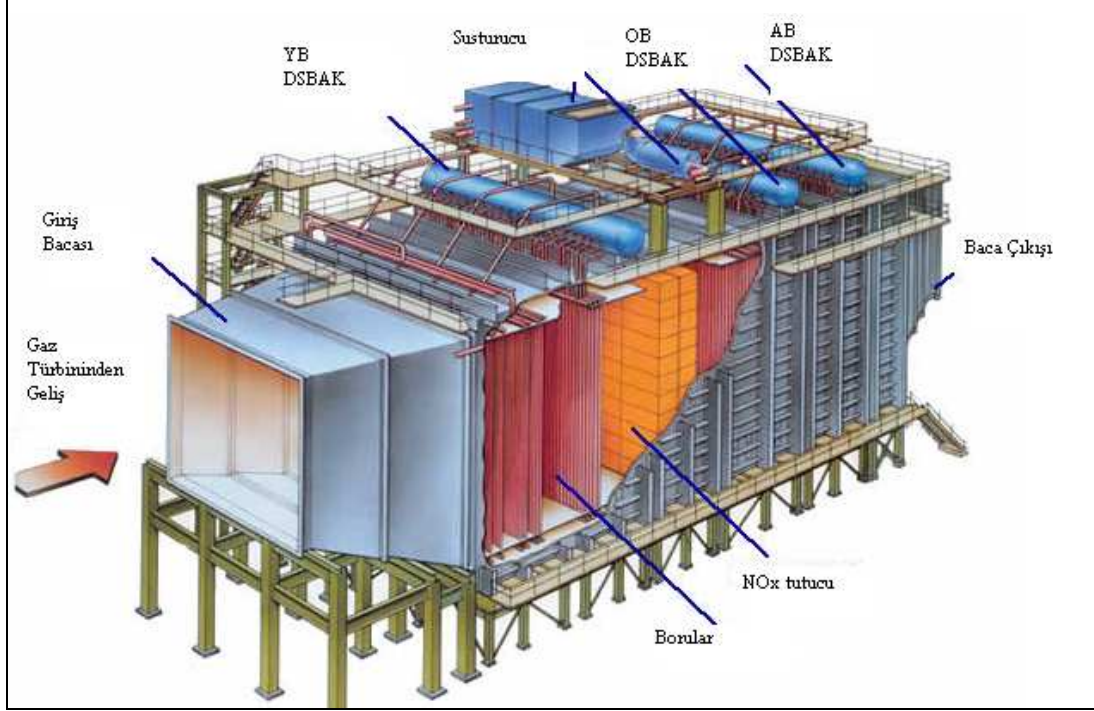
- Dış ortam sıcaklığı: 15°C
- Gaz türbini elektrik üreticisi: Tam yükte %100
- Gaz türbini elektrik üreticisi yakıtı: Doğalgaz
- Gaz türbini elektrik üreticisinin atık gaz debisi: 489 Ton/h
- Gaz türbini elektrik üreticisinin atık gaz sıcaklığı: 443°C
- Kazan besleme suyu sıcaklığı: 65,5°C

AIBÜ çıkışında beklenen buhar özellikleri ise şu şekildedir;

- Buhar sıcaklığı: 399°C (YB DSBAK), 232°C (OB DSBAK), 131°C (AB DSBAK)
- Buhar basıncı: 48,3 bar (YB DSBAK), 14,1 bar (OB DSBAK), 2,8 bar (AB DSBAK)

- Buhar debisi : 44,2 Ton/h (YB DSBAK), 10,3 Ton/h (OB DSBAK), 7,7 Ton/h (AB DSBAK)

AIBÜ, St-37 karbon çeliğinden imal edilmiş olup, AIBÜ’de izolasyon malzemesi olarak, taşıyıcı kullanılmıştır. Şekil 3.6’da, AIBÜ’nün iç yapısı sunulmuştur.

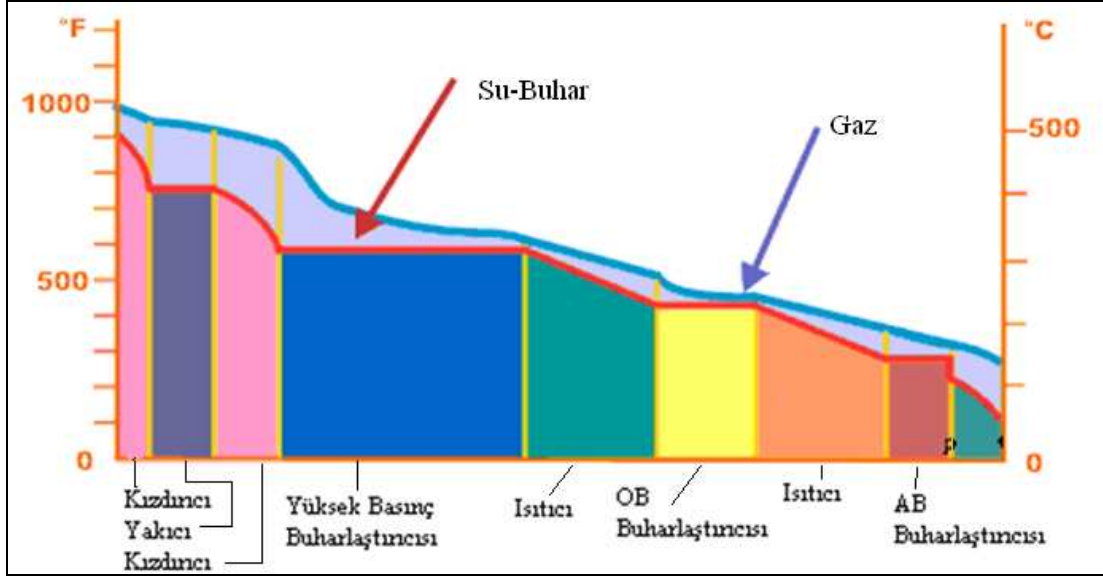


Şekil 3.6 : Atık ısı buhar üreticisi ve iç yapısı [33].

AIBÜ ana bileşenleri şu şekilde sıralanabilir.

- Isıtıcı (Economizer)
- Buharlaştırıcı (Evaporator)
- Kızdırıcı (Superheater)
- DSBAK (Drum)
- Bağlayıcı ve taşıyıcı sütun (Downcomer)
- Buhar sıcaklığı kontrol ve su püskürtme bölümü (Desuperheater)
- Emniyet vanaları (EV)

Şekil 3.7’de, AIBÜ içerisindeki sıcaklık profilini incelemek mümkündür.



Şekil 3.7 : Atık ısı buhar üreticisi sıcaklık profili [34].

### 3.3.1 Yüksek basınçlı buhar üretimi

Yüksek basınçlı buhar üretimi işlemi, yüksek basınç ısıtıcısı (YBI), yüksek basınç buharlaştırıcısı (YBB), ve yüksek basınç kızdırıcısı (YBK) olarak isimlendirilen ısı alış-veriş ünitelerinden oluşmaktadır. Bu üniteler, buhar üretimi esnasında AIBÜ içerisine, atık gazın sıcaklığındaki düşüş ve buharlaşacak suyun sıcaklığındaki artış dikkate alınarak, yerleştirilmiştir. Böylece GTEÜ atık ısısının çok büyük bir bölümü AIBÜ'ye giren su tarafından alınabilmektedir. GTEÜ'nün atık gazlarının ısısının çok büyük bir bölümünün AIBÜ'ye giren su tarafından alınabilmesi, AIBÜ verimini arttırmakta ve daha çok buhar üretimi sağlamaktadır.

YB buhar üretim sistemi 3 adet emniyet vanasına (EV) sahiptir. Bunlardan ikisi kazan üzerinde dikey konumdadır. Diğeri ise, YBK ana buhar çıkış hattı üzerindedir. Normal çalışma koşullarında bu 3 adet vananın hepsinin kapalı olmasına rağmen, DSBK basıncındaki ani bir yükselme durumunda, ilk olarak YB buharının %30'unu tahliye edebilecek YBK ana buhar hattı üzerindeki vana, DKS tarafından açılır. Eğer DSBK'daki basınç artışı devam ederse, YB buharının %50'sini tahliye edebilecek şekilde seçilmiş YB DSBK EV'leri açılarak, buhar tahliye edilir.

YB buhar kazanında tek bir basınç ölçeri mevcuttur. Bu basınç ölçer, YB kazanı çıkış vanasını kontrol etmek için kullanılır ve 52 bar basınçta yüksek basınç alarmını çalıştırır. YB kazan çıkış vanası, DKS tarafından otomatik olarak veya el ile açılabilir. YB kazan çıkış vanası otomatik konumda iken, kazan basıncı 1 bar

olduğunda, vana kapanır. Basınç 0,3 bar'ın altına düşmedikçe, YB kazan çıkış vanası tekrar açılmaz.

YBK çıkış basıncı, AIBÜ içindeki üniteler yük paylaşırken ve çıkış izolasyon vanaları açıkken, YB çıkış hat basıncı ile birlikte çeşitlilik gösterir. Eğer YB çıkış hat basıncı, YBK çıkış basıncından yüksekse veya AIBÜ izole edildiyse, DKS, YBK çıkış vanasını kullanarak, çıkış basıncını kontrol eder. YBK çıkış basınç ölçeri, belirlenen basıncın üstünde bir basınç ölçerse, YBK çıkış vanası, belirlenen (set edilen) basıncı elde edecek şekilde DKS tarafından ayarlanır. YB buhar çıkış hattı, YB buhar akış tasarım değerinin yaklaşık %70'ini geçirecek şekilde tasarlanmıştır. Bu yüzden GTEÜ yüksek güçlerde işletilirken, AIBÜ'de devrede olmalıdır. AIBÜ'nün yüksek basınç bölümü, DKS alarmları, DKS acil durdurma sistemi ve emniyet vanaları ile korunmuştur.

YBK çıkışında, gösterme, kontrol ve alarm vermek için bir sıcaklık ölçeri mevcuttur. Bu sıcaklık ölçerlerin kurulduğu her bir döngü, bir AIBÜ suyunun şartlandırıcısını, bir şartlandırıcı püskürtme suyu izolasyon vanasını ve bir şartlandırıcı püskürtme suyu sızıntı önleyici vanasını kontrol eder. YBK çıkış buhar sıcaklığı, belirlenen değerine yaklaştığı zaman, DKS şartlandırıcı püskürtme suyu sızıntı önleyici vanasını kapar ve 30 saniye sonra, şartlandırıcı püskürtme suyu izolasyon vanasını açar. Daha sonra, sıcaklık kontrol vanası, AIBÜ kızdırıcısına gönderilen püskürtme suyu akışını kontrol edecektir.

### **3.3.2 Orta basınçlı buhar üretimi**

Orta basınçlı (OB) buhar üretimi işlemi, DSBK, orta basınç ısıtıcısı (OBI), orta basınç buharlaştırıcısı (OBB) ve orta basınç kızdırıcısı (OBK) bileşenlerinden oluşmaktadır.

OB buhar üretimi sistemi, 3 adet emniyet vanasına sahiptir. Bunlardan 2 tanesi DSBK üzerinde, diğeri ise, OB ana buhar hat çıkışında bulunmaktadır. OB buhar üretimi esnasında bir basınç artışı olursa, ilk olarak OBK üzerindeki EV açılır. Bu vana, OB buhar üretiminin %30'unu tahliye edebilecek kapasitede seçilmiştir. DSBK'da basınç artışı devam ederse, DSBK üzerindeki EV'ler açılır. DSBK EV'leri ise, OB buhar üretiminin %50'sini tahliye edebilecek kapasitededir.

OB buhar kazanında, tek bir basınç ölçer mevcuttur. Bu basınç ölçer, OB kazanı çıkış vanasının kontrolü için kullanılır ve 52 bar basınçta, yüksek basınç alarmını

sağlar. OB kazan çıkış vanası, DKS tarafından otomatik olarak veya el ile açılabilir. OB kazan çıkış vanası otomatik durumda iken, kazan basıncı 1 bar'a ulaştığında, vana kapanır. Basınç 0,3 bar'ın altına düşmedikçe, vana tekrar açılmaz.

### **3.3.3 Alçak basınçlı buhar üretimi**

AB buhar üretimi, AB-DSBAK ve bir buharlaştırıcı grubundan oluşur. Bu ana sisteme, buhar üretimi esnasında yardımcı olan ekipmanlar içinde, DSBAK üzerindeki iki adet emniyet vanası ve DSBAK su seviye göstergeleri gösterilebilir.

AB-DSBAK, gazsızlaştırma ünitesine gelen ve buradan da AB/OB besi suyu pompaları ile basılan suyu kullanmaktadır.

DSBAK üzerinde iki adet emniyet vanası, dikey konumda bulunmaktadır. Bu vanalar, AB buharının %70'ni tahliye edebilecek kapasitede seçilmiştir.

### **3.3.4 Isıtıcılar**

Isıtıcılar, besi suyu pompasının bastığı suyun sıcaklığını, gaz türbininden çıkan atık baca gazının ısını tutarak yükseltir. Isıtıcılar, suyun sıcaklığını, ilgili basınçdaki buharlaşma sıcaklığına yakın bir değere kadar yükseltirler.

Kazan sistemine beslenen suyun tamamı, gazsızlaştırma ünitesi besi suyu tankından sağlanmaktadır.

YB buhar üretim sistemindeki ısıtıcıların, dış hava şartları, GTEÜ güçleri ve buhar ihtiyacına göre köprülenebilirler.

### **3.3.5 Buharlaştırıcılar**

AIBÜ besi suyu hattından DSBAK içine alınan su, DSBAK alt kotundan çıkan bağlayıcı ve taşıyıcı sütuna (downcomer) bağlı hat ile buharlaştırıcı alt başına ulaşır. Buradan, buharlaştırıcı alt başına bağlı bulunan buharlaştırıcı kolonlarına geçer. Bu kolonlarda suyun bir kısmı hemen ısınır ve buhara dönüşür. Oluşan buhar, su içinden habbeler halinde, buharlaştırıcı kolonun üst kısmına doğru harekete geçer. Buharlaştırıcı kolonlarının üst kısmında bulunan yükseltici borular üzerinden tekrar DSBAK'ya döner.

Bu su/buhar yönlendirmeleri, tamamen doğal akışla, yoğunluk farkının oluşmasıyla sağlanmaktadır. Soğuk su katmanları alt kotlarda kalırken ısınan (yoğunluğu azalan) su katmanları ve buhar, doğal olarak üst kotlara yükselir.

Buharlaştırıcı kolonlarının bağlı bulunduğu boruların, bağlı bulunduğu alt taşıyıcı-bağlayıcı sütun başı, ani buhar atış (blowdown) bağlantısını yapısında bulundurur. Bu ani buhar atışın amacı, suda bulunan yabancı maddeleri tahliye edebilmek ve DSBAK'ın kimyasal korunma açısından sınırların içinde tutulmasına yardımcı olmaktır. Ayrıca, AIBÜ'nün devreye alınışı (start-up) esnasında, DSBAK seviyelerinin kontrolü amacıyla tahliye için de ani buhar atış noktaları kullanılır.

### **3.3.6 Kızdırıcılar**

Isıtıcılar aracılığı ile belirli sıcaklığa kadar ısıtılan su, DSBAK'a iletilir. Buradaki su taşıyıcı ve bağlayıcı sütunlar vasıtası ile DSBAK'dan buharlaştırıcılara beslenir ve burada buharlaşarak, yükseltici hatlar vasıtasıyla buhar fazında DSBAK'a döner. Bu durumdaki buharın sıcaklığı, o anki buhar hattı basıncına karşılık gelen doymuş buhar sıcaklığıdır. Dolayısıyla istenilen kızgın buharın elde edilebilmesi için, kızdırılması (ilave enerji yüklenmesi) gerekmektedir. İşte bu ilave enerji, kızdırıcılar aracılığı ile buhara kazandırılır. Yükseltici borular vasıtası ile, DSBAK içindeki suya karışmadan, DSBAK üst kısmına biriken ıslak buhar, su tutuculardan geçerek kızdırıcıya gönderilir. Kızdırıcılar, kazanın en sıcak bölgesine konumlandırıldıkları için, buharın kızdırılması kolayca gerçekleştirilir.

Özellikle, YB kızdırıcı siteminde, buhar sıcaklığı kontrol ve su püskürtme bölümü, bir ara kademe olarak bulunmaktadır. Bunun amacı, üretilen buharı, GTEÜ baca gazının, mevsimsel etkenlerin vb. etkilerinden kurtararak sıcaklığı belirlenen bir değerde tutulmasıyla, başta kızdırıcının devamının ve diğer ekipmanların zarar görmesi önlenir.

### **3.3.7 Doymuş sıvı buhar ayırıcı kazan**

DSBAK'lar, gazsızlaştırma ünitesinden aldığı besi suyunu, içerisinde bulundurduğu su ile karıştırır. DSBAK içindeki su, taşıyıcı ve bağlayıcı sütunlar aracılığıyla buharlaştırıcıların alt kısımlarına beslenir ve su buharı üretimine katılır. Su buharı üretilirken buhar/su karışımı, buharlaştırıcıların üst kısmına yoğunluk farkı nedeniyle yükselir ve buhar fazına dönüşerek, yükseltici borular aracılığıyla DSBAK'a girer. DSBAK'a giren buhar, DSBAK normal seviyesinin üzerine kadar buhar/su ayırıcılar aracılığı ile çıkarılır. Böylece buharın suya karışması önlenerek buhar iletim hattına beslenmesi yapılır.

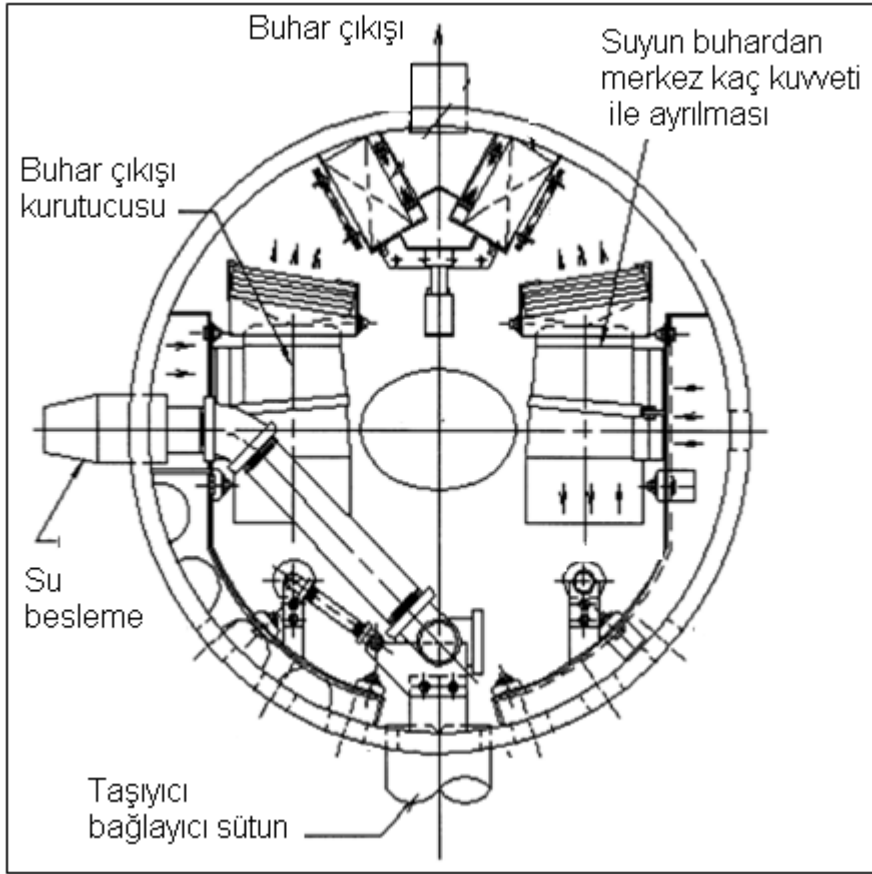
Normal çalışma halinde besi suyu beslemesi ve su buharı üretimi aralıksız devam etmektedir. Besi suyundaki uçucu olmayan yabancı maddeler, buhar fazına geçemedikleri için DSBAK içindeki suda artacaklardır. Bu yabancı maddeler kontrol altına alınmadığı takdirde, sudaki tuzların yüzde oranı artacak ve böylece suyun kaynama noktasını yukarıya doğru kaydırarak, boru yüzeylerinin aşırı ısınmasına sebep olacaktır.

DSBAK, su seviyelerinin önemi dikkate alınarak, 2 adet su seviye göstergesi ve 2 adet seviye ölçer ile donatılmıştır. DSBAK üzerinde bulunan vanalar, AIBÜ devreye alınışı öncesi DSBAK'ı doldururken, havayı atmak için kullanılmaktadır. AIBÜ devreye alınışı esnasında, yoğunlaşmayan gazların DSBAK'dan atılması belirlenen basınçlar arasında açık olan kontrol vanası aracılığı ile sağlanmaktadır. DSBAK iç yapısı Şekil 3.8 ve 3.9'da gösterilmiştir.

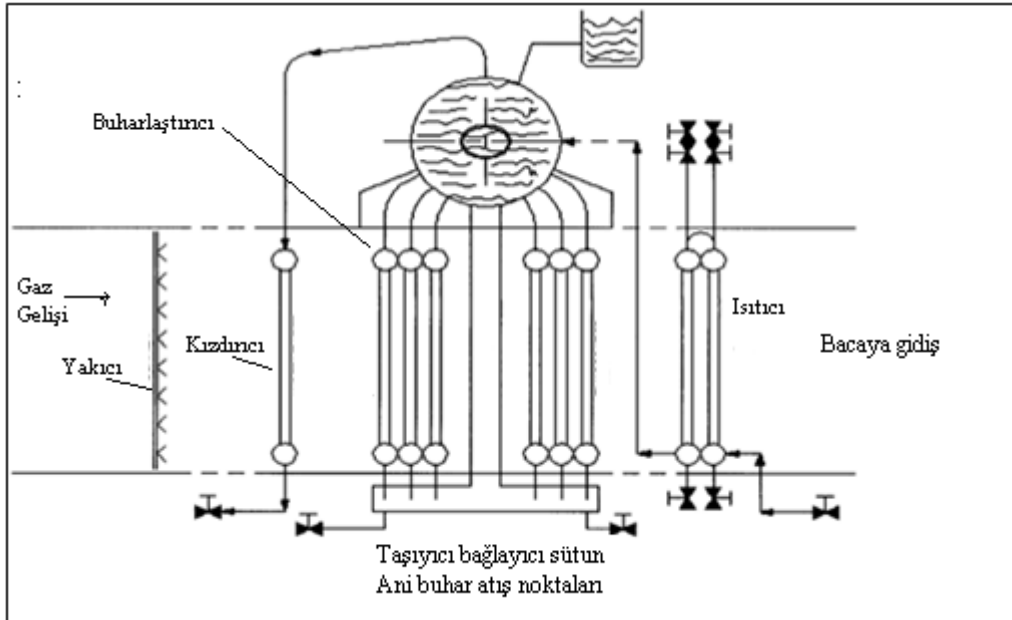
DSBAK içerisindeki su seviyesi, belirlenmiş değerinin altına düştüğü anda DSBAK'ın bulunduğu kazana ait kapak kapatılarak, kazanın buhar üretimine son verilir. Buradaki amaç, kazan sisteminin su dolaşımındaki problem yüzünden kazanı aşırı sıcaklığa maruz bırakmamaktır. DSBAK içerisindeki su seviyesi, belirlenen değerin üzerine çıktığında, buhar türbinine ani duruş yaptırılır. Buradaki amaç, buhar türbinine, DSBAK içerisindeki su seviyesi yükselişinden dolayı, su zerreciklerinin gitmesi ihtimalini önlemektir. Bu zerrecikler, buhar türbininin kanatlarına çarparak buhar türbininin kanatlarına hasar verebilir.

DSBAK içerisindeki su seviyesinin ölçümü ve gösteriminde (indikasyonunda) görülen değer ile gerçek DSBAK su seviyesi ile arasında bir fark görülür. Buna sebep olarak, ölçüm için kullanılan su sütunundaki kısmi soğuma ve DSBAK içerisindeki suyun yoğunluğundaki artış gösterilebilir. Akışkan seviyesi olarak aynı kotta olmalarına rağmen, ölçüm neticesi var olandan daha yüksek bir seviyeyi gösterir. Bunu yok etmek için, DSBAK su seviyesi ölçerleri üzerinde ayarlar yapılır.





Şekil 3.8 : Doymuş sıvı buhar ayırıcı kazanın iç yapısı [34].



Şekil 3.9 : Doymuş sıvı buhar ayırıcı kazanın döngüsü ve buharlaştırma [34].

### 3.3.8 Kazandan ani buhar atış yöntemleri

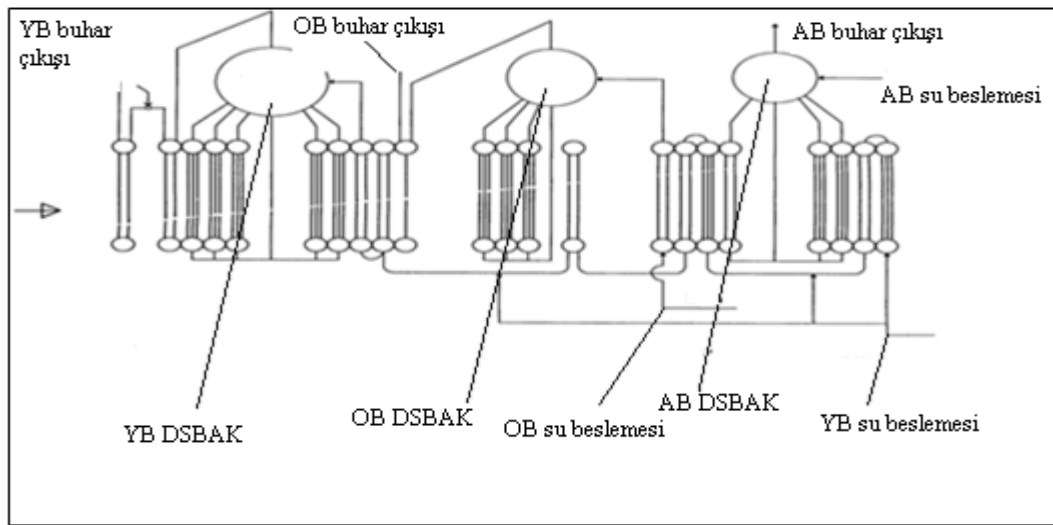
AIBÜ'den yapılan ani buhar atışı, sürekli ve kesikli olmak üzere iki şekilde yapılabilir.

#### 3.3.8.1 Sürekli ani buhar atışı

Her üç DSBAK, sürekli ani buhar atış sistemine sahiptir. Bu sistemde ani buhar atış miktarı, el ile kontrol edilebilen vanalar aracılığı ile ayarlanır. Ani buhar atış miktarı numune panelinden alınan numunenin iletkenlik değerine göre ayarlanır. Normal çalışma koşullarında sürekli ani buhar atış sistemi, devamlı olarak belirli miktardaki suyu dışarı atar. Bu sistem doğrudan DSBAK alt seviyesinden ani buhar atış imkanını sağlamaktadır. Şekil 3.10'da kazan ani buhar atışı gösterilmiştir.

#### 3.3.8.2 Kesikli ani buhar atışı

Kesikli ani buhar atış sistemi, her buhar üretim sisteminde buharlaştırıcılara su besleyen taşıyıcı ve bağlayıcı sütunların alt başlarından, ani buhar atışı yapar. Bu ani buhar atış yöntemi, tam anlamıyla kazan dip ani buhar atışı (dipblöf) olarak açıklanabilir. Kesikli ani buhar atış yöntemi, AIBÜ'nün normal çalışma şartlarında kapalıdır. Kesikli ani buhar atış yöntemi, kazana yol verme esnasında hızlı DSBAK su seviyesinin düşürülme ihtiyacı doğduğunda, AIBÜ'nün normal çalışması halinde ani iletkenlik artışına rastlandığında, buhar sistemindeki çeşitli manevralar sebebiyle DSBAK su seviyelerindeki çalkalanmanın etkisini azaltmak için yapılabilir.



**Şekil 3.10 :** Doymuş sıvı buhar ayırıcı kazanda ani buhar atışı [34].

### **3.4 Saf Su İlave Sistemi**

Saf su sistemi, 285 tonluk saf su tankından, suyu mevcut sistemlerin yanı sıra, AIBÜ beslemesine ve GTEÜ'nün NO<sub>x</sub> suyu besleme pompası kanalıyla ana NO<sub>x</sub> pompasına ve devamında yanma odasına gönderilmek üzere tasarlanmıştır.

Saf su tankı seviyesi, DKS'den bağımsız olarak, saf su işletmesi kontrol sistemi tarafından kontrol edilir.

DKS, tamamlama suyu pompalarını, çalışmada/beklemede (Duty/Standby) şeklinde otomatik sıralamak için programlanmıştır. Normalde, çalışmada (Duty) ilave suyu pompası, DKS tarafından otomatik olarak çalıştırılır. Bir zaman gecikmesi ile, basınç ölçerler düşük bir pompa çıkış basıncı ölçerse, DKS beklemede (standby) tamamlama suyu pompasını devreye alır.

### **3.5 Besi Suyu Sistemi**

Mevcut besi suyu sistemi, gazsızlaştırma ünitesindeki suyu AIBÜ'ye ait, YB, OB ve AB besi suyu istasyonlarını kapsayacak şekilde tasarlanmıştır. AIBÜ'de başlıca sistem üniteleri, YB ve OB/AB besi suyu pompası, ve su/su ısı değiştiricisidir.

Gazsızlaştırma ünitesi depolama tankında, iki adet seviye ölçer bulunmaktadır. YB, OB/AB besi suyu pompaları, uzun bir süre en düşük akış üzerinden çalıştırılmamalıdır. Aksi halde, otomatik dolaşım vanaları, gazsızlaştırma ünitesine sürekli dolaşımında çalışmada, çabuk aşınacaktır.

YB besi suyu, tesis verimliliğini yükseltmek amacıyla, buhar türbini yoğunlaştırıcı deposundan gelen buhar türbini yoğunlaşmış suyu tarafından, su/su ısı değiştiricisinde soğutulur.

### **3.6 NO<sub>x</sub> Su Püskürtme Sistemi**

NO<sub>x</sub> su püskürtme sistemi saf su tankından GTEÜ'nün yakıt sistemine, saf su sağlamak için tasarlanmıştır. NO<sub>x</sub> su püskürtme sisteminin kalbi, GE tarafından temin edilen 2 adet su püskürtme pompası grubudur. Bu grupta 2 adet pompa bulunur ve bunlara ek olarak 2 adet NO<sub>x</sub> kontrolü besleme suyu pompası bulunur. İlgili NO<sub>x</sub> suyu püskürtme pompası grupları, GTEÜ kontrol sistemi tarafından kontrol edilir.

### 3.7 Atık Isı Buhar Üreticisi Köprüleme Bacası

GTEÜ'yu sadece elektrik üretmek amacıyla işletmek için, AIBÜ'nün önünde oransal kapak ile donatılmış köprüleme (by-pass) bacası mevcuttur. AIBÜ'nün önündeki oransal kapak tamamen açık veya kapalı olarak da çalıştırılabilmektedir. AIBÜ'nün önündeki oransal kapağın açıklığı, kademeli olarak ayarlanabilir.

AIBÜ'nün önündeki oransal kapak için, aşağıdaki terimler şu şekilde açıklanır.

- Açık = Oransal kapak AIBÜ'ye doğru açık
- Kapalı = Oransal kapak AIBÜ'ye doğru kapalı

AIBÜ'nün önündeki oransal kapak özellikleri 3 kW, 400 VAC, 50 Hz olan elektrik motoru ile sürülen tahrik sistemine (actuator) sahiptir. AIBÜ'nün önündeki oransal kapağın tam kapalıdan tam açığa doğru tahrik sisteminin hareketlenmesi, 35 saniye sürer. DKS, 1 adet pozisyon ölçeri, 3 adet açık pozisyonu gösteren anahtar ve 3 adet kapalı pozisyonu gösteren kontak ile kazan köprüleme kapağının pozisyonunu takip eder.

DKS, her bir oransal kazan köprüleme kapağının, elle açılıp kapanmasına imkan verecek şekilde programlanmıştır. DKS, aşağıda belirtilen AIBÜ işletme şartlarına bağlı olarak, kazan köprüleme kapağını otomatik olarak kapar veya açılmasını engeller. DKS, kazan köprüleme oransal kapağının operasyonunu takip eder ve eğer oransal kontrolü sağlayan ekipman, herhangi bir yöne doğru hareket ederken arızaya geçerse, alarm verir.

### 3.8 Gazsızlaştırma Ünitesi

Gazsızlaştırma ünitesi sistemi, su içerisindeki oksijen ( $O_2$ ), karbondioksit ( $CO_2$ ) ve hidrojen sülfür ( $H_2S$ ) gibi eriyik gazların giderilmesi amacıyla kullanılmaktadır. Su içerisinde bulunan eriyik gazların giderimi için su; gazsızlaştırma ünitesinin en üst kısmındaki su dağıtıcısından üniteye giriş yapar. Su, gazsızlaştırma ünitesinin üst kulesine doldurulmuş olan halkalarla temas ederek aşağı doğru süzülür. Su aşağı doğru süzülürken, aşağıdan yukarıya gazsızlaştırma ünitesi fanının sağladığı hava verilerek suyun hava ile teması sağlanır. Hava suyun içerisindeki çözülmüş gazları bünyesine alır ve uçurur. Böylece ters akış prensibi ile suyun içerisindeki gazlar giderilmiş olur ve arıtılan su gazsızlaştırma ünitesinin alt kısmında depolanır.

### 3.9 ENTEK E.Ü.A.Ş. Bursa Doğalgaz Kojenerasyon Tesisi Enerji Dengesi Diyagramı

CTP'de model kurulurken, Stevart - Stevenson Project Services, INC Houston Texas tarafından hazırlanan, enerji dengesi diyagramı esas alınmış ve buna göre enerji dengesi diyagramının CTP modeli oluşturulmuştur

Enerji dengesi diyagramı, tesisin kurulmasından önce tasarım değerlerine göre hazırlanır. Enerji dengesi diyagram 15°C hava şartlarına göre oluşturulmuştur. Enerji dengesi diyagramında gaz türbini elektrik üreticisi grubu, ara soğutma sistemine sahip değildir. ENTEK E.Ü.A.Ş. DKT'nin kurulumundan sonra zaman içerisinde su püskürtmesi işletilmekte olan sisteme eklenmiştir.

Enerji dengesi diyagramlarında, 4 adet termodinamik özellik tanımlanır ve kritik noktalarda bu değerler verilir. Bu özellikler, basınç [bar], sıcaklık [°C], kütleli debi [kg/h veya kg/s] ve entalpi [kJ/kg] dir. Enerji dengesi diyagramında, tüm tesis şematik olarak gösterilmiştir. Borulara eklenen oklar akış yönünü göstermektedir.

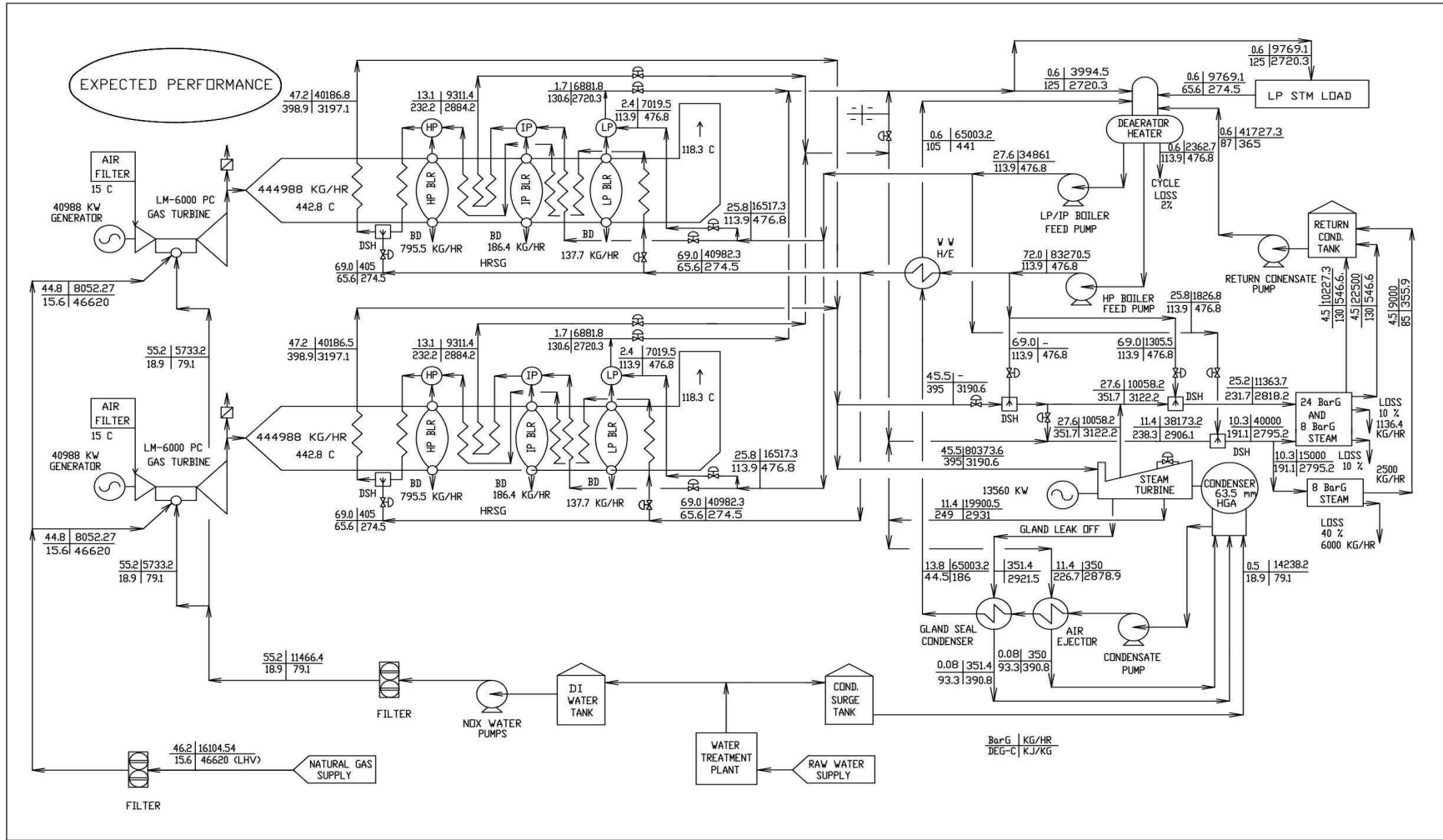
Doğalgaz temin edildikten sonra, içindeki katı parçacıkların, gaz türbini kanatlarına zarar vermemesi için, filtreden geçirilir ve gaz türbininin yanma odasına sokulur. Yanma odasında, filtrelerden geçmiş hava ile karışır ve yanar. Yanma sonucunda açığa çıkan gaz, gaz türbini kanatlarına çarparak genişler ve enerjisini bırakır. (Gaz türbinine PC Sprint dönüşümü yapıldıktan sonra, kompresörde ara soğutma yapılır ve havanın soğuması sağlanır. Gaz türbinini terk eden baca gazı, yönlendirici kanat (klape) yardımıyla bacaya veya AIBÜ'ye gönderilir. Baca gazı AIBÜ'de sırasıyla; Kızdırıcı, YBB, OBI, OBB, alçak basınç ısıtıcısı (ABI), alçak basınç buharlaştırıcısı (ABB) ve AB ön ısıtıcısından geçtikten sonra, 118°C civarında bir sıcaklıkla atmosfere bırakılır.

AIBÜ, besleme sularını, gazsızlaştırma ünitesinden alırlar. Gazsızlaştırma ünitesinden çıkan su, AB/OB pompası ile AIBÜ hattına basılır. Basınçlandırılan suyun bir kısmı, basınç düşürücü vanadan geçtikten sonra, alçak basınç DSBAK'ının içine girer. Basınçlandırılan su, alçak basınç DSBAK döngüsüne girer ve buharlaştıktan sonra alçak basınç DSBAK'ını terk ederek, gazsızlaştırma ünitesine geri döner. Tesisin işletme binaları vb gibi buhar çekim noktaları varsa, bu hat üzerinden beslenir. Basınçlandırılan suyun diğer kısmı da AB ısıtıcısına girer ve orta basınç DSBAK'ına gider. Orta basınç DSBAK'ından çıkan buhar, OB ısıtıcısına girer ve müşteri firmalara gitmek üzere, 8 barlık buhar hattına beslenir.

YB pompasından çıkan su, yoğuşmuş su (kondens) tankından gelen besi suyu tarafından gazsızlaştırma ünitesine gelmeden önce, bir ısı değiştirici vasıtasıyla soğutulur. Ardından suyun büyük bir bölümü, AB ön ısıtıcısı, AB ısıtıcısı ve OB ısıtıcısından geçerek, yüksek basınç DSBAK'ına gelir ve YB döngüsünde buharlaşmak suretiyle kızdırıcıya girer. Kızdırıcı geçişleri arasında, buhar sıcaklığı kontrol ve su püskürtme bölümü (BSKB) vardır. BSKB sayesinde, buharın en yüksek sıcaklığı kontrol edilir ve kızdırıcı çıkışı buhar sıcaklığının 400°C'yi aşmaması için buhar içine su püskürtülür. 400°C sıcaklık sınırı, buhar türbininin kanatlarının zarar görmemesi için konulmuştur. Püskürtülen su, YB pompasından gelen koldan, basınç düşürücü sayesinde sağlanır. Kızdırıcıdan çıkan kızgın buhar, buhar türbinine ve 24 bar müşteri buhar hattına gönderilir.

Buhar türbininde genleşen buhar, enerjisini bırakır (entalpisi ve basıncı düşer) ve yaş buhar halini alarak, yoğuşturucuda yoğuşturularak, yoğuşmuş su pompası ile basılır. Ardından buhar türbininden çekilen buhar ve buhar türbininin, kaçak buharını yoğuşturarak ısı enerjisi kazandıktan sonra, YB pompasından çıkan suyu soğutarak gazsızlaştırma ünitesine döner.

ENTEK E.Ü.A.Ş. Bursa DKT'de, 24 bar, 8 bar ve gazsızlaştırma ünitesi hatlarında kaçaklar vardır ve yüzde (%) olarak ifade edilmişlerdir. ENTEK E.Ü.A.Ş. Bursa DKT'nin enerji dengesi diyagramı, Şekil 3.11'de gösterilmiştir.



Şekil 3.11 : ENTEK E.Ü.A.Ş. Bursa Doğalgaz Kojenerasyon Tesisi enerji dengesi diyagramı (ENTEK E.Ü.A.Ş. izni alınmıştır)[28].

#### 4.0 CYCLE-TEMPO PROGRAMI

Cycle-Tempo Programı (CTP), Delft Teknoloji Üniversitesi'nde geliştirilmiştir. Cycle-Tempo, buhar üretimi, soğutma sağlayan ve elektrik enerjisi üreten ısı sistemlerin termodinamik analizi ve optimizasyonunu yapan bir analiz programıdır.

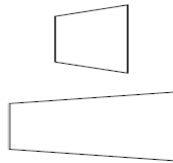
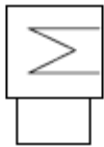

CTP'de, buhar türbini çevrimleri, gaz türbini çevrimleri, yanma ve ısı transferi sistemleri, kömür ve biyokütle birleşik çevrimleri, yakıt hücreleri sistemleri, organik Rankine çevrimi, soğutma sistemleri ve ısı pompalarının incelemeleri yapılabilir.

CTP vana, baca, boru ve termodinamik çevrim ekipmanlarının birbirlerine bağlantısını matematiksel olarak yaparak sonuçları kullanıcılara sunar.

CTP'de kullanılan ekipman listesi ve gösteriliş biçimleri, Çizelge 4.1'de sunulmuştur.












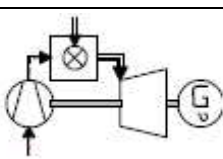

CTP'de Kod numaraları, enerji dengesi veya kütle dengesi hesabını temsil ederken, M (mass) ve E (energy) kütle ve enerji denklemi girdisini temsil etmektedir. Sistem eşitliğinin anlamı CTP'nin hesaplamayı nasıl yapacağını ve hangi girdilere ihtiyacı olduğunu göstermektedir.

**Çizelge 4.1 :** Cycle-Tempo Programı ekipman listesi, sistem eşitliği ve semboller [35].

Tip	İsim	Sistem Eşitliği	Sembol
3	Türbin	1M	
4	Yoğuşturucu	2M kod2	
5	Besleme Suyu Isıtıcısı	2M+1E	



**Çizelge 4.1 :** (Devam) CTP ekipman listesi, sistem eşitliği ve semboller

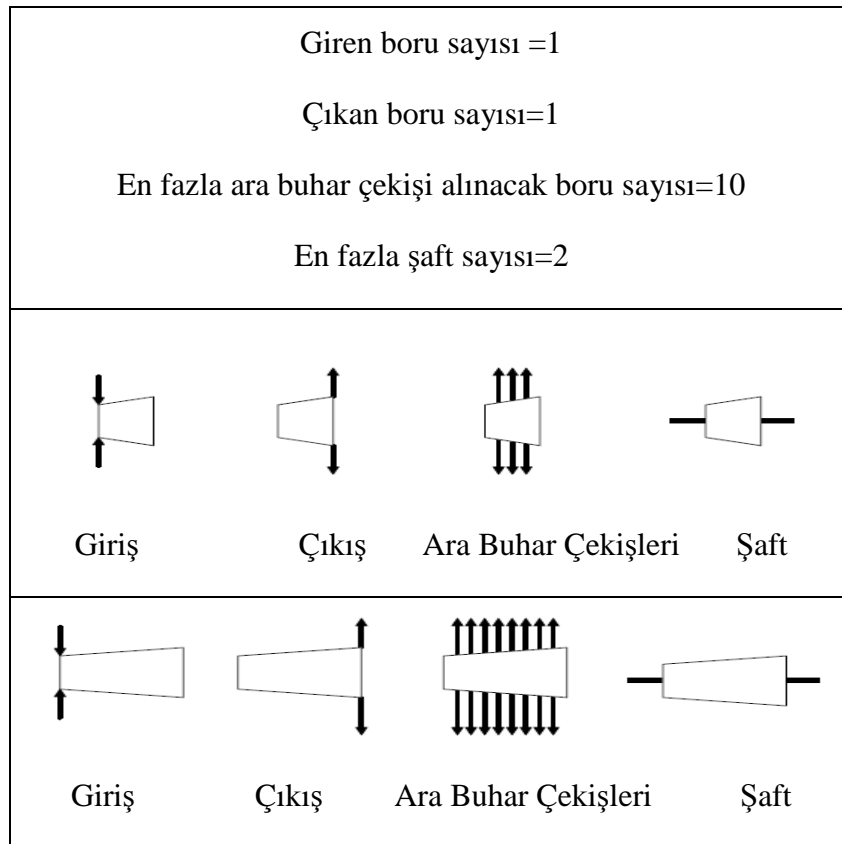
Tip	İsim	Sistem Eşitliği	Sembol
6-12	Isı Değiştirici	2M Kod 2 2M+1P Kod 1	
7	Gazsızlaştırma Ünitesi	1M+1E	
8	Pompa	1M	
9	Nokta (Karıştırıcı, Ayırıcı)	1M Kod 2 1M+1E Kod 1	
10	Kaynak	1M	
10	Isı Kuyusu	1M	
10	Baca	1M	
13	Yanma Odası	1M Kod 2 2M kod 1	
14	Vana	2M	
15	Doymuş Sıvı Buhar Ayırıcı Kazan	1M+1E	
29	Kompresör	1M	
30	Gaz Türbini	1M	
G	Elektrik Üreticisi	-	

## 4.1 Cycle-Tempo Programında Kullanılan Ekipmanlar

CTP’de mevcut bulunan ve CTP modelinde kullanılan 16 ekipmanın tipleri ve giriş-çıkış bilgileri, CTP modelinin iyice anlaşılması ve doğru kurulabilmesi için aşağıda ayrıntılı bir biçimde incelenmektedir. CTP’de ekipmanlar isim haricinde tip numaraları verilerek de kodlanmaktadır. CTP ekipmanlarının tanıtıldığı 4. Bölüme ait şekillerde ekipmanlara giriş-çıkış bilgileri tanıtılarak, ekipman resimlerinde ekipmana girilebilen veya çıkılabilen konumları belirtmek amacıyla çizilmiştir.

### 4.1.1 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 hesaplar. Baca gazı kayıpları hesaplanmaz. Türbin modeli için simgeler ve bilgiler Şekil 4.1’de yer almaktadır.



Şekil 4.1 : Türbin modeli için simgeler ve giriş-çıkış bilgileri [35].

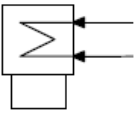
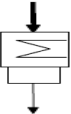
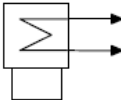
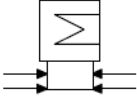
Termodinamik özellikler kullanıcı tarafından girdilenebilir veya CTP bunu termodinamik bağıntılar yardımıyla hesaplayabilir.

Türbin ekipmanına: PIN, TIN, TOUT ve DELT standart olarak CTP'ye girdilenebilir.

- PIN = Giriş basıncı [bar]
- POUT = Çıkış basıncı [bar]
- DELP = Basınç düşümü [bar]
- TIN= Giriş sıcaklığı [ $^{\circ}$ C]
- TOUT= Çıkış sıcaklığı [ $^{\circ}$ C]
- DELT= Sıcaklık farkı [ $^{\circ}$ C]

#### 4.1.2 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 4.2'de verilmiştir.

<u>Soğutucu Tarafı</u> Giren boru sayısı =1 Çıkan boru sayısı =1	<u>Yoğuşma Tarafı</u> En az giren boru sayısı=1 Çıkan boru sayısı=1 En fazla giren boru sayısı=5
	
	

Şekil 4.2 : Yoğuşturucu modeli için simgeler ve giriş-çıkış bilgileri [35].

CTP modelinde, kod 1 kullanılmıştır. Yoğuşturucu için kod 1 kullanıldığı takdirde, enerji dengesi biliniyor demektir. Bu durumda hesap, kütle dengesini bulmak için yapılır.

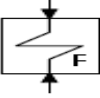
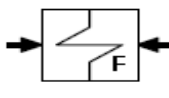
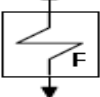
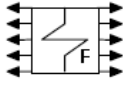
Yoğuşturucu ekipmanı için: PIN1, POUT1, DELP1, TIN1, TOUT1, DELT1, PIN 2, POUT2, DELP2, TIN2, TOUT1, DELT1 değerleri standart olarak CTP' ye girilebilir.

#### 4.1.3 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.

Besleme suyu ısıtıcısı için CTP'ye girdilenebilen parametreler ise; PIN1, POUT1, DELP1, TIN1, TOUT1, DELT1, PIN2, POUT2, DELP2, TIN2, TOUT2, DELT2 değerleridir.

Yoğuşturma kodu (SATCOD=0) bu modelde sıfır olarak girdilenmiştir. Yoğuşturma kodu sıfır, ısı değiştiricinin yoğuşma tarafında doymuş su var anlamını taşır ve TOUT2 veya DELTL CTP'ye girdilenebilir. Besleme suyu ısıtıcısı için simgeler ve giriş-çıkış bilgileri Şekil 4.3'de sunulmuştur.

<u>Besleme suyu tarafı</u> Giren boru sayısı = 1 Çıkan boru sayısı = 1	<u>Buhar Tarafı</u> En az giren boru sayısı = 1 En fazla giren boru sayısı = 5 Çıkan boru sayısı = 1
	
	

Şekil 4.3 : Besleme suyu ısıtıcısı için simgeler ve giriş-çıkış bilgileri [35].

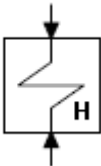
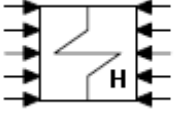
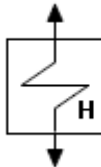
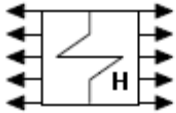
#### 4.1.4 Standart ısı değiştirici (Tip 6 ve 12)

CTP'de tip 6 ve 12 gibi ısı değiştiricileri (gövde borulu ve plakalı tipler) standart olarak tanımlanır. Isı değiştiricinin bir tarafında buharlaşma veya yoğuşma yoktur. Bu tip ısı değiştiricilerinde buna dikkat edilmez ise CTP inceleme sonucunu hatalı verecektir.

Standart ısı değiştirici için, CTP'ye 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 değiştirici için: PIN1, POUT1, DELP1, TIN1, TOUT1, DELT1, PIN2, POUT2, DELP2, TIN2, TOUT2 ve DELT2 değerleri standart olarak CTP'ye girilebilir

Standart ısı değiştirici için simgeler ve giriş-çıkış bilgileri Şekil 4.4'de sunulmaktadır.

<u>Birinci Taraf</u>	<u>İkinci Taraf</u>
Giren boru sayısı = 1 Çıkan boru sayısı = 1	En az giren boru sayısı = 1 En fazla giren boru sayısı = 5 Çıkan boru sayısı = 1
	
	

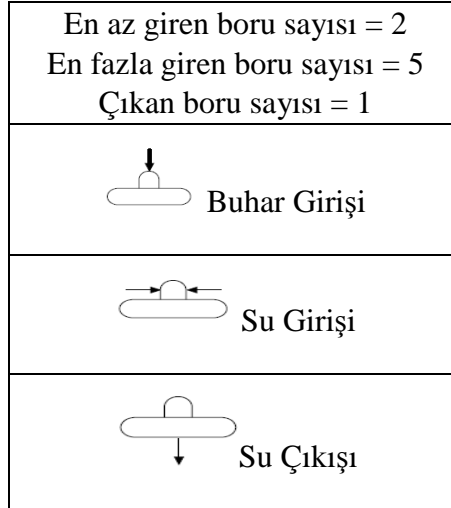
Şekil 4.4 : Standart ısı değiştirici için simgeler ve giriş-çıkış bilgileri [35].

#### 4.1.5 Gazsızlaştırma ünitesi (Tip 7)

Gazsızlaştırma ünitesi besleme suyunun, pompalara girmeden önce toplandığı ve oksijenin ve diğer gazların alındığı bölümdür. 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 4.5’de sunulmuştur.

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

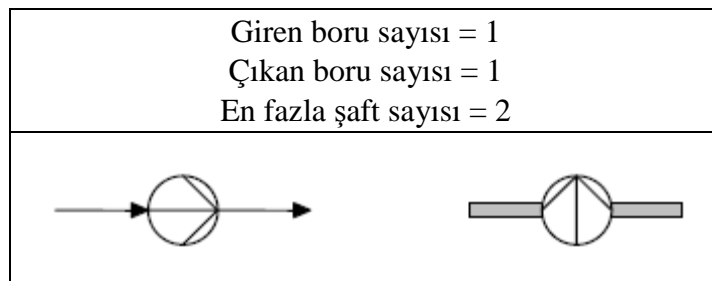


Şekil 4.5 : Gazsızlaştırma ünitesi için simgeler ve giriş-çıkış bilgileri [35].

#### 4.1.6 Pompa (Tip 8)

CTP modelinde pompa, besi suyunun AB ve YB’li olarak ayrılmasından hemen sonra AB pompası ve YB pompası olmak üzere iki adet kullanılmıştır. Pompa için, CTP kütüphanesinde tanımlanan verim-güç grafiğinden alınan bilgilere göre, CTP pompa hesabını yapar.

CTP’ye mekanik verim ve elektrik motoru verimi verilmediği takdirde pompa için, sistem otomatik olarak bu verimi 1 olarak kabul eder. Pompa için simgeler ve giriş-çıkış bilgileri Şekil 4.6’da sunulmuştur.

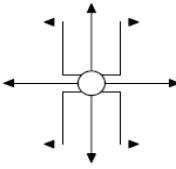
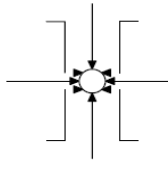


Şekil 4.6 : Pompa için simgeler ve giriş-çıkış bilgileri [35].

Pompa için CTP’ye girdilenebilen parametreler: PIN, POUT, DELP, TIN, TOUT ve DELT’dir

#### 4.1.7 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 için simgeler ve giriş-çıkış bilgileri Şekil 4.7'de sunulmuştur.

<u>Ayırıcı;</u> Giren boru sayısı = 1 En az çıkan boru sayısı = 1 En fazla çıkan boru sayısı = 5	<u>Karıştırıcı;</u> En az giren boru sayısı = 1 En fazla giren boru sayısı=5 Çıkan boru sayısı = 1
	

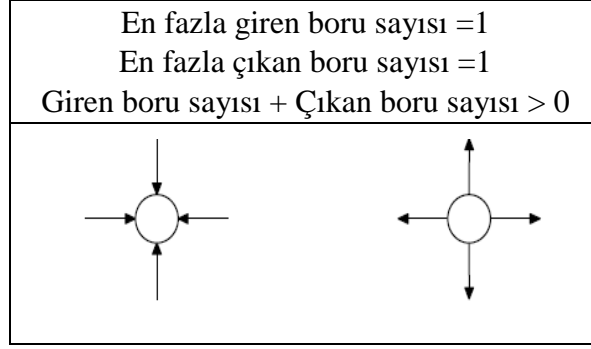
Şekil 4.7 : Nokta için simgeler ve giriş-çıkış bilgileri [35].

#### 4.1.8 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 girildiği yerlerde kullanılan CTP ekipmanıdır.

CTP modelinde kaynak sadece termodinamik özellik değiştirmek için kullanıldığında ve girdiler bölümüne kütle yazılması durumunda, CTP sürekli olarak girilen miktar, kütleyi 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 girilebilir. Kaynak için simgeler ve giriş-çıkış bilgileri Şekil 4.8'de sunulmuştur.



**Şekil 4.8 :** Kaynak için simgeler ve giriş-çıkış bilgileri [35].

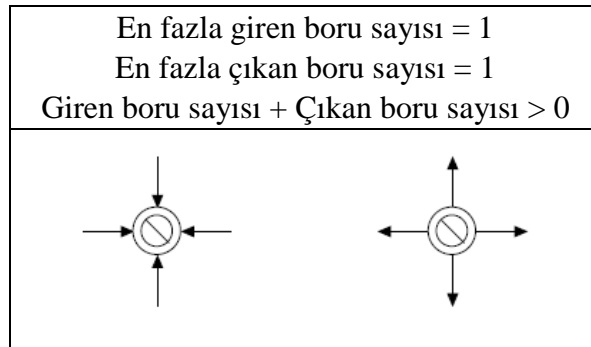
Termodinamik değerlerin CTP'ye girilmesinden sonra, akışkanın kütle debisi tahmini (ESTMAS) olarak girilebilir. CTP tahmini girilen kütle debisini ilk değer olarak kabul eder ve yineleme yapmaya başlayarak sonucu bulur.

#### 4.1.9 Isı kaynağı veya ısı kuyusu (Tip 10)

Isı kaynağı veya ısı kuyusu, CTP modelinde su buharının kullanıldığı yerlerde ısı kuyusu olarak kullanılmıştır. Örneğin AB hattında, idari ve sosyal bina ısıtımları, satılan buharın kullanıldığı bölgelerde kullanılmıştır.

Isı kaynağı veya ısı kuyusu ekipmanının, ısı alınması veya atılması haricinde, standart kaynak ekipmanından farkı bulunmamaktadır.

Isı kaynağı veya ısı kuyusu için simgeler ve giriş-çıkış bilgileri Şekil 4.9'da sunulmuştur.



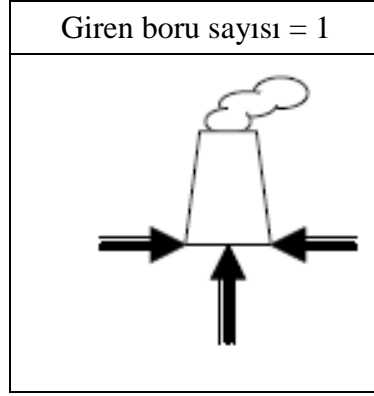
**Şekil 4.9 :** Isı kaynağı veya kuyusu için simgeler ve giriş-çıkış bilgileri [35].

CTP'ye girilebilen parametreler, PIN, POUT, DELP, TIN, TOUT ve DELT'dir.



#### 4.1.10 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 için simgeler ve giriş-çıkış bilgileri Şekil 4.10'da sunulmuştur.



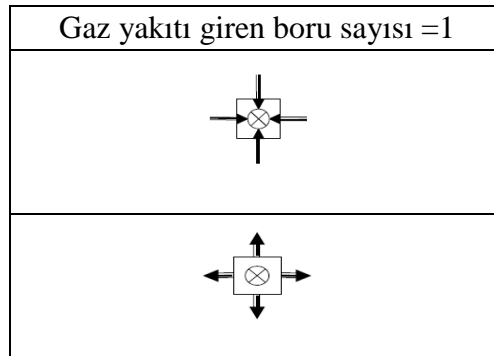
Şekil 4.10 : Baca için simgeler ve giriş-çıkış bilgileri [35].

Baca ekipmanı için: PIN ve TIN, CTP'ye standart olarak CTP'ye girdilenebilir.

#### 4.1.11 Yanma odası (Tip 13)

Yanma odası ekipmanında, yakıt (doğalgaz) yanma odasının içine NO<sub>x</sub> kontrolü için püskürtülen su ile karıştırıldıktan sonra gelir. 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 için simgeler ve giriş-çıkış bilgileri Şekil 4.11'de sunulmuştur.

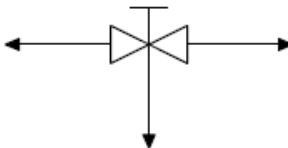
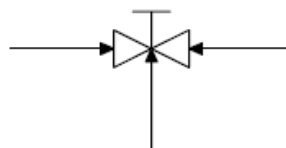


Şekil 4.11 : Yanma odası için simgeler ve giriş-çıkış bilgileri [35].

#### 4.1.12 Vana (Tip 14)

CTP modelinde vanalar, ayırıştırıcı 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 için simgeler ve giriş-çıkış bilgileri Şekil 4.12'de sunulmuştur.

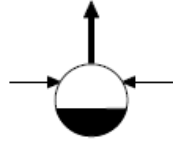
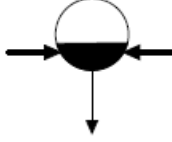
<u>Ayırıcı;</u> Giren boru sayısı = 1 En az çıkan boru sayısı = 1 En fazla çıkan boru sayısı = 4	<u>Karıştırıcı;</u> En az giren boru sayısı = 1 En fazla giren boru sayısı = 4 Çıkan boru sayısı = 1
	

Şekil 4.12 : Vana için simgeler ve giriş-çıkış bilgileri [35].

#### 4.1.13 Doymuş sıvı buhar ayırıcı kazan (Tip 15)

DSBAK, sistemde AB, OB ve YB olmak üzere 3 adet kullanılmıştır. DSBAK, doymuş suyu, doymuş buhara dönüştürür. DSBAK'a doymuş su girerek, DSBAK döngüsüne katılır ve kazandan çıktığında doymuş buhar olarak DSBAK'ın içine tekrar girer ve buhar DSBAK'ın üstüne çıkarak buhar hattındaki yoluna devam eder.

CTP aksi belirtilmediği sürece buharın bazı kuruluk derecesi ( $x=0$  ve  $x=1$ ) değerleri DSBAK giriş ve çıkışı için esas kabul ederek kullanılır. DSBAK için simgeler ve giriş-çıkış bilgileri Şekil 4.13'de sunulmuştur.

<u>Ana akışta</u> Giren boru sayısı = 1 Çıkan boru sayısı = 1	<u>DSBAK döngüsünde</u> Giren boru sayısı = 1 Çıkan boru sayısı = 1
	

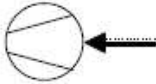


Şekil 4.13 : Doymuş sıvı buhar ayırıcı kazan için simgeler ve giriş-çıkış bilgileri [35].

#### 4.1.14 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 standart olarak CTP'ye girdiilenebilir.

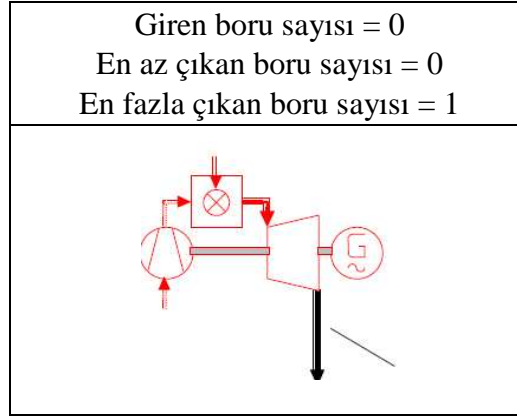
Kompresör için simgeler ve giriş-çıkış bilgileri Şekil 4.14'de sunulmuştur.

Giren boru sayısı = 1 Çıkan boru sayısı = 1 Bağlı şaft sayısı = 2	
	
	

Şekil 4.14 : Kompresör için simgeler ve giriş-çıkış bilgileri [35].

#### 4.1.15 Gaz türbini grubu (Tip 30)

CTP'de gaz türbinleri, ayrı ayrı parçalar olarak modellenebileceği gibi tek ekipman olarak da CTP'ye tanıtılabilir. Tek ekipman olarak modelleme halinde, gaz türbininin marka ve modeli seçilerek doğrudan fabrika çıkış değerleri, sistem tarafından temel alınır. GTEÜ için simgeler ve giriş-çıkış bilgileri Şekil 4.15'de sunulmuştur.



**Şekil 4.15 :** Gaz türbini elektrik üreticisi için simgeler ve giriş-çıkış bilgileri [35].

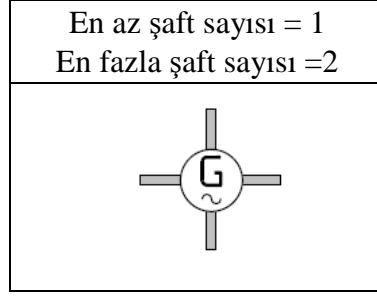
CTP’de gaz türbini seçilmek istendiğinde, bir gaz türbini seçim penceresinden seçim yapılır. Gaz türbini seçim ekranı Şekil 4.16’da sunulmuştur.

Manufacturer + model	ISO Base Rating (kW)	Heat Rate (Btu/kWh)	Pressure Ratio [-]	Mass Flow (lb/s)	Exhaust Temp.
Pratt & Whitney ST18	2014	11184	13.1	17.7	997 F
Pratt & Whitney ST6L-721	465	15265	7	6.6	948 F
Pratt & Whitney ST6L-795	555	14312	7.5	7	1113 F
Pratt & Whitney ST6L-813	815	13892	8.8	8.4	1065 F
Pratt & Whitney ST6T-76	1075	16015	7.7	13	1067 F
Rolls-Royce 251B11	49200	10440	15.3	385	968 F
Rolls-Royce 701D	133500	9950	14.1	1007	991 F
<b>Rolls-Royce 701F</b>	<b>240000</b>	<b>9280</b>	<b>15.6</b>	<b>1475</b>	<b>1018 F</b>
Rolls-Royce Avon	14580	12097	8.8	171	827 F
Rolls-Royce RB211	27210	9520	20.8	202	932 F
Rolls-Royce Trent	51190	8210	35	351	800 F
Siemens (KWU) V64.3	63000	9693	16.1	419	531 C
Siemens (KWU) V64.3A	70000	9348	16.2	419	571 C
Siemens (KWU) V84.2	109000	10036	11	785	544 C
Siemens (KWU) V84.3A	180000	8863	17	980	577 C
Siemens (KWU) V94.2	159000	9890	11.1	1132	514 C

**Şekil 4.16 :** Cycle-Tempo Programında gaz türbini seçim ekranı [35].

#### 4.1.16 Elektrik üreticisi (Tip G)

Elektrik üreticisi, CTP’de mekanik enerjinin elektrik enerjisine dönüştürüldüğü ekipmandır. Elektrik üreticisi için simgeler ve giriş-çıkış bilgileri Şekil 4.17’de sunulmuştur.



**Şekil 4.17** : Elektrik üreticisi için simgeler ve giriş-çıkış bilgileri [18].

## 4.2 Cycle-Tempo Programının Kullanılışı

CTP, lisansı alındıktan sonra bilgisayara kurulur ve Şekil 4.18'de gösterilen ve altı ana parçadan oluşan CTP ana penceresi açılır. CTP ana penceresi, başlık kutuları (title bar), içindekiler kutuları (menu bar), araç kutuları (tool bar), çalışma alanı (working area), içindekiler penceresi (index window) ve durum kutularından (status bar) oluşmaktadır.

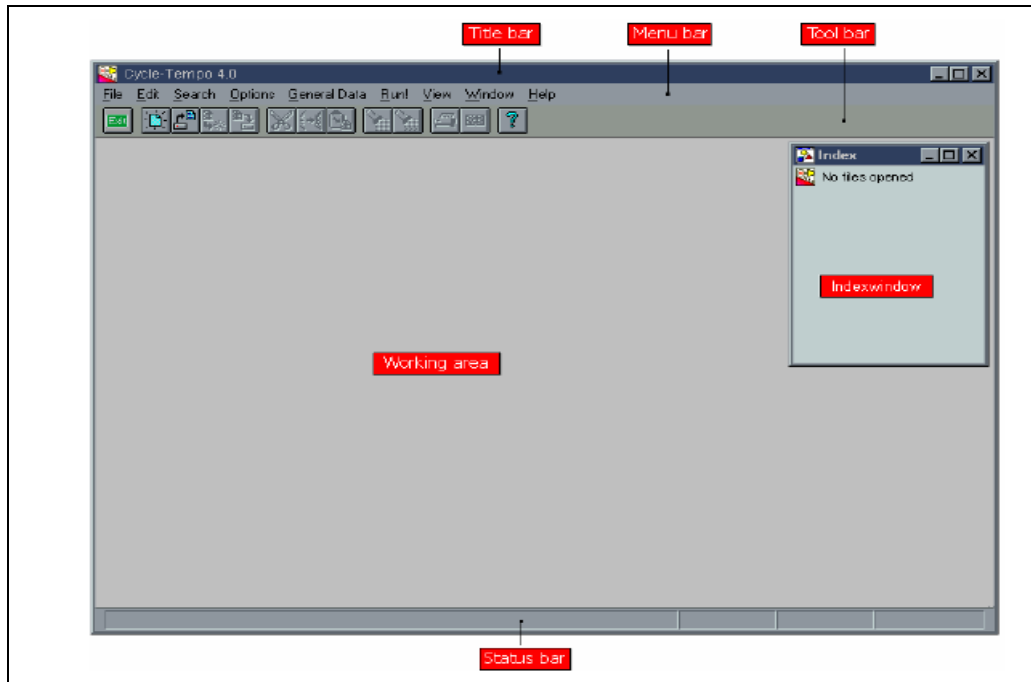
Başlık kutusu, programın ismini belirtir. Örneğin, [ ...\desktop\itu\tez\15 gui].

İçindekiler kutusu, programı açma, kapama ve çıktılarını alma gibi bir çok seçenek, bu kutulardan yapılmaktadır. Çalışma sayfasında, yakınlaştırma, uzaklaştırma gibi seçenekler, diğer programlarda olduğu gibi içindekiler kutusundan yapılmaktadır.

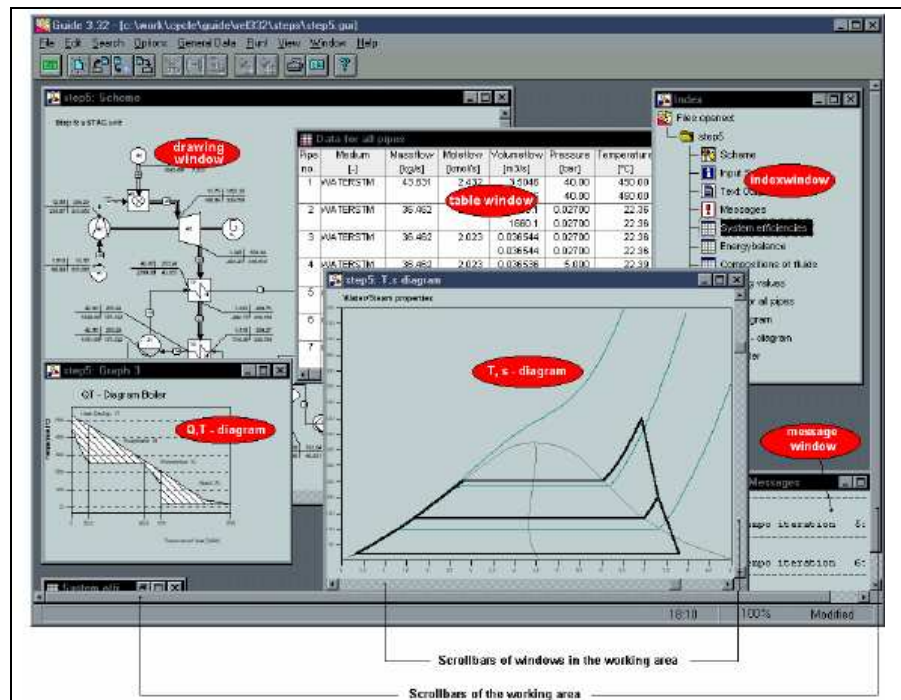
Araç kutuları, içindekiler kutularında bulunan kumandaların kısa yolları olarak gösterilmiş şeklindedir. Programdaki tüm kumandalar araç kutularında mevcuttur.

CTP'de yaptırılacak her şey içindekiler penceresinin altında belirtilmiştir. Kullanıcı buradan modelini takip edebilir. CTP çalışma alanı penceresi Şekil 4.19'da gösterildiği gibi açılabilir.

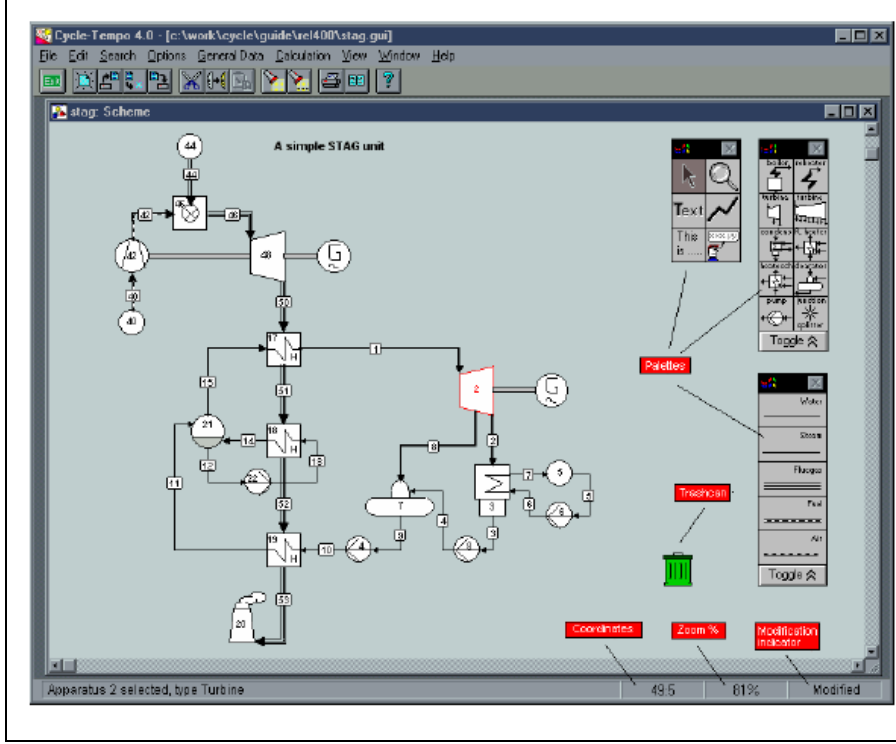
Programın tüm bilgisi durum kutusunda belirtilir. Araçlar kutusundan, Şekil 4.20'de gösterilen yeni çalışma sayfası açıldığında, modelde kullanılacak tüm araçlar karşımıza çıkar.



Şekil 4.18 : Cycle-Tempo Programı ana penceresi [35].



Şekil 4.19 : Cycle-Tempo Programı çalışma alanı penceresi [35].



**Şekil 4.20** : Cycle-Tempo Programı çalışma sayfası [35].

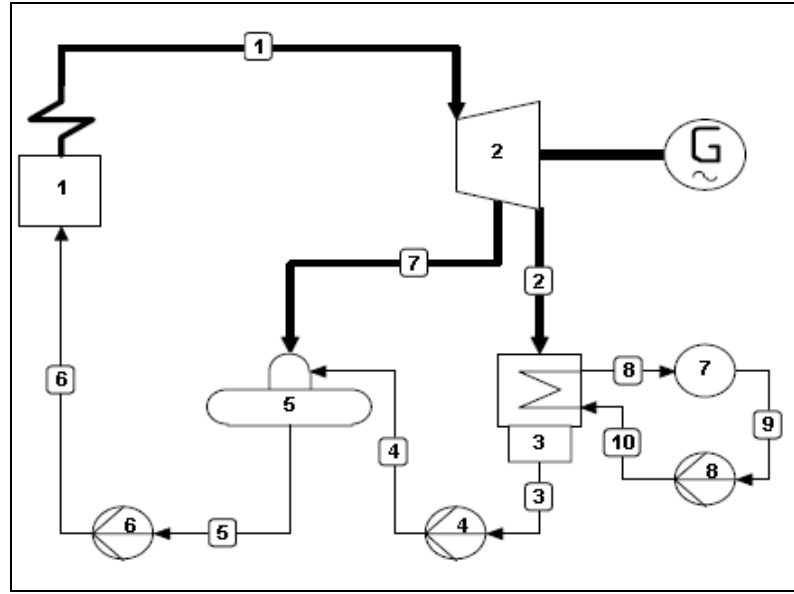
CTP çalışma sayfasının sağında kalan kutulardan, modelin kurulacağı parçalar seçilerek, sol kısımdaki çalışma alanına sürüklenir ve sistem kurulmaya başlanır. Bu ana ekipmanların birbirleri ile olan bağlantısı akışkan türüne göre boru listesi çubuğundan seçilir. Tüm bağlantılar yapıldıktan sonra, CTP modeli kurulmuş olur. CTP modelinin çalışmasını sağlamak için, ekipmanların bilgileri girilmelidir. Daha sonra CTP modeli çalıştır komutu verilerek çalıştırılır.

### 4.3 Cycle-Tempo Programının Temel Çalışma Prensipleri

CTP modeli kurulduktan sonra, ekipmanların termodinamik özellikleri sisteme verilirken 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, termodinamik özellikler için bağıntıları kullanarak hesap sistemini oluşturur.

CTP'nin hesaplama prensibi basit bir Rankine çevrimi üzerinde incelenirse, aşağıdaki metod uygulanır. Şekil 4.21'de, basit bir CTP modeli kurulmuştur.



**Şekil 4.21** : Cycle-Tempo Programı ile hazırlanan basit bir Rankine çevrimi [35].

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 4.22'de, görüldüğü gibi eşitlikler matrise işlenir.

Bileşen	No.	Boru numaraları										x	=			
		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 4.22** : Basit Rankine çevrimi için sistem matrisi [35].

Şekil 4.22'de verilen eşitlikler kazanın kütle dengesi, türbinin kütle dengesi, yoğuşturucunun toplam kütle dengesi, yoğuşturucunun soğutucu tarafındaki kütle dengesi, gazsızlaştırma ünitesi için kütle dengesi, besi suyu pompası için kütle dengesi, soğutma suyu pompası için kütle dengesi, gazsızlaştırma ünitesinin enerji dengesi, yoğuşturucunun enerji dengesi ve türbinin enerji dengesi eşitlikleridir.



Şekil 4.22’de, ekipman isimleri ve numaraları yukarıdan aşağıya sıralanırken, boru numaraları da soldan sağa doğru sıralanır. Şekil 4.22’de matris kurulurken, ekipmana girenler (+), çıkanlar ise (-) olarak belirtilir. Enerji dengeleri yazılırken matris entalpi ve elektrik üreticisi gücü bellidir anlamı taşıyan (h) ve  $P_{tur}$  sembolleri ile giriş yapılır. Matris çarpımından, kütleli debileri teker teker bulunur. CTP, kütleli debilerini bulduktan sonra model verimlerini hesap eder.

Basit Rankine çevrimini açıklarsak, kazanda ısınan su kızgın buhar olarak kazandan ayrılır. Kızgın buhar, elektrik üreticisi ile aynı mil üzerinde bulunan buhar türbininde genişler. Türbinden çıkan doymuş buhar sıvı karışımı, yoğuşturucuda yoğuşur. Yoğuşturucudan çıkan sıvı su, pompa ile gazsızlaştırma ünitesine basılır. Gazsızlaştırma ünitesinde, gazlarından arındırılan su, besi suyu pompası ile kazana basılır.

Sistemde belirlenen aşağıdaki değerlerin birimleri ve isimleri CTP’de Şekil 4.23’deki gibi gösterilir.

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

p	T
h	$\phi_m$
$\phi_m$ = Kütleli Debi [kg/s] p = Basınç [bar] T = Sıcaklık [°C] h = Entalpi [kJ/kg] $P_{el}$ = Elektrik Gücü [kW]	

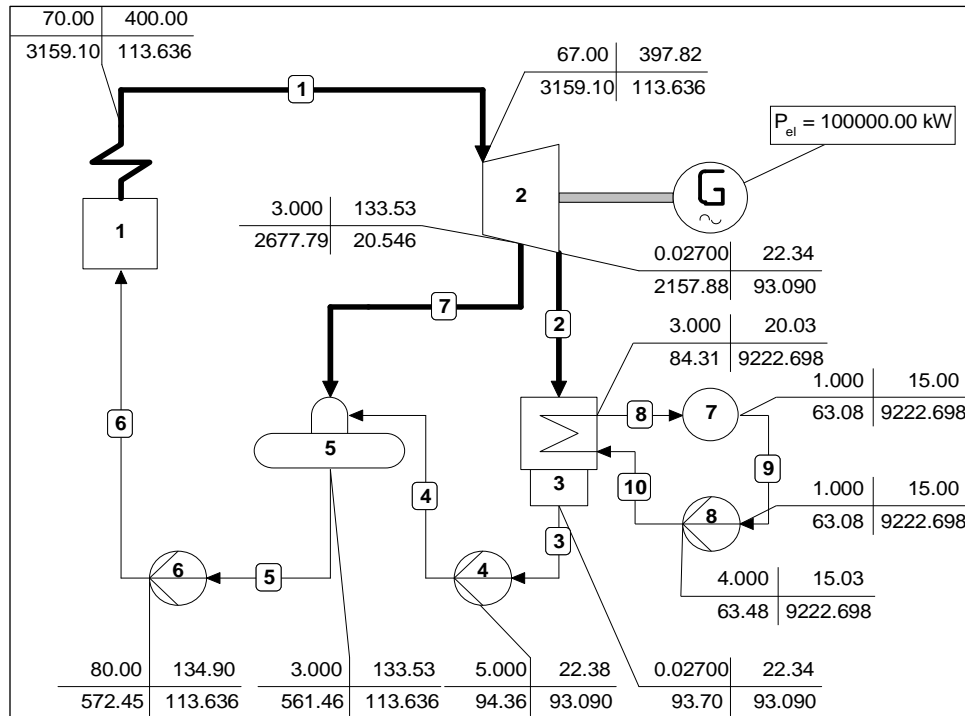
**Şekil 4.23** : Cycle-Tempo Programı örnek modelinde verilen değerlerin birimleri [35]

Hesaplama için, başlangıç değerleri Çizelge 4.2’de verilmiştir. Sistemde elektrik üreticisi gücü, 100 MW<sub>e</sub> olarak verilmiştir. CTP, bu verilerle sistem matrisini oluşturur.

**Çizelge 4.2 : Hesaplama için başlangıç değerleri**

Kazan (1)	Çıkış basıncı Çıkış sıcaklığı	70 bar 400°C
Türbin (2)	ETHAI izantropik verim	0.8
Yoğuşturucu (3)	Çıkış basıncı Buhar tarafı basınç düşümü Soğutma suyu basınç düşümü Soğutma suyu sıcaklık yükselişi	0,027 bar 0 bar 1 bar 5°C
Pompa (4)	ETHAI izantropik verim	0.75
Gazsızlaştırma ünitesi (5)	Çıkış basıncı Basınç kaybı	3 bar 0 bar
Pompa (6)	Çıkış basıncı ETHAI izantropik verim	80 bar 0.75
Kaynak (7)	Soğutma suyu çıkış sıcaklığı Soğutma suyu çıkış basıncı	15°C 1 bar
Pompa (8)	Çıkış basıncı ETHAI izantropik verim	4 bar 0.75

CTP modelinde çalıştırıldıktan sonra, başlangıç değerlerinin pencerede görünüşü Şekil 4.24’de gösterilmiştir.



**Şekil 4.24 : Cycle-Tempo Programı örnek modelinin çalıştırıldıktan sonra başlangıç değerlerinin pencerede görünüşü [35].**

CTP modelinde, tüm parametreler girildikten sonra araçlar kutusunda bulunan çalıştır (run) kutusuna basılır. CTP modeli, sorunsuz çalışıyorsa Şekil 4.25 ekranda görülür. Ardından Şekil 4.26’da verilen bilgi penceresi çalışma sayfasında gözükür.

```

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

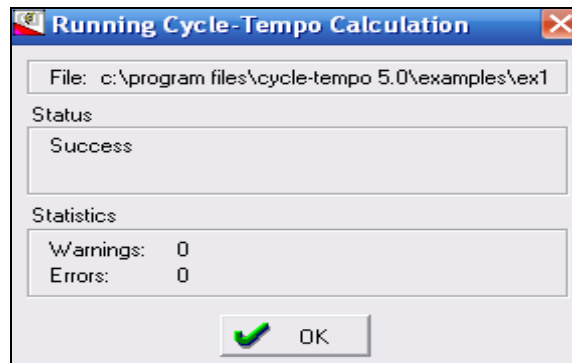
Convergence reached in  1 iterations.
-----
Absolute deviation massflow:
Criterion absolute deviation:  < .100E-02
Max absolute deviation in pipe  1:  0.00
Relative deviation in this pipe:  0.00
Relative deviation massflow:
Criterion relative deviation:  < 0.100E-03
Max relative deviation in pipe  1: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

Calculation finished normally

```

Şekil 4.25 : Sistemin çözümünü özetleyen bilgi penceresi [35].



Şekil 4.26 : Modelin sorunsuz çalıştığını gösteren pencere [35].

CTP, model verimlerini bir tablo olarak toplar ve kullanıcıya sunar. Şekil 4.27 sistemin çözümünden sonraki verim bilgi ekranını göstermektedir.

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.

	No.	Apparatus	Type	Energy [kW]	Totals [kW]	Exergy [kW]	Totals [kW]
Absorbed	1	Boiler	1	309406.19		322901.16	
power					309406.19		322901.16
Delivered	1	Generator	G	100000.00		100000.00	
gross power					100000.00		100000.00
Aux. power	4	Pump	8	69.36		69.36	
consumption	6	Pump	8	1315.14		1315.14	
	8	Pump	8	3874.27		3874.27	
					5258.78		5258.78
Delivered							
net power					94741.22		94741.22
Efficiencies	gross			32.320 %		30.969 %	
	net			30.620 %		29.341 %	

Şekil 4.27 : Cycle-Tempo Programı modeli verim bilgi ekranı [35].

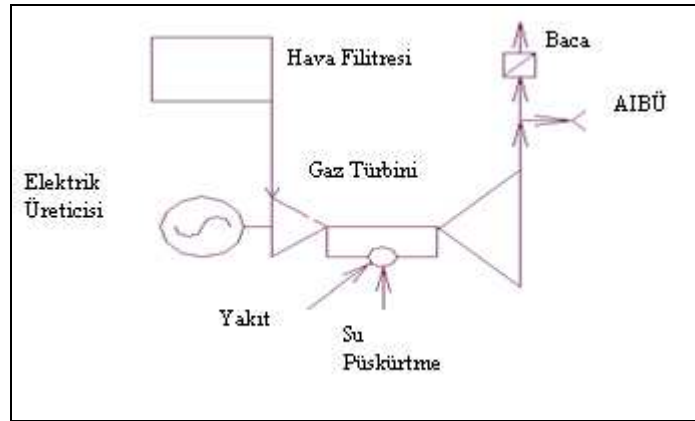


## 5. ENTEK E.Ü.A.Ş. BURSA KOJENERASYON TESİSİNİN CYCLE-TEMPO PROGRAMINDA MODELLENMESİ

CTP’de Rankine ve Brayton çevrimi ile birlikte, kojenerasyon da modellenmiştir. CTP’de modelleme yapılırken, ilk aşamada ENTEK E.Ü.A.Ş. Bursa DKT enerji dengesi diyagramında, termodinamik özellikleri bilinen noktalar temel alınarak modelleme yapılmıştır. ENTEK E.Ü.A.Ş. Bursa DKT enerji dengesi diyagramında verilen termodinamik özelliklerin, CTP çözümü ile aynı değerleri göstermesi, modelin doğruluğunu göstermektedir. Her ekipmanın öncesindeki ve sonrasındaki bilinmeyen termodinamik özellikler CTP yardımıyla bulunmuştur.

### 5.1 Brayton Çevimi Modellenmesi

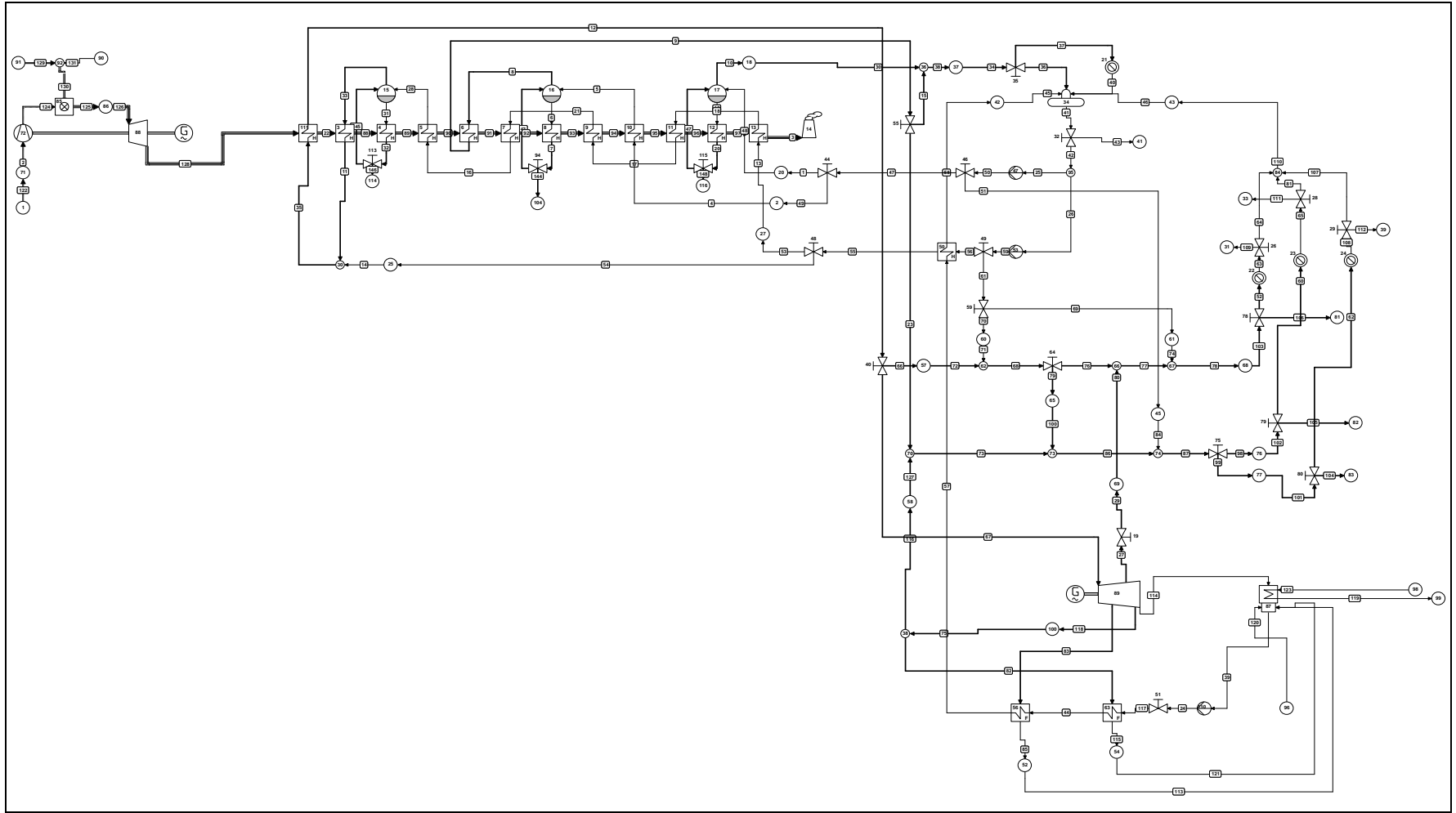
CTP çalışma sayfası açıldıktan sonra ilk aşama çevrimleri oluşturmaktır. Basit ve kurulumu kolay olacak çevrimden başlanmalıdır. Bu bakımdan ilk aşamada Brayton çevrimi modellenmelidir. ENTEK E.Ü.A.Ş. Bursa DKT enerji dengesi diyagramında Brayton çevriminin şematik gösterimi Şekil 5.1’de sunulmuştur [28].



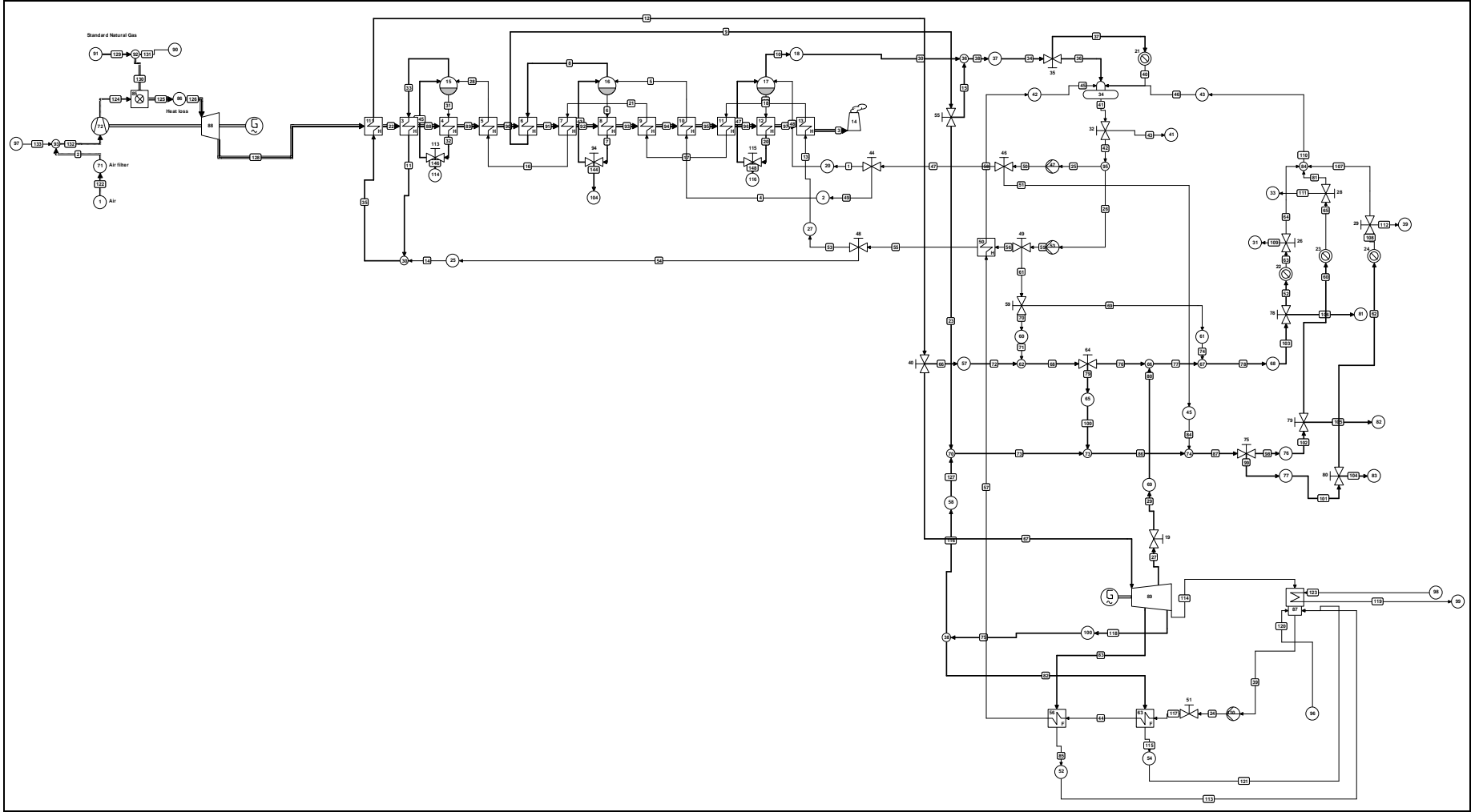
**Şekil 5.1 :** Gaz türbini çevriminin ENTEK E.Ü.A.Ş. Bursa Doğalgaz Kojenerasyon Tesisi enerji dengesi diyagramında şematik gösterimi [28].

Ara soğutma olmaması ve olması durumlarında ENTEK E.Ü.A.Ş. Bursa DKT'nin CTP modeli sırasıyla Şekil 5.2 ve 5.3'de gösterilmektedir.

Ara Soğutma olmaması ve olması halleri için CTP'de Brayton çevriminin modellenmesi sırasıyla Şekil 5.4 ve 5.5'de gösterilmiştir.

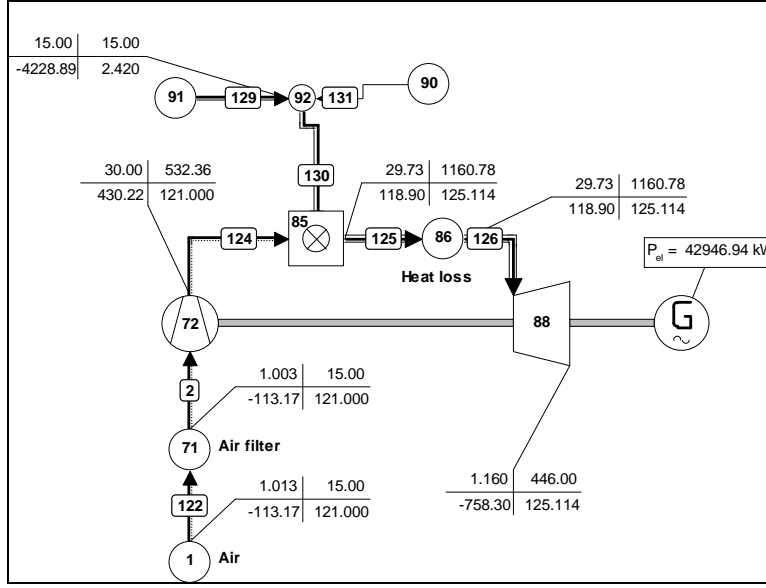


Şekil 5.2 : Ara soğutma olmaması durumunda Cycle-Tempo Programında oluşturulan model.



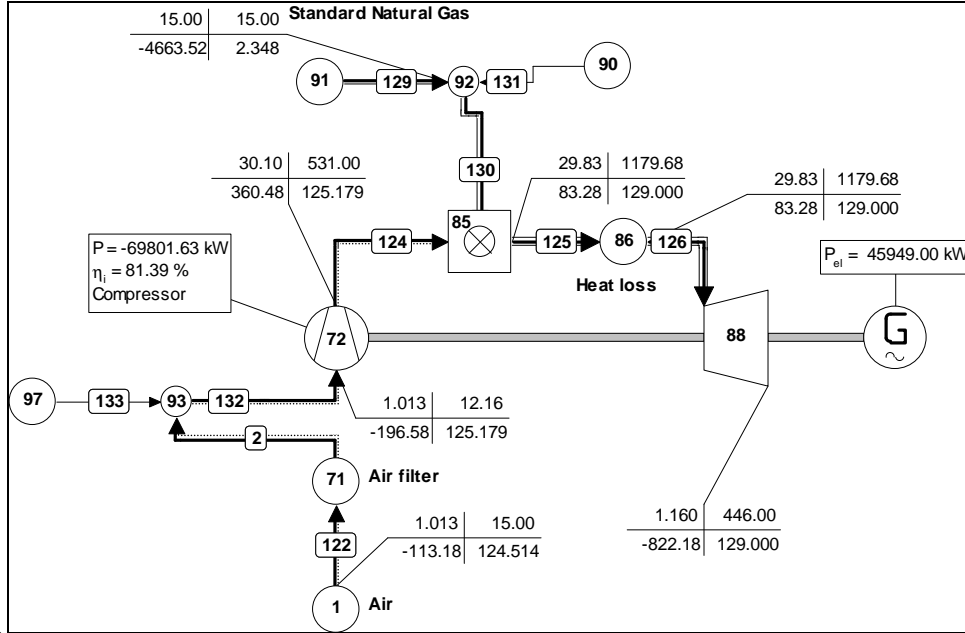
Şekil 5.3 : Ara soğutma olması durumunda Cycle-Tempo Programında oluşturulan model.





**Şekil 5.4 :** Ara soğutma yapılmaması durumunda Brayton çevriminin modellenmesi.

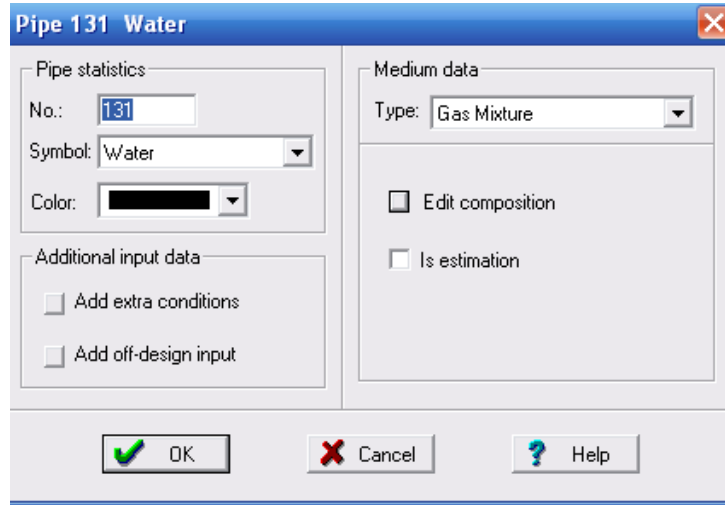
Gaz türbini CTP’de modellenirken, tesisin enerji dengesi diyagramında bulunan tasarım değerleri CTP’ye girilerek model kurulmuştur. CTP çalışma mantığına göre, kütle dengesi hesaplanırken kaynak çıkış noktasına (Kompresör ağzı, 1 nolu ekipmana) veya kaynak giriş noktasına (baca girişine) kütleli debi değeri girilir



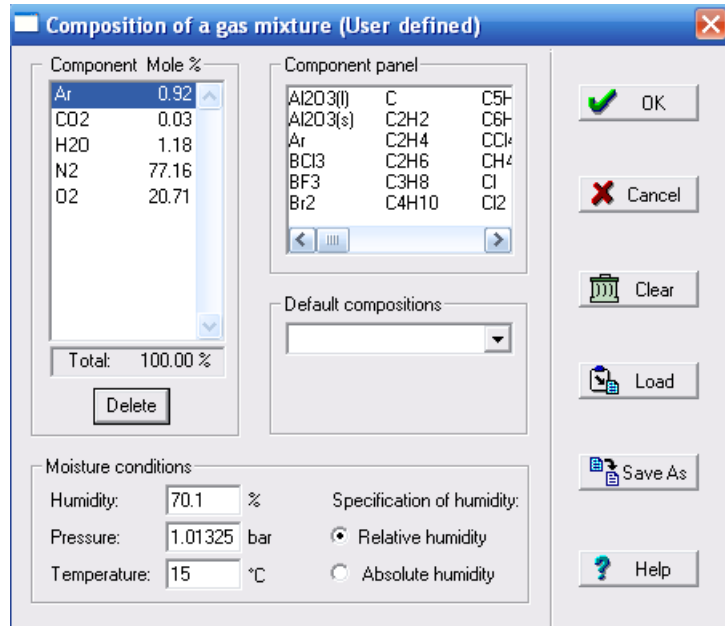
**Şekil 5.5 :** Brayton çevriminin ara soğutma yapılması durumunda modellenmesi

Model oluşturulurken, CTP’de tanımlı boru çeşitleri önem taşır. CTP’den hava, su, yakıt ve baca gazı için farklı borular seçilir.

Ara soğutma yapılması ve yapılmaması durumunda modellenen Brayton çevriminde, hava girişi olarak kaynak ekipmanı kullanılmış, hava borusuyla hava filtresine bağlanmış, bu ekipman, hava borusu kompresöre ve yanma odasına kaynak ekipmanında basınç düşümü verildikten sonra bağlanmıştır. Doğalgaz ise NO<sub>x</sub> kontrolü için, içine su püskürtülerek yanma odasına sokulmuştur. Yanma odasındaki borularında Şekil 5.6'da gösterildiği gibi yakıtın ve suyun gaz karışımı olarak gösterilmesi gerekir. CTP modelindeki kurulu olan 122 numaralı boruya ait pencerede, hava özelliklerinin girilişi Şekil 5.2'de ve Şekil 5.7'de gösterilmektedir.



Şekil 5.6 : Yakıtı karışacak NO<sub>x</sub> suyunun boruda gaz karışımı olarak gösterilmesi.



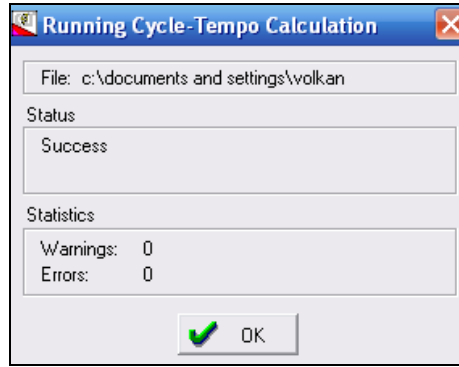
Şekil 5.7 : Cycle-Tempo Programı modelindeki 122 numaralı boru için hava özelliklerinin girilmesi.

CTP modeli oluşturulurken, borular arasındaki debi oranları biliniyorsa debi değeri doğrudan verilmeyebilir. Bu durumda debi oranları girilir. Ancak türbin güçleri CTP'ye tanıtılmadıysa, mutlaka bir adet debi değeri CTP'ye girilmelidir. Aksi halde sistem, Şekil 5.8'de gösterilen hatayı verecektir.

```
Calculating generator data .....  
Eliminating mass equation .....  
  
2.13 ERROR ----> TOTAL NUMBER OF EQUATIONS (136) TO CALCULATE THE MASS FLOWS  
IN THE SYSTEM MUST EQUAL THE NUMBER OF PIPES (137).
```

**Şekil 5.8 :** Hata mesajı.

CTP'ye tüm bilgiler doğru girildiğinde, çalışmanın başarılı olduğunu gösteren mesaj ekranda Şekil 5.9'da gösterildiği gibi gözükcektir.



**Şekil 5.9 :** Çalışmanın başarılı olduğunu gösteren mesaj.

Gaz türbini, CTP'de modellendikten sonra, modelleme sonuçlarının ENTEK E.Ü.A.Ş.Bursa DKT enerji dengesi diyagramındaki gaz türbini değerleri ile karşılaştırması yapılır. Karşılaştırma sonucunda enerji dengesi diyagramındaki bilinen değerler CTP modelindeki değerler ile örtüşüyorsa modellemeye devam edilebilir.

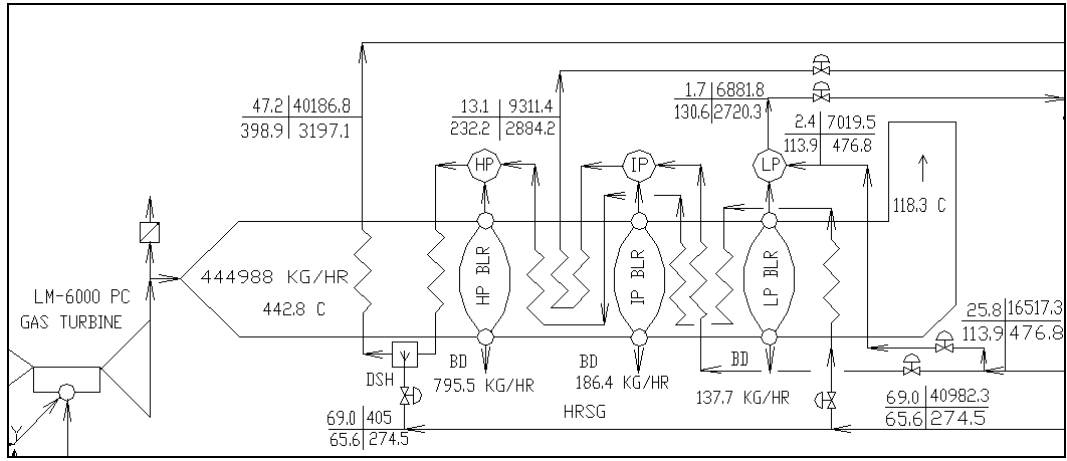
CTP modeline devam edebilmek için iki farklı yol izlenebilir. Bu iki yol şunlardır;

- Ekipmanlar bağımsız olarak düşünülerek, giriş ve çıkışlarına kaynaklar konarak CTP'nin doğru çalıştığı test edilir. Doğru ise diğer ekipmanlar ile birleştirilerek, birleşim sırasında fazladan girilen kütleli debi ve sıcaklık değerleri silinir ve sistem tümüyle kontrol edilir.
- Ekipmanların tümü birbirine bağlanarak girilecek değerler, CTP'ye en son girilir. Bu yolun takibi oldukça zordur. Hata geldiğinde, hangi ekipmandan ve borudan hangi özellik nedeniyle geldiğini bulmak zor olur.

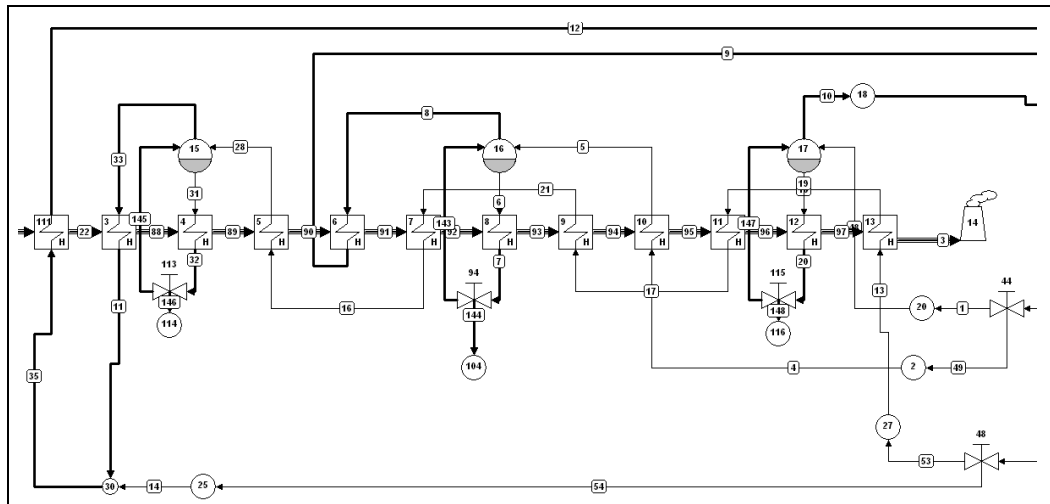
## 5.2 Atık Isı Buhar Üreticisinin Modellenmesi

AIBÜ, tek ekipman olarak CTP'de bulunmadığından, AIBÜ'nün 12 adet küçük ısı değiştiriciye parçalanması gereksinimi duyulmuştur. Isı değiştirici adetinin, boruların geçiş ve diziliş sırasına göre belirlenmesi, değişik yüklerde bazı ısı değiştiricilerin, baca gazı sıcaklığının düşümüne bağlı olarak kapaklar yardımıyla köprülenecek olması ve ısıtıcı tarafın her zaman için ısınan taraftan sıcak olabilmesi nedeniyledir.

AIBÜ'nün ENTEK E.Ü.A.Ş Bursa DKT enerji dengesi diyagramında gösterilişi Şekil 5.10'da sunulmuştur. AIBÜ'nün CTP'deki gösterimi Şekil 5.11'de, sunulmuştur.



Şekil 5.10 : Atık ısı buhar üreticisinin ENTEK E.Ü.A.Ş Bursa DKT enerji dengesi diyagramında gösterimi [28].



Şekil 5.11 : Atık ısı buhar üreticisinin Cycle-Tempo Programındaki gösterimi.

AIBÜ’de bulunan parçalar ve CTP gösterimleri şu şekildedir.

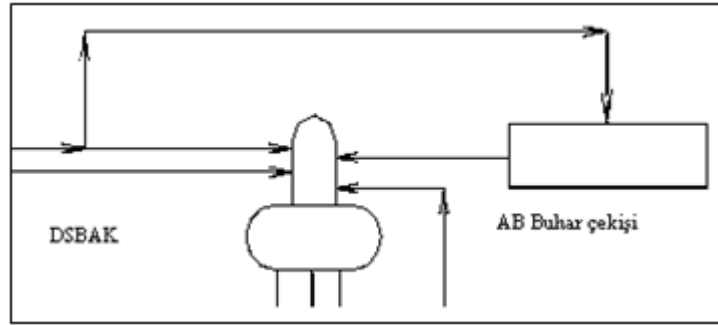
- ABI: 13 no.lu ısı değiştirici
- ABB: 12 no.lu ısı değiştirici
- OBI: 9, 10, 11 no.lu ısı değiştiriciler.
- OBB: 8 no.lu ısı değiştirici
- YBI: 5, 6, 7 no.lu ısı değiştiriciler
- YBB: 4 no.lu ısı değiştirici
- Kızdırıcı: 111 ve 3 no.lu ısı değiştiricileri
- AB DSBAK: 17 no.lu ekipman
- OB DSBAK: 16 no.lu ekipman
- YB DSBAK: 15 no.lu ekipman
- BSKB (DSH): 30 no.lu karıştırıcı
- AB/OB üç yollu vanası: 44 no.lu vana
- YB üç yollu vanası: 48 no.lu vana
- 2, 20, 25 ve 27 no.lu kaynaklar, basınç düşürücü vana olarak kullanılmıştır.
- 113, 94 ve 115 no.lu üç yollu vanalar, ani buhar atışı (%2) yapmak için kullanılmıştır.

AIBÜ CTP’de modellenirken girilen değerler, CTP’nin çalışabilmesi için yetersizdir. DKT enerji dengesi diyagramında ve çalışan DKT üzerinde, bu değerler belirlenememektedir. 12 adet ısı değiştiricide sıcaklığın ne kadar değiştiği tahmini olarak belirlenmelidir. Bu bakımdan, genel bir AIBÜ için Şekil 3.7’deki gibi, temel bilgilerden faydalanılmıştır. AIBÜ için temel bilgiler, ısıtıcıların sıcak gaz girişlerinde, gaz sıcaklığının ve su sıcaklığının birbirine çok yaklaşması, buharlaştırıcılarda su için sıcaklık artışı olmaması ve buharlaştırıcıların soğuk gaz çıkışlarında, su ile gaz sıcaklığının birbirine çok yaklaşması olarak sıralanabilir.

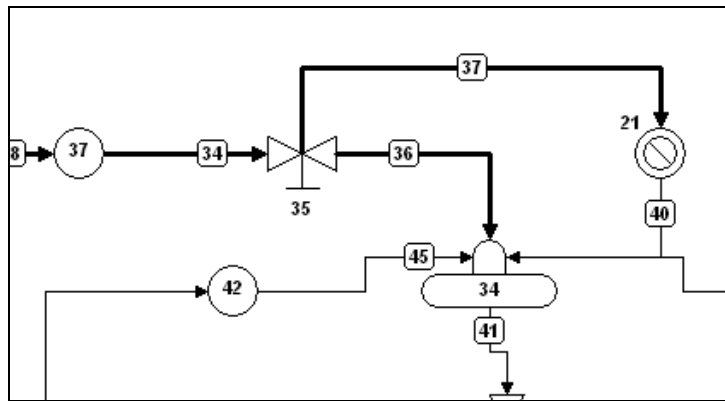
### 5.3 Gazsızlaştırma Ünitesinin Modellenmesi

Gazsızlaştırma ünitesi, sistemdeki suyun, AIBÜ'ye girmeye uygun hale getirildiği ekipmandır. Gazsızlaştırma ünitesinin DKT enerji dengesi diyagramındaki hali Şekil 5.12'de görülmektedir. Gazsızlaştırma ünitesinin CTP'deki gösterilişi ise Şekil 5.13'de verilmektedir.

CTP modelinde, gazsızlaştırma ünitesine tepe noktasından AB buharı girer. CTP tek boru çıkışına izin verdiği için, gazsızlaştırma ünitesi tek boru çıkışlı yapılmıştır. Gazsızlaştırma ünitesinin çıkışından, AB ve OB/YB besu pompalarına dağıtım, üç yollu vana yerine ayrıştırıcı konulması suretiyle yapılmıştır. Bu ayrıştırıcıya oran verilmemesi gerekir. Aksi halde CTP debi bilgisi fazla şekilde hata mesajı verecektir. CTP besu suyu pompalarına dağıtım için debi oranını kendisi hesaplar. Gazsızlaştırma ünitesindeki %2'lik kütleli debi kaybı, üç yollu vana yardımıyla CTP'ye tanıtılmıştır.



Şekil 5.12 : Gazsızlaştırma ünitesinin enerji dengesi diyagramındaki gösterimi.



Şekil 5.13 : Gazsızlaştırma ünitesinin Cycle-Tempo Programındaki gösterimi.

#### 5.4 Diğer Ünitelerin Modellenmesi

Şekil 5.3’de gösterilen CTP modeli incelendiğinde, kızdırıcıdan çıkan 12 numaralı boru 40 numaralı üç yollu vanaya gelir. Bu boru, debi kontrolünün oransal olarak yapılmasından sonra buhar türbinine girer. Buhar türbininde genişleyen buhar, yoğuşturucuya girerek yoğuşur. Yoğuşturucudan çıkan su, 39 numaralı hattaki pompa ile basınçlandırılarak, debi kontrolü yapılır. Basınçlandırılan su, buhar türbinindeki kaçaqları ve ara çekiş hattındaki buharı yoğuşturduktan sonra, 50 numaralı ısı değiştiricide (bu ısı değiştirici kod 1 ile oransal debi ayarına göre çalışmaktadır), YB pompasından gelen suyu soğutarak gazsızlaştırma ünitesine girer.

40 numaralı üç yollu vanadan ayrılan diğer kol, 66 numaralı boru adını alır ve 67 numaralı basınç düşürücüye girerek, OB/YB pompasından gelen 71 numaralı boru ile birleşerek, 68 numaralı boru adını alır. 64 numaralı üç yollu vanadan, oransal olarak, diğer 8 bar basınçlı müşteri buhar hattına birleşme yapılır. 76 numaralı borudaki akış, buhar türbininden çekilen buhar hattı ile birleşerek, 67 numaralı birleştiriciden geçer. Buharın 67 numaralı birleştiricide basıncı düşürülür. Buhar akışı, 78 numaralı üç yollu vanada %10 kayıp vererek, 24 bar basınçlı hat olarak, buhar çekim noktasına girer ve su kaybını karşılamak için sisteme ilave edilen 26 numaralı üç yollu vanadan geçerek 84 numaralı birleştiricide diğer su hatları ile birleşir.

OB DSBAK’ından çıkan 9 numaralı boru, 66 numaralı üç yollu vanayla birleşir. Buharın debi kontrolü oransal olarak yapıldıktan sonra, buhar 70 numaralı karıştırıcıya girer, 127 numaralı boru ile birleşir. Sonra 73 ve 74 numaralı karıştırıcıya girerek, bu noktalarda 65 ve 45 numaralı basınç düşürme amacıyla konulmuş kaynak ekipmanlarından geçer ve oransal debi kontrolü yapılmış borular ile birleşerek karışır. Daha sonra buhar 76 numaralı üç yollu vana ile oransal olarak dağıtılır, buharın basıncı 76 ve 77 numaralı basınç düşürücüler ile 8 bara düşürülür. 79 ve 80 numaralı üç yollu vanalara, oransal olarak %10’luk kayıplar işlenmiştir. 60 ve 62 numaralı borudan geçen buhar, çekim noktalarına geldiğinde enerjisi işlemde kullanılır ve çevrime geri dönen yoğuşmuş su çevrimde yoluna devam eder. 26, 28, 29 numaralı üç yollu vanalar olası su kayıplarına karşı sisteme ilave edilmişlerdir. Böylece suyun geri gelmeyeceği durumlar oluştuğunda buradan oransal olarak ayarlama yapılabilecektir. Bu vanalardan geçen akış, 84 numaralı birleştiricide birleşir ve basınç düşürücüdün geçtikten sonra gazsızlaştırma ünitesine girer.

Gazsızlaştırma ünitesinden çıkan 41 numaralı hat, üç yollu vana ile %2'lik bir kayıptan sonra ayırıştırıcıya girer ve YB, AB/OB besisi suyu pompalarına dağılır. Bu dağıtım oranını CTP kendisi hesaplar. CTP modelinin takibi, ara soğutma olması ve olmaması durumları için Şekil 5.2 ve 5.3'den izlenerek yapılabilir.

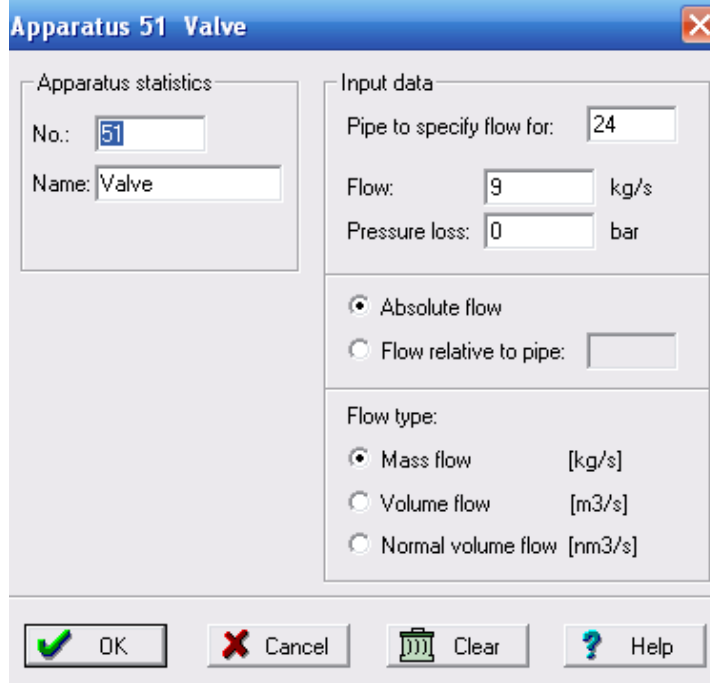
CTP'de bütün ekipmanlar aynı mantıkta çalışmasına rağmen, üç yollu vana ekipmanı iki farklı yaklaşımla kullanılabilir. Bunlar aşağıda sıralanmıştır.

- Üç yollu vana oransal kontrolü: Şekil 5.14'de üç yollu vana oransal kontrol giriş penceresinde gösterildiği gibi, bilgi girişi (input data) kısmına değer girilmesi, 36 numaralı borudaki kütleli debi, 34 numaralı borudaki debinin, 0,2879 katı olsun anlamına gelir. Bu pencerede istenildiği takdirde basınç düşümü de verilebilir.

Şekil 5.14 : Üç yollu vananın oransal kullanımı.

- Üç yollu vana sabit akış: Şekil 5.15'de üç yollu vananın debi bilgisi verme amacı ile kullanımı gösterildiği gibi, 24 numaralı borunun kütleli debisi 9 kg/s olarak verilir. CTP bu girişi, sürekli kütle girişi olarak algılayacağından, bu bilgi kaynak kutucuğu kullanılarak verilmemelidir.



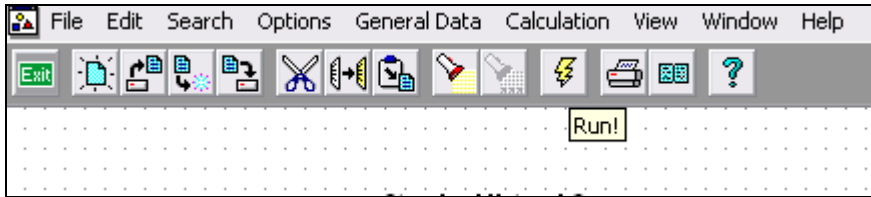


**Şekil 5.15 :** Üç yollu vananın debi değerlerini girdileme amacı ile kullanımı.

Çizelge A.1’de, ara soğutma yapılmayan CTP modelinde, CTP’ye değer girişleri verilmiştir. Çizelge A.2’de, ara soğutma yapılan CTP modelinde, CTP’ye değer girişleri gösterilmektedir.

CTP, Çizelge A.1 ve A.2’de boru içerisinden geçen akışkanların fiziksel haline göre isimlendirme yapar. Bu isimlendirmeler, su ve buhar için ‘Waterstm’, diğer gazlar için ‘Gasmix’ dir.

CTP modeli şekil olarak kurulduktan sonra, modele program mantığına uygun olarak bilgiler girilir. Sonra Şekil 5.16’da gösterilen çalıştır (run) komutu uygulanır.



**Şekil 5.16:** Çalıştır komutu.

Hata ve uyarı penceresi yerine başarılı işlem bilgisi penceresi geldiği takdirde, model, CTP çalışma mantığına uyuyor anlamı taşır. CTP modelinin, inceleme sonucu oluşan hali Şekil A.1 ve A.2’de verilmiştir.

## **6. SONUÇ VE ÖNERİLER**

### **6.1 Bütün Borulardaki Akışkanların Termodinamik Özelliklerinin Belirlenmesi**

Model kurulduktan ve bilgi girişleri yapıldıktan sonra tüm borulardaki akışkanların termodinamik özelliklerini CTP hesaplar. CTP girdisi yapılmayan özellikleri ise deneme yanılma metodu ile yinelemeler yaparak bulur. Bu şekilde DKT enerji dengesi diyagramında belirtilmeyen noktaların, termodinamik özellikleri belirlenmiş olur. Tüm borulardaki akışkanlar için belirlenen termodinamik özellikler Çizelge B.1 ve B2'de verilmiştir.

### **6.2 Cycle-Tempo Programı İle Yapılan Analizler**

Tüm borulardaki akışkanların termodinamik özellikleri CTP'de belirlendikten sonra, hava sıcaklığı, bağıl nem, hava basıncı değişiminin ve çekilen buharın miktarının incelenmesi ile farklı yüklerde çalışmanın etkisinin belirlenmesi mümkündür.

CTP modelinde türbin güçleri, giren hava kütle debileri, baca gazı çıkış debisi, yakıt debisi, yakıt ısı gücü, toplam santral gücü ve satılan buharın elektrik eşdeğeri kurulu tesisteki değerlerinin yarısını verecek şekilde modellendi ve hesaplandı. Bu nedenle, bu bölümde sunulan çizelgelerdeki ve şekillerdeki ilgili değerlerin iki katı alınarak, kurulu tesis için hesaplanan değerler elde edilebilir.

#### **6.2.1 Hava sıcaklığı değişiminin tesisin performans parametrelerine etkisi**

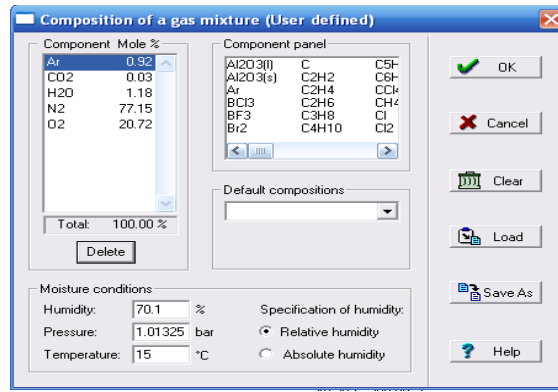
Bu bölümde, hava sıcaklığı değişiminin model üzerindeki etkisi incelenmiştir. Basınç, sıcaklık ve nem değerlerinin, CTP'de nasıl değiştirildiğini gösteren bilgi penceresi Şekil 6.1'de sunulmuştur.

Şekil 6.1'deki pencere üzerinde hava basıncı, hava sıcaklığı ve bağıl nem değişimleri yapılır. Hava sıcaklığının değişiminin incelenmesinde, bağıl nem ve hava basıncı sabit kabul edilmiştir ve hava sıcaklığı değerleri  $-10^{\circ}\text{C}$  den  $40^{\circ}\text{C}$  ye kadar  $5^{\circ}\text{C}$  aralıklarla incelenmiştir.

Sadece Brayton çevrimi için, ara soğutma olmaması durumunda, hava sıcaklığının değişik değerleri için, yapılan inceleme sonuçları Çizelge 6.1’de sunulmuştur.

Varsayımlar (Sadece Bölüm 6.2.1 içindir);

- Hava basıncı 1,01325 bar değerinde sabittir.
- Bağıl nem %70,1 değerinde sabittir.
- Yoğuşturucu basıncı sabittir.
- Sanayi için doğalgaz kWh başına birim maliyet fiyatı 01.07.2008 tarihi itibari ile 0,051195 TL olarak kabul edilmiştir.
- %100 yük içindir.



Şekil 6.1 : Basıncı, sıcaklık ve nem değerlerinin değiştirildiği Cycle-Tempo Programındaki penceresi.

Çizelge 6.1 : Ara soğutma yapılmaması halinde sadece Brayton çevriminin incelenmesi.

Hava Sıcaklığı	Giren Hava Kütle Debisi	Gaz Türbini Güç Çıkışı	Isıl Verim	Baca Gazı Çıkış Sıcaklığı	Baca Gazı Çıkış Debisi	Yakıt Debisi	Isı-Güç Oranı	Birim Maliyet	Yakıt Isıl Gücü
°C	kg/s	kW	%	°C	kg/s	Sm <sup>3</sup>	kcal/kWh	kr/kWh	kW
-10	137,2	50.195,5	41,14	418	141,4	12.719,5	2090,6	12,44	122.018,9
-5	134,7	50.685,8	41,11	434	139,0	12.852,7	2092,0	12,45	123.296,2
0	131,9	49.145,2	41,06	438	136,1	12.478,4	2094,7	12,47	119.705,3
5	128,9	47.848,4	40,85	441	133,3	12.209,6	2105,2	12,53	117.126,6
10	127,5	45.512,9	40,52	443	131,8	11.708,3	2122,3	12,63	112.317,6
15	121,0	42.946,9	40,13	446	125,1	11.156,0	2143,0	12,76	107.019,7
20	114,2	39.818,3	39,39	455	118,3	10.547,5	2185,3	13,01	101.182,3
25	110,0	37.602,6	38,65	463	113,7	10.141,8	2225,1	13,25	97.290,7
30	106,0	35.173,0	37,52	474	109,6	9.773,0	2292,3	13,65	93.752,8
35	103,0	33.438,5	36,71	482	106,5	9.496,4	2343,0	13,95	91.099,4
40	100,0	31.671,0	35,81	491	103,4	9.219,8	2401,7	14,30	88.446,1

Sadece Brayton çevrimi için, ara soğutma olması durumunda, hava sıcaklığının değişik değerleri için yapılan inceleme sonuçları Çizelge 6.2’de sunulmuştur. Hava sıcaklığı ile kompresöre giren hava debisi arasında, belirgin bir ilişki olduğundan hava debisi değişimi, gaz türbin gücü, ısıl verim değerleri de çizelgeye eklenmiştir. Baca gazı sıcaklığı ve debisi, sistemi çok yakından etkilediğinden, Çizelge 6.2’de özellikle belirtilmiştir. Yakıt debisi ve yakıt ısıl gücü, CTP’den okunup, ısı güç oranı ve birim maliyet hesaplanır. Birim maliyetin anlamı, 1 kWh elektrik üretmek için gerekli olan doğalgazın maliyet bedelidir ve aylık toplam doğalgaz maliyeti bedelinin ücretinin, aylık toplam üretilen elektrik miktarına bölünmesi ile bulunur.

Çizelge 6.3 ve 6.4 ara soğutma yapılması ve yapılmaması hali için, kojenerasyon ve birleşik çevrimin aynı anda devrede olması durumu göz önüne alınarak hazırlanmıştır.

**Çizelge 6.2 :** Ara soğutma yapılması halinde sadece Brayton çevrimi için yapılan inceleme sonuçları.

Hava Sıcaklığı	Giren Hava Kütle Debisi	Gaz Türbini Güç Çıkışı	Isıl verim	Baca Gazı Çıkış Sıcaklığı	Baca Gazı Çıkış Debisi	Yakıt Debisi	Isı-Güç Oranı	Birim Maliyet	Yakıt Isıl Gücü
°C	kg/s	kW	%	°C	kg/s	kg/s	kcal/kWh	kr/kWh	kW
-10	137,2	50.195,5	41,1	418,0	141,4	12.719,5	2.090,6	12,44	122.018,9
-5	134,7	50.685,8	41,1	434,0	139,0	12.852,7	2.092,0	12,45	123.296,2
0	131,9	49.145,2	41,1	438,0	136,1	12.478,4	2.094,7	12,47	119.705,3
5	128,9	47.848,4	40,9	441,0	133,3	12.209,6	2.105,2	12,53	117.126,6
10	127,1	47.253,7	40,8	443,0	131,6	12.068,9	2.107,1	12,54	115.777,0
15	124,5	45.949,0	40,6	446,0	129,0	11.797,5	2.118,2	12,61	113.174,2
20	122,0	44.721,3	40,4	449,0	126,4	11.531,3	2.127,2	12,66	110.619,6
25	119,3	43.271,4	40,1	453,0	123,6	11.244,9	2.143,9	12,76	107.872,1
30	116,4	41.817,4	39,9	456,0	120,6	10.928,3	2.156,0	12,83	104.835,5
35	112,5	38.775,2	39,3	454,0	116,4	10.275,1	2.186,2	13,01	98.569,5
40	110,6	35.347,1	38,6	457,0	110,6	9.546,6	2.228,2	13,26	91.580,5

Değişik hava sıcaklıkları için, giriş hava debisi gaz türbin gücünü etkilediğinden, gaz türbini gücü de gaz türbini ısıl verimini, baca gazı debisini, baca gazı sıcaklığını belirlediğinden, bütün bu değerlere göre, buhar türbini gücü hesaplandığından bu değerler ilgili çizelgelerde gösterilmiştir. Aynı anda, kojenerasyon uygulaması da yapıldığı için, buhar türbinine girmeden satılan buharın elektrik eşdeğeri, ilgili çizelgeye eklenmiştir. Gaz türbini gücü, buhar türbini gücü ve satılan buharın

elektrik eşdeğerinin toplamı, santralin toplam gücünü oluşturmuştur ve birleşik çevrim için yararlanma oranı toplam gücün yakıt gücüne bölünmesi ile bulunur.

Birleşik çevrim uygulamasında, sabit baca gazı sıcaklığı temel alınmıştır. Bacadan en düşük sıcaklık seviyesinde çıkacak gaz için, buhar türbin gücü CTP’de hesaplatılmıştır. Baca gazı sıcaklığı, 122°C olarak sabit tutulmuştur. Bu sayede, çevrimler arası kıyaslama doğru bir şekilde yapılabilir.

**Çizelge 6.3** : Ara soğutma yapılmaması halinde, birleşik çevrim ve kojenerasyon uygulamasının incelenmesinin sonuçları.

Hava Sıcaklığı	Gaz Türbin Gücü	Buhar Türbin Gücü	Satılan Buharın Elektrik Eşdeğeri	Toplam Santral Gücü	Yararlanma Oranı	Isı-Güç Oranı	Birim Maliyet	Yakıt Isıl Gücü
°C	kW	kW	kW	kW	%	kcal/kWh	kr/kWh	kW
-10	50.195,5	6.660,8	5.231,6	62.087,9	50,9	1.690,1	10,06	122018,9
-5	50.685,8	6.953,8	5.458,5	63.098,1	51,2	1.680,5	10,00	123296,2
0	49.145,2	6.917,1	5.430,1	61.492,4	51,4	1.674,1	9,97	119705,3
5	47.848,4	6.807,3	5.345,0	60.000,7	51,2	1.678,8	9,99	117126,6
10	45.512,9	6.728,1	5.288,3	57.529,3	51,2	1.679,0	10,00	112317,6
15	42.946,9	6.514,4	5.118,8	54.580,1	51,0	1.686,3	10,04	107019,7
20	39.818,3	6.362,3	5.005,4	51.186,0	50,6	1.700,0	10,12	101182,3
25	37.602,0	6.289,1	4.948,6	48.839,8	50,2	1.713,2	10,20	97290,65
30	35.173,0	6.289,1	4.948,6	46.410,8	49,5	1.737,3	10,34	93752,8
35	33.438,5	6.289,1	4.948,6	44.676,3	49,0	1.753,6	10,44	91099,43
40	31.671,0	6.289,1	4.948,6	42.908,8	48,5	1.772,7	10,55	88446,05

**Çizelge 6.4** : Ara soğutma yapılması halinde, birleşik çevrim ve kojenerasyon uygulamasının incelenmesinin sonuçları.

Hava Sıcaklığı	Gaz Türbin Gücü	Buhar Türbin Gücü	Satılan Buharın Elektrik Eşdeğeri	Toplam Santral Gücü	Yararlanma Oranı	Isı-Güç Oranı	Birim Maliyet	Yakıt Isıl Gücü
°C	kW	kW	kW	kW	%	kcal/kWh	kr/kWh	kW
-10	50.195,5	6.660,8	5.231,6	62.087,9	50,9	1.690,1	10,06	122018,9
-5	50.685,8	6.953,8	5.458,5	63.098,1	51,2	1.680,5	10,00	123296,2
0	49.145,2	6.917,1	5.430,1	61.492,4	51,4	1.674,1	9,97	119705,3
5	47.848,4	6.843,9	5.373,4	60.065,7	51,3	1.677,0	9,98	117126,6
10	47.253,7	6.807,3	5.345,0	59.406,0	51,3	1.676,1	9,98	115777,0
15	45.949,0	6.734,1	5.288,3	57.971,4	51,2	1.678,9	9,99	113174,2
20	44.721,3	6.697,4	5.260,0	56.678,7	51,2	1.678,5	9,99	110619,6
25	43.271,4	6.638,9	5.215,2	55.125,4	51,1	1.682,9	10,02	107872,1
30	41.817,4	6.565,6	5.159,1	53.542,1	51,1	1.683,9	10,02	104835,5
35	38.775,2	6.331,3	4.977,0	50.083,5	50,8	1.692,6	10,08	98569,5
40	35.347,1	6.075,0	4.779,1	46.201,2	50,4	1.704,7	10,15	91580,5

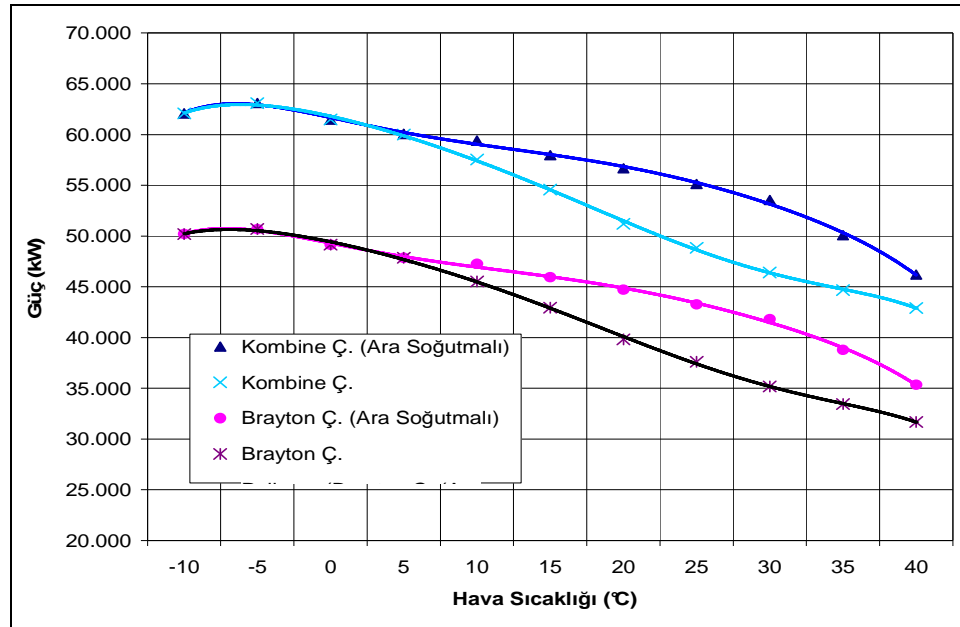
Hava sıcaklığı değişiminin çıkış gücüne olan etkisi, gaz türbinlerinde en önemli etkidir. -10°C hava sıcaklığından 40°C hava sıcaklığına kadar, gücün değişimi

yaklaşık olarak 15 MW mertebesindedir. Bu etki, küçük bir gaz türbininin gücü kadar kazanç veya kayıp getirebilir. Brayton çevriminde, ara soğutma yapılması, hava sıcaklığının güç üzerindeki etkisini, olumlu yönde etkilemektedir. Bunun sebebi, kompresörde hava sıcaklığının sabit tutulmasıyla Ericson çevrimine yaklaşımdır ve kompresöre giren havanın sıcaklığı arttıkça yoğunluğunun azalması ve giren hava kütle debisinin, buna bağlı olarak düşmesidir. Kompresöre giren havanın sıcaklığı arttıkça, gaz türbininin çıkış gücünün azalacağı Şekil 6.2’de görülmektedir. Örneğin, 40°C hava sıcaklığı için su püskürtülmediğinde giren hava 100 kg/s iken, ara soğutma yapıldığında, bu miktar 110,6 kg/s olmaktadır. Ara soğutma, 5°C hava sıcaklığından sonra başlamaktadır.

Gaz türbini çıkış gücü, -5°C hava sıcaklığında en yüksek değerini almış ve diğer sıcaklıklarda ise azalma eğilimi göstermiştir.

Brayton ve birleşik çevrim için ayrı ayrı grafikler oluşturulmuş ve birbirlerine göre kıyasları Şekil 6.2’de sunulmuştur.

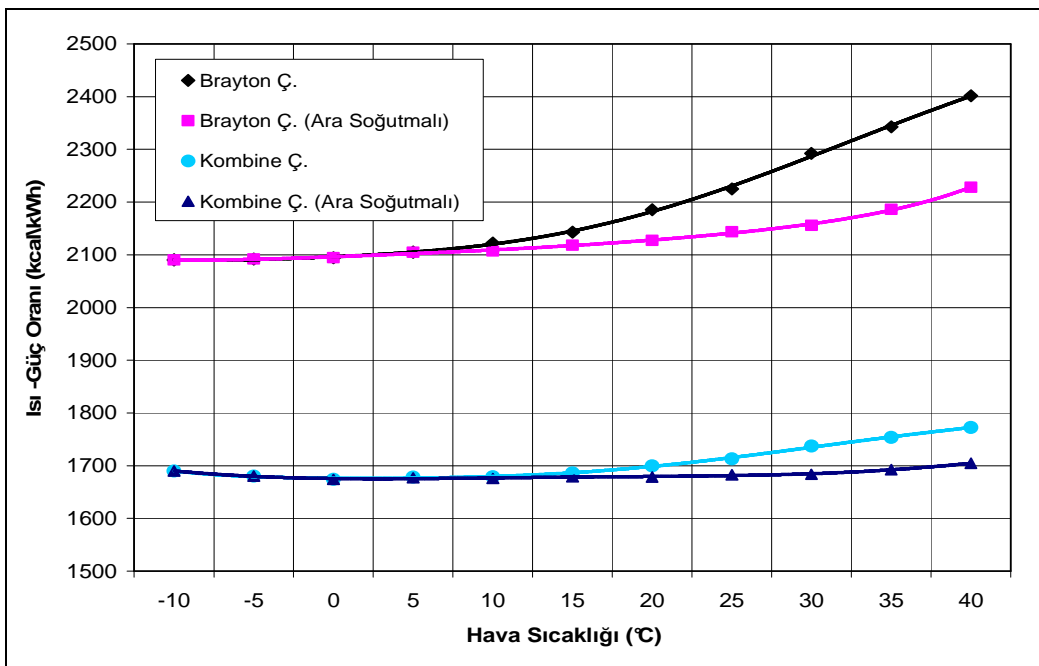
Isı-güç oranı 1 kWh elektrik üretilebilmesi için kullanılması gereken yakıtın ısı enerjisi karşılığıdır. Isı-güç oranı Şekil 6.3’de kcal/kWh cinsinden ifade edilmiştir.



**Şekil 6.2 :** Hava sıcaklığı değişiminin elektrik gücü üretimine etkisi.

Brayton çevriminde, ısı-güç oranının yüksek olduğu, birleşik çevrime geçildiğinde bu oranın azaldığı görülmektedir. Her iki çevrimde de ara soğutma uygulaması olumlu sonuçlar vermiştir.

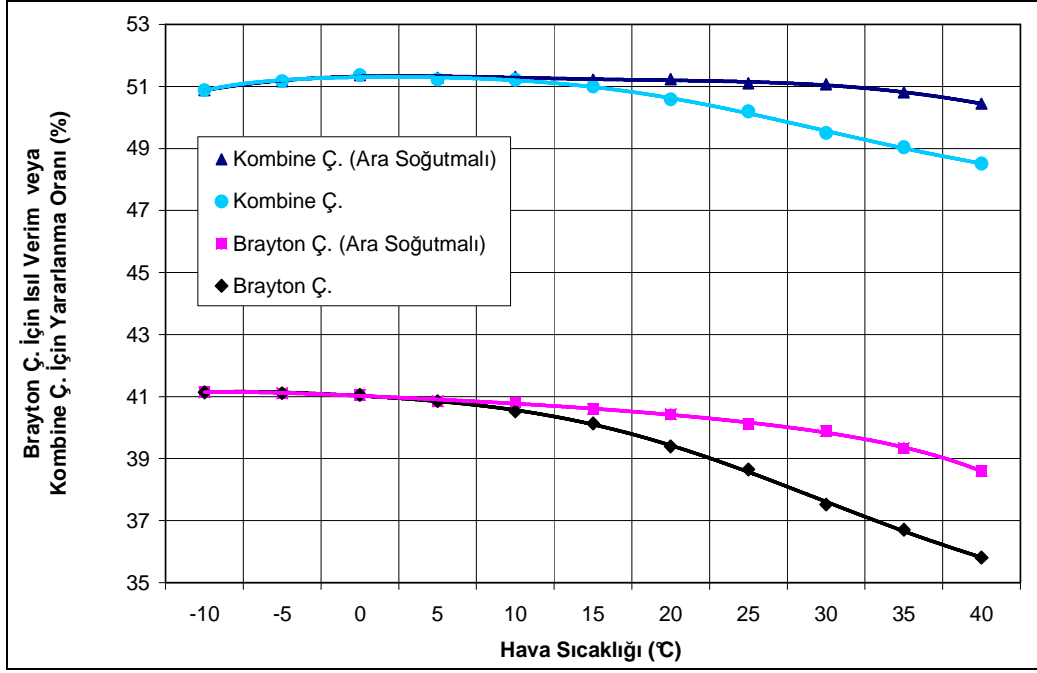
Hava sıcaklığı değişiminin, ısı-güç oranına olan etkisi incelendiğinde, birleşik çevrimde de su püskürtme olması hali ve olmaması hali farklılık göstermektedir. Isı-güç oranı Şekil 6.3’de görüldüğü gibi yatay bir çizgi olarak devam eder ve sıcaklık yükseldikçe aynen Brayton çevriminde olduğu gibi yükselişe geçer, ara soğutma yapılması durumunda, ısı-güç oranı eğrisi Şekil 6.3’de görüldüğü gibi yatay devam eder ve 0°C hava sıcaklığında en düşük noktaya iner. Hava sıcaklığı arttıkça, ısı-güç oranı artış gösterir. Fakat bu yükseliş, ara soğutma olmaması halindeki kadar, fazla olmaz. Birleşik çevrim uygulaması ve ara soğutma yapılması, Şekil 6.3’de görüldüğü gibi ısı-güç oranını düşürmüştür.



Şekil 6.3 : Isı-güç oranının hava sıcaklığı ile değişimi.

Hava sıcaklığının Brayton çevriminde ısı verim üzerindeki ve birleşik çevrim için ise yararlanma oranı üzerindeki etkisi ara soğutma yapılması ve yapılmaması hali için Şekil 6.4’de kıyaslanmıştır.

Brayton çevriminde ısı verim, hava sıcaklığının artması ile azalmıştır. Ara soğutma yapılması durumunda, ısı verimin daha yüksek olduğu görülmektedir. Birleşik çevrim halinde ısı verim buhar türbin gücünün de eklenmesi ile artmıştır. Birleşik çevrim verimi, hem gaz türbininin hem de buhar türbininin gücüne bağlıdır. Isıl verim ve yararlanma oranı eğrileri, ısı-güç oranı eğrilerinin tersi şeklinde Şekil 6.4’de görülmektedir.

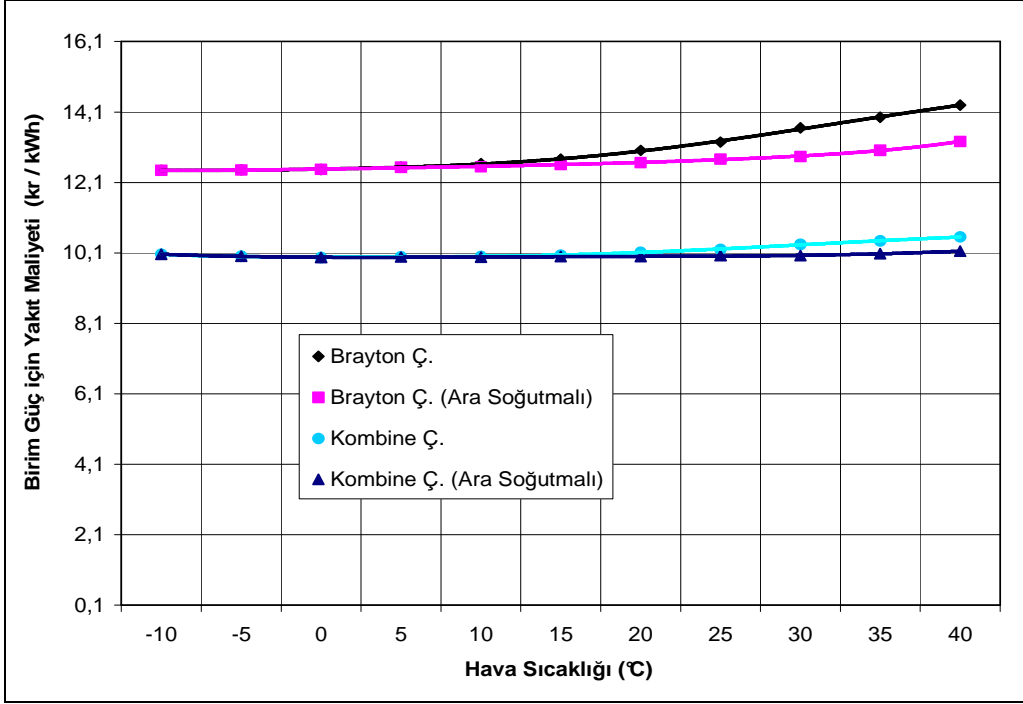


**Şekil 6.4 :** Brayton çevrimi için ısıl verimin, kombine çevrim için yararlanma oranının hava sıcaklığı ile değişimi.

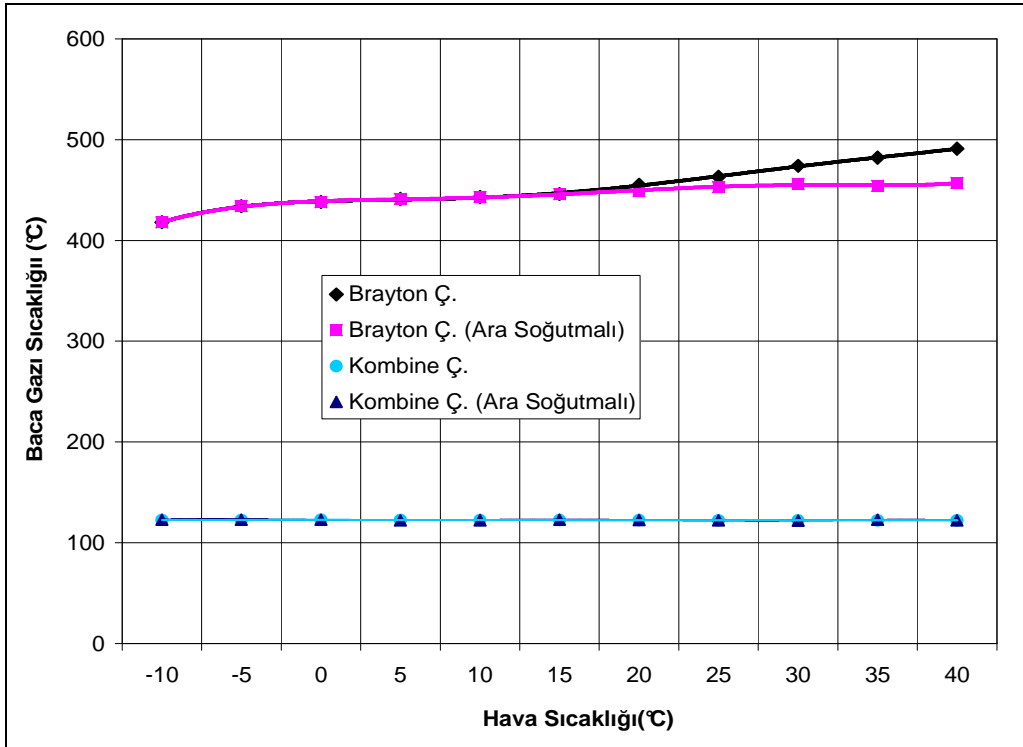
Elektrik birim maliyeti, yakılan doğalgazın ücretinin üretilen elektriğin toplam değerine bölünmesi ile hesaplanmıştır. Brayton ve birleşik çevrim için hava sıcaklığının değişiminin, ara soğutma olması ve olmaması halinde, elektrik birim maliyetini nasıl etkilediği Şekil 6.5’de gösterilmektedir. Elektrik birim maliyetinin, Brayton çevrimine nazaran birleşik çevrimde daha az olduğu ve ara soğutma yapılması durumunda daha da azaldığı Şekil 6.5’de görülmektedir.

Hava sıcaklığı değişiminin baca gazı sıcaklığına olan etkisi Şekil 6.6’da verilmektedir. Brayton çevriminde, baca gazı çıkış sıcaklığı hava sıcaklığı arttıkça Şekil 6.6’da görüldüğü gibi artmaktadır. Şekil 6.6’da görüldüğü gibi, birleşik çevrimde baca gazı çıkış sıcaklığı, en yüksek gücü ve verimi elde edebilmek için aynı değerlere yaklaştırılmıştır.



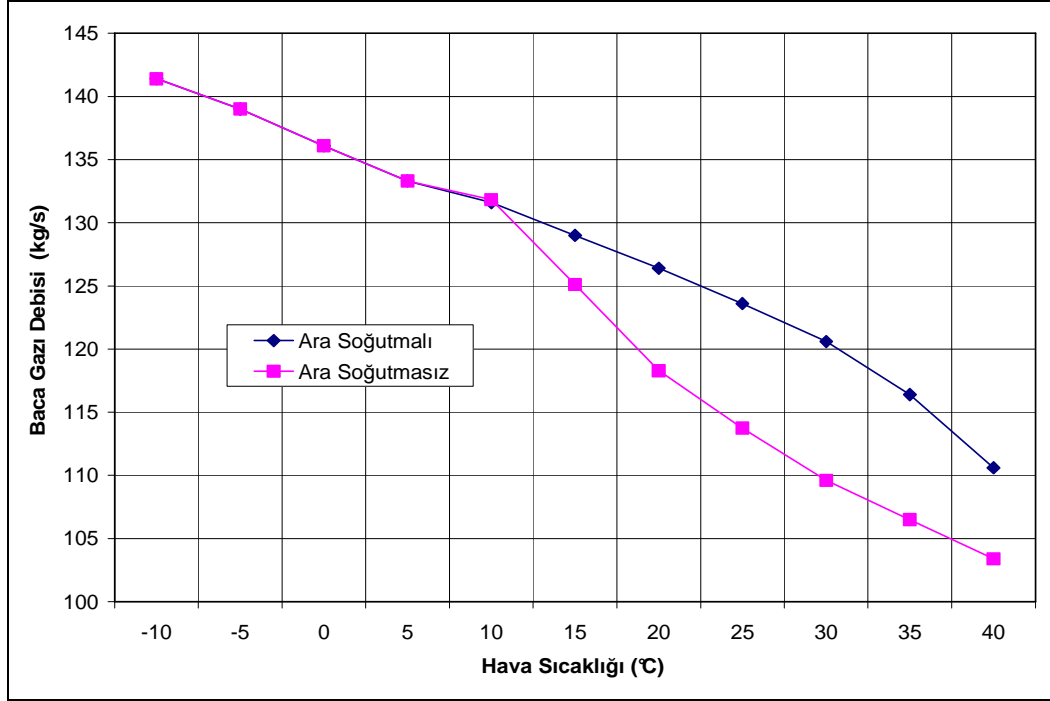


Şekil 6.5 : Hava sıcaklığı değişiminin birim maliyete etkisi.



Şekil 6.6 : Hava sıcaklığı değişiminin baca gazı çıkış sıcaklığına etkisi.

Hava sıcaklığının baca gazı debisine olan etkisi Şekil 6.7’de sunulmuştur. Şekil 6.7’de görüldüğü gibi, baca gazı debisi, hava sıcaklığı artışına bağlı olarak kompresöre giren havanın azalması ile azalır.



Şekil 6.7 : Hava sıcaklığının baca gazı çıkış debisine etkisi

### 6.2.2 Bağlı nem değişiminin tesisin performans parametrelerine etkisi

Farklı sıcaklıklar için bağlı nem analizi yapılırken, CTP modelinin, Şekil 6.1’deki hava giriş özellikleri penceresine değerler girilir.

Farklı sıcaklıklar için bağlı nem analizi sonuçları Çizelge 6.5-6.8’de verilmiştir. Aynı sıcaklıklarda yakıt miktarının değişmediği, gücün ve ısıl verimin değiştiği görülmektedir. Bağlı nem değişimi birleşik çevrim üzerinde ihmal edilebilecek kadar az değişim yaptığından, bağlı nem değişiminin sadece Brayton çevrimine olan etkisi incelenmiştir.

Bağlı nem analizi, CTP modelinde %20 ile %100 bağlı nem arasında incelenmiştir. İlgili çizelgelerde, ara soğutma yapılması hali veya yapılmaması haline göre; gaz türbin gücü, yakıt miktarı ve ısıl verim verilmiştir. Bağlı nem, %20 den %100’e gelene kadar güçte 1,5 MW kadar azalma meydana gelmiştir. Bağlı nemin azalması elektrik gücü üretimini arttırmakta, bağlı nemin artması ise elektrik gücü üretimini azaltmaktadır.

**Çizelge 6.5 : -10°C hava sıcaklığı için bağıl nem analizi sonuçları.**

	Bağıl Nem	Güç (AS)	Güç	Yakıt Isıl Gücü (AS)	Yakıt Isıl Gücü	Isıl Verim (AS)	Isıl Verim
°C	%	kW	kW	kW	kW	%	%
-10	20	51.636,5	51.636,5	122.018,9	122.018,9	42,32	42,32
-10	30	51.377,1	51.377,1	122.018,9	122.018,9	42,11	42,11
-10	40	51.083,3	51.083,3	122.018,9	122.018,9	41,87	41,87
-10	50	50.760,6	50.760,6	122.018,9	122.018,9	41,60	41,60
-10	60	50.465,6	50.465,6	122.018,9	122.018,9	41,36	41,36
-10	70	50.195,5	50.195,5	122.018,9	122.018,9	41,14	41,14
-10	80	49.876,2	49.876,2	122.018,9	122.018,9	40,88	40,88
-10	90	49.580,5	49.580,5	122.018,9	122.018,9	40,63	40,63
-10	100	49.285,1	49.285,1	122.018,9	122.018,9	40,39	40,39

**Çizelge 6.6 : 0°C hava sıcaklığı için bağıl nem analizi sonuçları.**

	Bağıl Nem	Güç (AS)	Güç	Yakıt Isıl Gücü (AS)	Yakıt Isıl Gücü	Isıl Verim (AS)	Isıl Verim
°C	%	kW	kW	kW	kW	%	%
0	20	49.824,9	49.824,9	119.705,3	119.705,3	41,62	41,62
0	30	49.786,0	49.786,0	119.705,3	119.705,3	41,59	41,59
0	40	49.747,5	49.747,5	119.705,3	119.705,3	41,56	41,56
0	50	49.687,2	49.687,2	119.705,3	119.705,3	41,51	41,51
0	60	49.404,3	49.404,3	119.705,3	119.705,3	41,27	41,27
0	70	49.145,2	49.145,2	119.705,3	119.705,3	41,06	41,06
0	80	48.838,9	48.838,9	119.705,3	119.705,3	40,80	40,80
0	90	48.555,3	48.555,3	119.705,3	119.705,3	40,56	40,56
0	100	48.271,9	48.271,9	119.705,3	119.705,3	40,33	40,33

**Çizelge 6.7 : 15°C hava sıcaklığı için bağıl nem analizi sonuçları.**

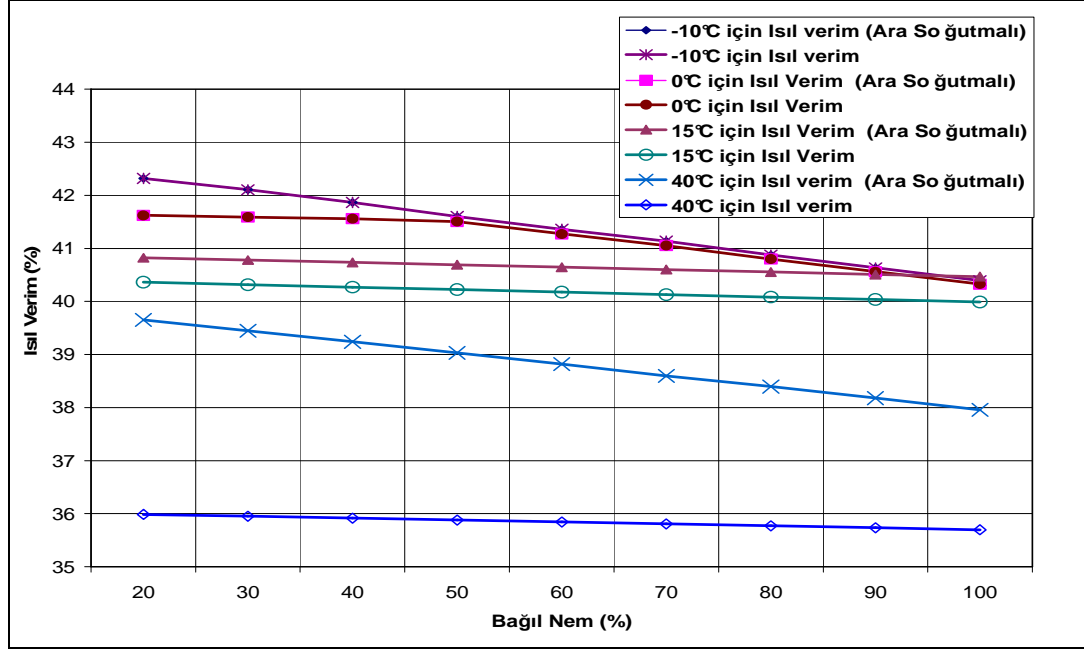
°C	Bağıl Nem %	Güç (AS) kW	Güç kW	Yakıt Isıl Gücü (AS) kW	Yakıt Isıl Gücü kW	Isıl Verim (AS) %	Isıl Verim %
15	20	46.201,5	43.197,4	113.174,2	107.019,7	40,82	40,36
15	30	46.153,0	43.147,1	113.174,2	107.019,7	40,78	40,32
15	40	46.103,5	43.096,9	113.174,2	107.019,7	40,74	40,27
15	50	46.052,3	43.046,7	113.174,2	107.019,7	40,69	40,22
15	60	46.000,4	42.996,4	113.174,2	107.019,7	40,65	40,18
15	70	45.949,0	42.946,9	113.174,2	107.019,7	40,60	40,13
15	80	45.897,0	42.896,5	113.174,2	107.019,7	40,55	40,08
15	90	45.844,9	42.845,9	113.174,2	107.019,7	40,51	40,04
15	100	45.799,6	42.798,5	113.174,2	107.019,7	40,47	39,99

**Çizelge 6.8: 40°C hava sıcaklığı için bağıl nem analizi sonuçları.**

°C	Bağıl Nem %	Güç (AS) kW	Güç kW	Yakıt Isıl Gücü (AS) kW	Yakıt Isıl Gücü kW	Isıl Verim (AS) %	Isıl Verim %
40	20	36.314,5	31.828,5	91.580,5	88.446,1	39,65	35,99
40	30	36.124,2	31.797,5	91.580,5	88.446,1	39,45	35,95
40	40	35.935,8	31.766,8	91.580,5	88.446,1	39,24	35,92
40	50	35.745,4	31.735,5	91.580,5	88.446,1	39,03	35,88
40	60	35.551,2	31.703,5	91.580,5	88.446,1	38,82	35,84
40	70	35.347,1	31.671,0	91.580,5	88.446,1	38,60	35,81
40	80	35.161,7	31.638,3	91.580,5	88.446,1	38,39	35,77
40	90	34.963,0	31.605,8	91.580,5	88.446,1	38,18	35,73
40	100	34.762,6	31.571,7	91.580,5	88.446,1	37,96	35,70

Ortamın hava sıcaklığı azaldıkça, bağıl nemin etkisinin arttığı Şekil 6.8’de gösterilmektedir. 0°C ve altındaki sıcaklık derecelerinde, %20 bağıl nem ile %100 bağıl nem arasındaki ısı verim farkı gücün değişimi ile birlikte önemli ölçüde artmıştır. Yüksek sıcaklıklarda, bağıl nemin etkisinin daha az olacağı Şekil 6.8’de görülmektedir.

Şekil 6.8’de, bağıl nemin %50’nin altına düşmesi ile, 0°C ve -10°C sıcaklık eğrileri birbirinden uzaklaşmaya başlamaktadır. Sıcaklık arttıkça, ara soğutma yapılan hal ile yapılmayan hal arasındaki verim farkı da artmaktadır.



**Şekil 6.8 :** Atmosferik hava sıcaklıkları için, havanın bağıl nem değişiminin tesisin ısı verimine etkisi.

Şekil 6.9’da bağıl nem, en yüksek noktaya ulaştığında farklı sıcaklıklar için (özellikle 15°C sıcaklığa kadar) ısı verimleri aynı noktaya yaklaşmaktadır. Bu durum bize, farklı hava sıcaklıklarının yarattığı verim farkının, bağıl nem değerlerinin farklı olması ile kapanabileceğini veya daha da açılabilceğini göstermektedir. Örneğin; 15°C hava sıcaklığında, düşük bağıl nemli bir hava şartı ile, -10°C hava sıcaklığında, yüksek bağıl nemli bir hava şartının, verimleri arasındaki fark azalacaktır.

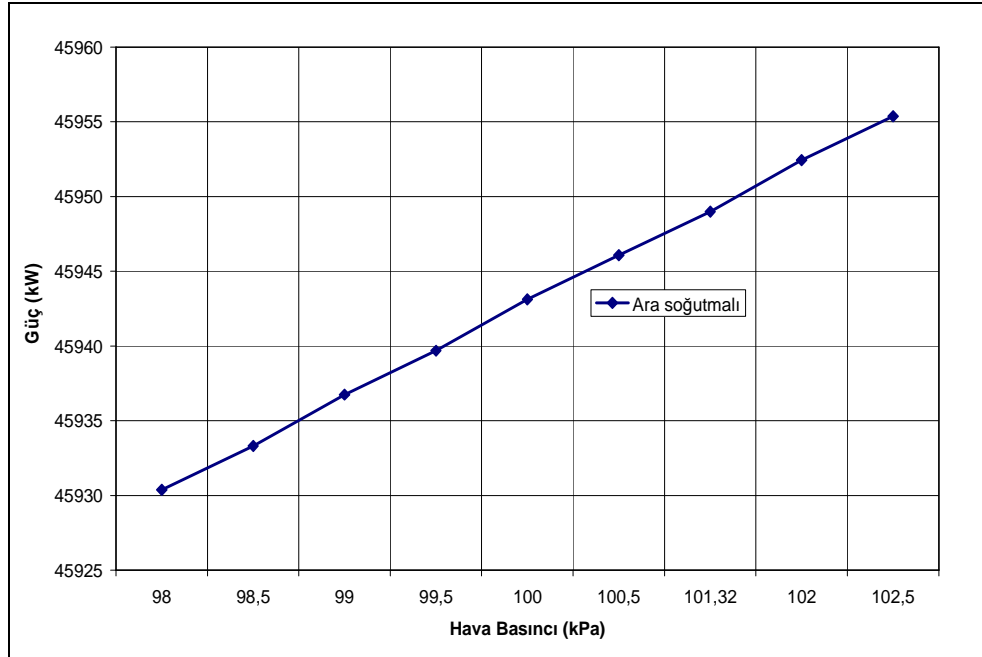
### 6.2.3 Hava basıncı değişiminin tesisin performans parametrelerine etkisi

Hava basıncı değişimi, bağıl nem analizinde olduğu gibi, Şekil 6.1’de gösterilen CTP’nin gaz türbini hava girişi özellikleri penceresine girilerek, basınç değiştirilerek yapılır. Hava basıncı değişimlerinin de tıpkı bağıl nem analizinde olduğu gibi, birleşik çevrime (sabit yoğunlaştırıcı basıncı için) etkisi düşük olduğundan, hava basıncı değişiminin etkisi sadece Brayton çevrimi için incelenmiştir. Hava basıncının değişiminin, ara soğutma olması durumunda gaz türbini gücüne, yakıt ısı gücüne ve tesisin ısı verimine olan etkileri, Çizelge 6.9’da verilmiştir.

**Çizelge 6.9 :** Farklı hava basınçları için bağıl nemin, ara soğutma olması halinde gaz türbini gücünün, yakıt ısıl gücünün ve gaz türbini çevriminin ısıl veriminin incelenmesi.

Hava Basıncı	Bağıl Nem	Güç	Yakıt Isıl Gücü	Isıl Verim
kPa	%	kW	kW	%
98,0	71,2	45.930,4	113.174,2	40,58
98,5	71,0	45.933,3	113.174,2	40,59
99,0	70,8	45.936,8	113.174,2	40,59
99,5	70,6	45.939,7	113.174,2	40,59
100,0	70,4	45.943,1	113.174,2	40,60
100,5	70,1	45.946,1	113.174,2	40,60
101,32	70,1	45.949,0	113.174,2	40,60
102,0	70,0	45.952,4	113.174,2	40,60
102,5	69,7	45.955,4	113.174,2	40,61

Hava basıncı değiştikçe bağıl nem de değişmektedir. Bu durum, ısıl verim ve gücü etkiler. Hava basıncı değişiminin incelenmesinde, Brayton çevriminde yakılan yakıtın miktarı ise sabit kalmıştır. Şekil 6.9'da görüldüğü gibi, 15°C sıcaklıkta ve sabit sıkıştırma oranında, hava basıncı arttıkça gaz türbini gücü de artmaktadır.



**Şekil 6.9 :** 15°C sıcaklıkta hava basıncı değişiminin gaz türbini gücüne etkisi

#### 6.2.4 Farklı yüklerde çalışmanın tesisin performans parametrelerine etkisi

CTP modeli, dört farklı sıcaklık değeri için beş farklı yükte incelenmiştir. Yük oranlaması, gaz türbininin gücüne göre yapılmıştır. Buhar türbin gücü, gaz türbin gücü, satılan buharın elektrik eşdeğeri, giriş hava debisi, yakıt ısı gücü, Brayton çevrimi ısı verimi ve birleşik çevrimin yararlanma oranı hesap sonuçları Çizelge 6.10-6.13'de incelenmiştir. Buhar türbini, buhar akışının azalması veya buhar sıcaklığının azalması ile durdurulur.

**Çizelge 6.10 :** -10°C sıcaklıkta farklı yük oranları için buhar türbini gücü, gaz türbini gücü, satılan buharın elektrik eşdeğeri, giriş havası debisi, yakıt ısı gücü, ısı verim ve yararlanma oranının incelenmesi sonuçları.

	Buhar Türbin Gücü	Gaz Türbin Gücü	Satılan Buharın Elektrik Eşdeğeri	Giriş Hava Debisi	Yakıt Isıl Gücü	Brayton Çevrimi Isıl Verimi	Birleşik Çevrim için Yararlanma Oranı
%	kW	kW	kW	kg/s	kW	%	%
100	6.661	50.196	5.232	137	122.019	41,14	50,88
75	5.006	37.647	3.953	103	91.513	41,14	50,93
50	3.299	25.098	2.634	69	61.009	41,14	50,86
25	0	12.549	0	34	30.504	41,14	41,14
0	0	0	0	0	0	0	0,00

**Çizelge 6.11 :** 0°C sıcaklıkta farklı yük oranları için buhar türbini gücü, gaz türbini gücü, satılan buharın elektrik eşdeğeri, giriş havası debisi, yakıt ısı gücü, ısı verim ve yararlanma oranının incelenmesi sonuçları.

	Buhar Türbin Gücü	Gaz Türbin Gücü	Satılan Buharın Elektrik Eşdeğeri	Giriş Hava Debisi	Yakıt Isıl Gücü	Brayton Çevrimi Isıl Verimi	Birleşik Çevrim için Yararlanma Oranı
%	kW	kW	kW	kg/s	kW	%	%
100	6.917	49.145	5.430	132	119.705	41,05	51,37
75	5.160	36.859	4.072	99	89.778	41,06	51,34
50	3.415	24.573	2.724	66	59.851	41,06	51,31
25	0	12.286	0	33	29.927	41,05	41,05
0	0	0	0	0	0	0	0,00

**Çizelge 6.12 :** 15°C sıcaklıkta farklı yük oranları için buhar türbini gücü, gaz türbini gücü, satılan buharın elektrik eşdeğeri, giriş havası debisi, yakıt ısı gücü, ısı verim ve yararlanma oranının incelenmesi sonuçları.

	Buhar Türbin Gücü	Gaz Türbin Gücü	Satılan Buharın Elektrik Eşdeğeri	Giriş Hava Debisi	Yakıt Isıl Gücü	Brayton Çevrimi Isıl Verimi	Birleşik Çevrim için Yararlanma Oranı
%	kW	kW	kW	kg/s	kW	%	%
100	6.734	45.949	5.288	125	113.174,1	40,60	51,22
75	5.108	34.462	4.033	95	85.907,2	40,12	50,76
50	3.464	22.975	2.762	64	58.616,7	39,19	49,82
25	0	11487	0	35	31.371,6	36,62	36,62
0	0	0	0	0	0,0	0,00	0,00

**Çizelge 6.13 :** 40°C sıcaklıkta farklı yük oranları için buhar türbini gücü, gaz türbini gücü, satılan buharın elektrik eşdeğeri, giriş havası debisi, yakıt ısı gücü, ısı verim ve yararlanma oranının incelenmesi sonuçları.

	Buhar Türbin Gücü	Gaz Türbin Gücü	Satılan Buharın Elektrik Eşdeğeri	Giriş Hava Debisi	Yakıt Isıl Gücü	Brayton Çevrimi Isıl Verimi	Birleşik Çevrim için Yararlanma Oranı
%	kW	kW	kW	kg/s	kW	%	%
100	6.075	35.348	4.779	107	91.580,4	38,60	50,45
75	4.647	26.511	3.676	82	70.298,8	37,71	49,55
50	3.228	17.674	2.579	57	49.018,2	36,06	47,90
25	0	8.837	0	32	27.736,2	31,86	31,86
0	0	0	0	0	0,0	0	0,00

Çizelge 6.11-6.13'de görüldüğü gibi, hava sıcaklığı azaldıkça, yük değişimlerinde de verim kaybı azalmaktadır. 40°C sıcaklığında Brayton çevrimi ısı verimi değişimi, yük değişimi ile belirgin olarak değişirken, -10°C sıcaklığında Brayton çevrimi ısı verimi yük değişimi ile belirgin olarak değişmemektedir.

Sistemin, gaz türbininin yük değişimine göre olarak incelenmesi Çizelge 6.14-6.16'da verilmiştir.



**Çizelge 6.14 : %75 yük için hava sıcaklığı değişiminin etkisi.**

Sıcaklık	Gaz Türbin Gücü	Buhar Türbin Gücü	Satılan Buharın Elektrik Eşdeğeri	Toplam Santral Gücü	Birleşik Çevrim Isı-Güç Oranı	Yakıt Isıl Gücü	Brayton Çevrimi Isı-Güç Oranı
°C	kW	kW	kW	kW	kcal/kWh	kW	kcal/kWh
-10	37.647	5.006	3.953	46.606	1.689	91.513	2.091
0	36.859	5.159	4.072	46.090	1.675	89.778	2.095
15	34.462	5.108	4.033	43.603	1.694	85.907	2.144
40	26.511	4.647	3.676	34.834	1.736	70.299	2.280

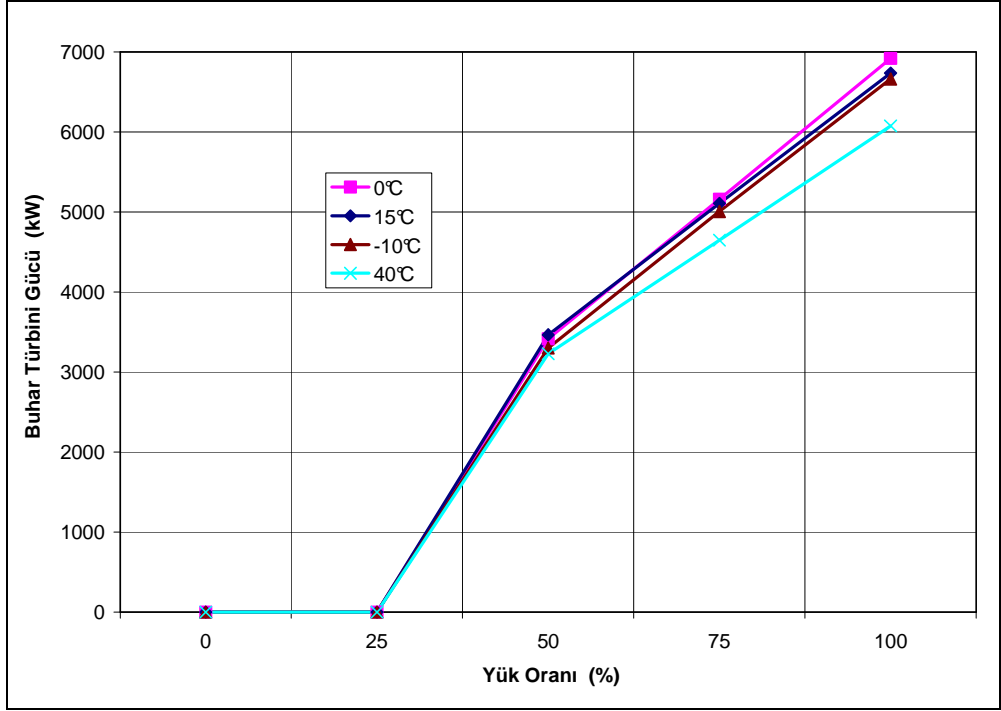
**Çizelge 6.15 : %50 yük için, hava sıcaklığı değişiminin etkisi.**

Sıcaklık	Gaz Türbin Gücü	Buhar Türbin Gücü	Satılan Buharın Elektrik Eşdeğeri	Toplam Santral Gücü	Birleşik Çevrim Isı-Güç Oranı	Yakıt Isıl Gücü	Brayton Çevrimi Isı-Güç Oranı
°C	kW	kW	kW	kW	kcal/kWh	kW	kcal/kWh
-10	25.098	3.299	2.634	31.031	1.691	61.009	2.091
0	24.573	3.415	2.724	30.712	1.676	59.851	2.095
15	22.975	3.464	2.762	29.201	1.726	58.617	2.194
40	17.674	3.228	2.579	23.480	1.795	49.018	2.385

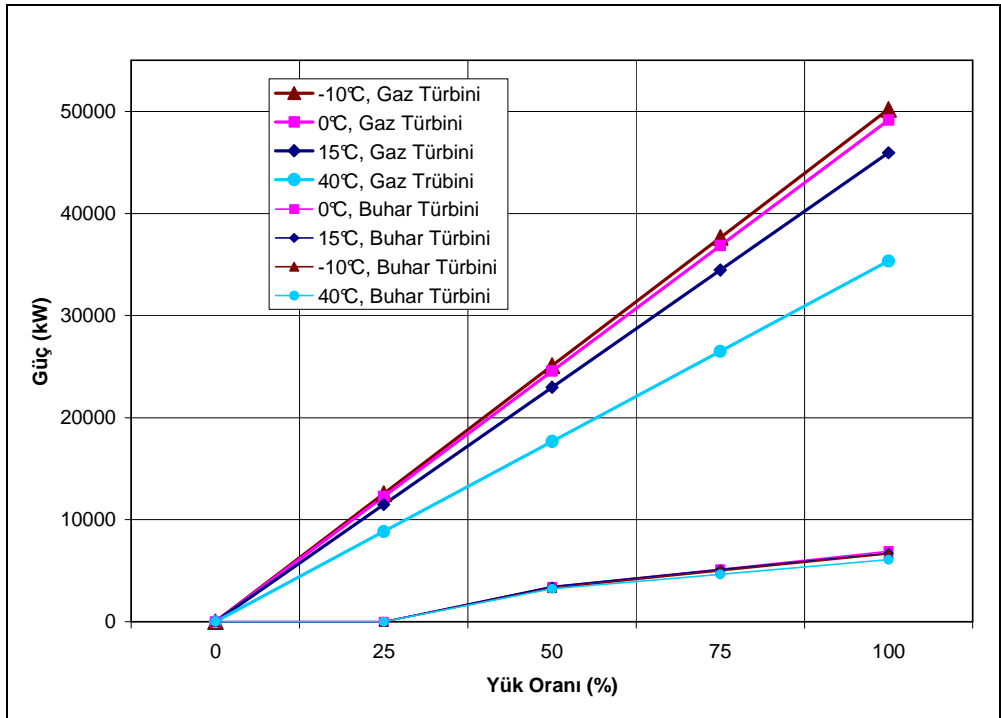
**Çizelge 6.16 : %25 yük için, hava sıcaklığı değişiminin etkisi.**

Sıcaklık	Gaz Türbin Gücü	Buhar Türbin Gücü	Satılan Buharın Elektrik Eşdeğeri	Toplam Santral Gücü	Birleşik Çevrim Isı-Güç Oranı	Yakıt Isıl Gücü	Brayton Çevrimi Isı-Güç Oranı
°C	kW	kW	kW	kW	kcal/kWh	kW	kcal/kWh
-10	12.549	0	0	12.549	2.091	30.504	2.091
0	12.286	0	0	12.286	2.095	29.927	2.095
15	11.487	0	0	11.487	2.349	31.372	2.349
40	8.837	0	0	8.837	2.699	27.736	2.699

Şekil 6.10'da, değişik yükler için buhar türbin gücünün değişimi verilmiştir. Şekil 6.11'de, değişik yükler için buhar ve gaz türbin güçlerinin değişimi verilmiştir. İnceleme sonucunda görüldüğü gibi, gaz türbini %25 yükün altına indiğinde AIBÜ'de yeterli buhar üretilmediği için müşteriye buhar satışı yapılmaz ve buhar türbini devreye alınmaz.

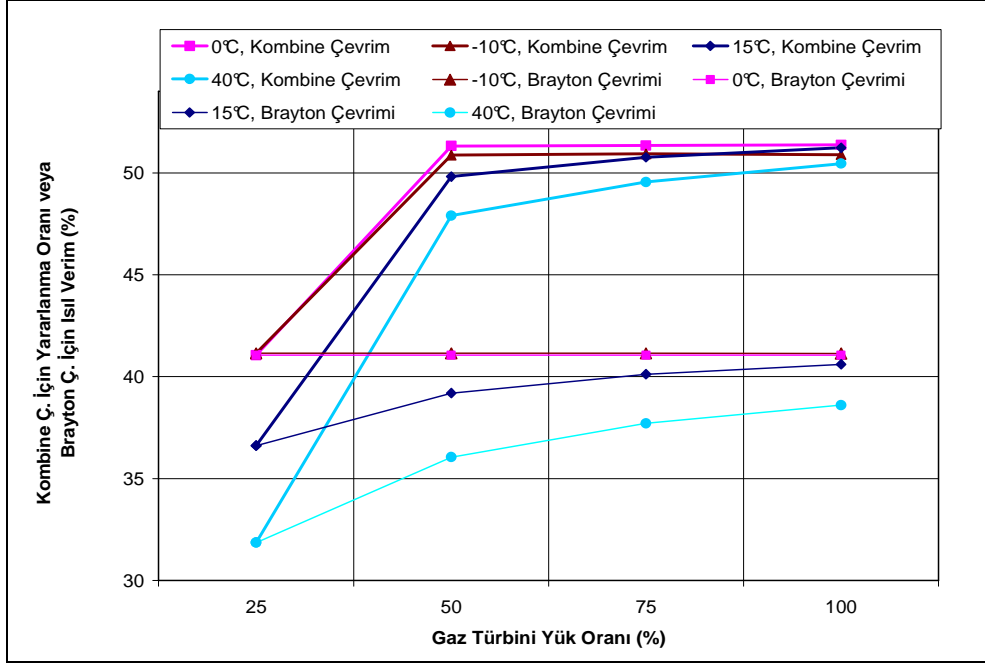


Şekil 6.10 : Farklı yükler için buhar türbin gücü değişimi.

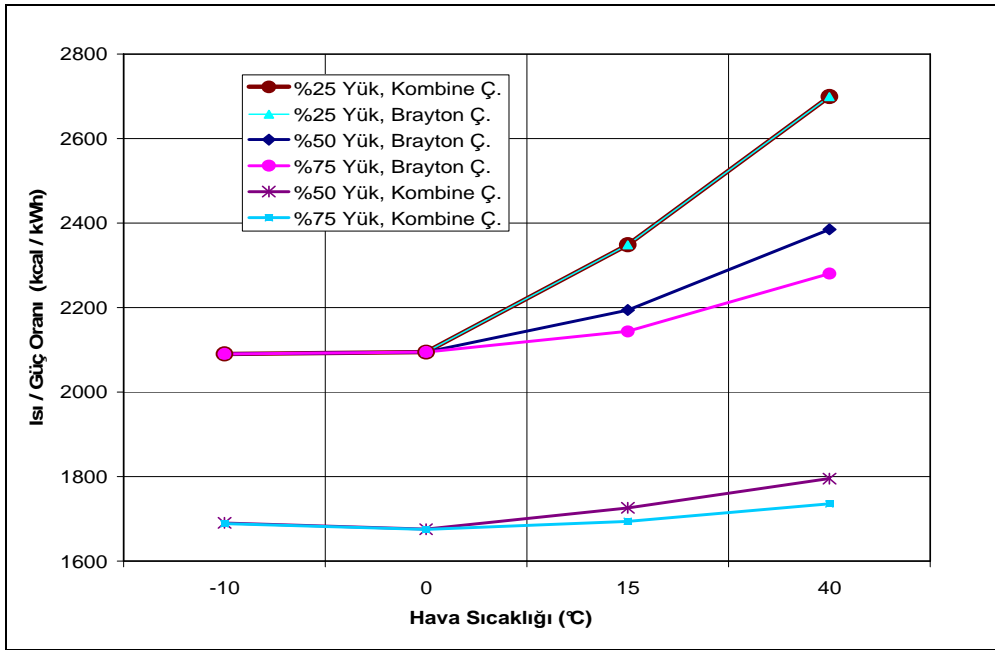


Şekil 6.11 : Farklı yükler için buhar ve gaz türbin güçlerinin değişimi.

Isıl verim yük oranı arttıkça yükselmektedir. Bununla birlikte düşük hava sıcaklığında, yük oranı azaldıkça verimdeki azalış miktarı daha düşük olmaktadır. Bu durum, Şekil 6.12’de verilmiştir. Isı-güç oranının, hava sıcaklığı ve değişik yüklerle bağlı değişimi Şekil 6.13’de verilmiştir.



Şekil 6.12 : Farklı yük oranları için gaz türbini çevriminin ısı verim değişimi.

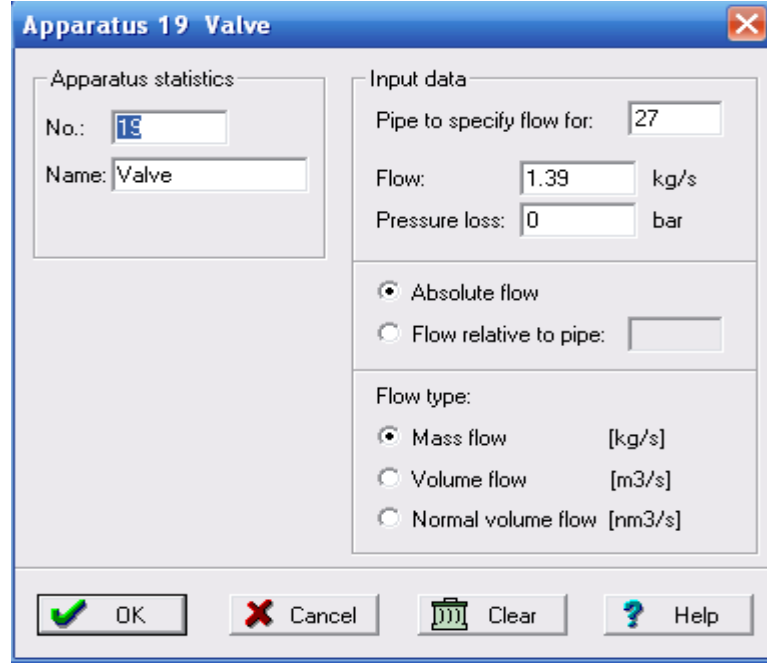


Şekil 6.13 : Farklı yüklerde, ısı güç oranının hava sıcaklığıyla değişimi.

Şekil 6.13'e göre genel olarak ısı-güç oranları, hava sıcaklığı arttıkça artmakta ve yük oranı yükseldikçe düşmektedir. Yüksek hava sıcaklıklarında, ısı-güç oranlarının eğrileri arasındaki fark ise artmaktadır.

## 6.2.5 Buhar türbininden çekilen buharın miktarına bağlı olarak değişiminin incelenmesi

CTP modelinde, buhar türbini üzerinde bulunan ve Şekil 6.14'de ayarlama penceresi gösterilen sabit vana, ayarlama yapılarak çekilen ara buhar miktarı değiştirilebilir.



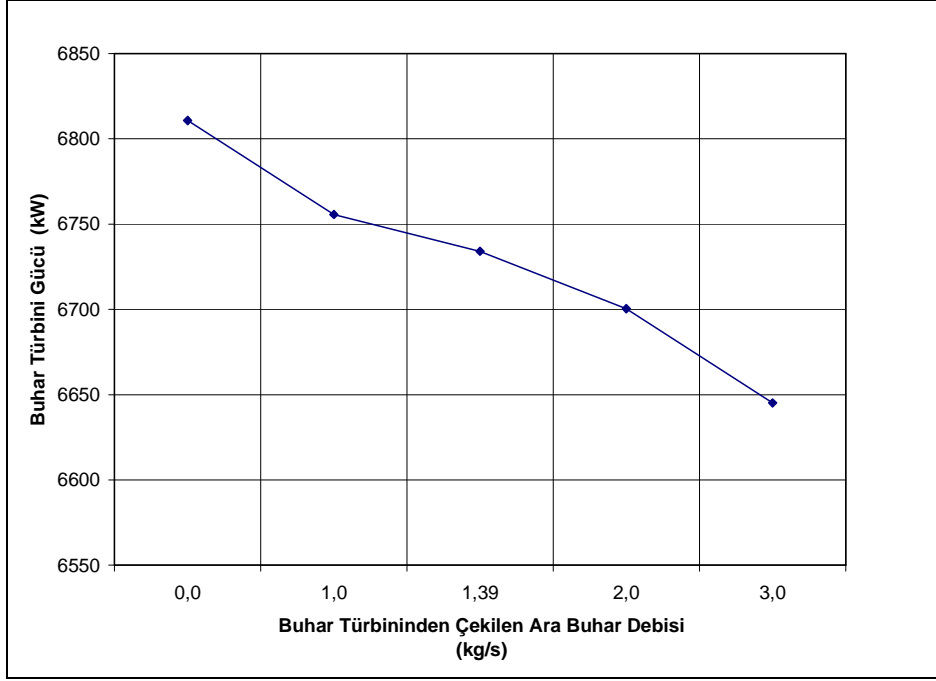
Şekil 6.14 : Buhar türbini ara buhar çekişi için vana ayar ekranı.

Gaz türbininin tam yükte olması halinde ve %70 atmosferik bağıl nem için çekilen ara buhar debisine göre buhar türbini gücü Çizelge 6.17 oluşturulmuştur.

Çizelge 6.17 : Çekilen ara buhar debisine göre buhar türbini gücü.

Çekilen Buhar Debisi	kg/s	0	1	1,39	2	3
Buhar Türbini Gücü	kW	6810,8	6755,6	6734,1	6700,4	6645,2

Buhar türbininden, değişik miktarlarda ara buhar çekimi yapıldığında, buhar türbin gücü Şekil 6.15'deki gibi değişmektedir.



**Şekil 6.15** : Farklı ara buhar çekişlerinin güç değişimine etkisi.

### 6.3 Öneriler

Ortam hava şartlarının, yük faktörünün ve ara soğutmanın birleşik çevrimli kojenerasyon tesisinin performansına etkileri önceki bölümlerde sunulmuştur. Meteorolojik şartların güç santrallerinde, tesisin performansına önemli bir etkisi vardır. Yeni tesislerin kurulumu sırasında, tesisin kurulacağı bölgenin meteorolojik şartları dikkate alınmalıdır.

Literatür araştırmasında belirtildiği gibi bilgisayar programı kullanılarak çok geniş bir alanda termodinamik analiz yapılabilmektedir. ENTEK E.Ü.A.Ş. Bursa Doğalgaz Kojenerasyon Tesisi için; meteorolojik şartların değişmesinin, buhar türbini yoğuşturucu performansına olan etkisi incelenebilir. CTP modeline birden çok gaz türbininin ve buhar türbininin eklenmesi ile dinamik analiz yapılması bu çalışmanın devamı olarak yapılabilir.

## KAYNAKLAR

- [1] **Palestra, N., Barigozzi, G. and Perdichizzi, A.**, 2007: Inlet air cooling applied to combined cycle power plants: Influence of site climate and thermal storage systems. *ASME Turbo Expo*. GT2007-27046. 735-751.
- [2] **Palestra, N., Barigozzi, G. and Perdichizzi, A.**, 2008 GT Inlet air boosting and cooling coupled with cold thermal storage in combined cycle power plants. *ASME Turbo Expo*. GT2008-51061.
- [3] **Colonna, P. and Van Putten, H.**, 2007: Dynamic modeling of steam power cycles. Part I: Modeling paradigm and validation. *Appl. Therm. Eng.* **27**, 467-480.
- [4] **Van Putten, H. and Colonna, P.**, 2007: Dynamic modeling of steam power cycles. Part II: Simulation of a small simple Rankine cycle system. *Appl. Therm. Eng.* **27**, 2566-2582.
- [5] **Dincer, I. and Al-Muslim, H.**, 2001: Thermodynamic analysis of reheat cycle steam power plants. *Int. J. Energy Res.* **25**, 727-739.
- [6] **Lee, P.E.A van der, Terlaky, T. and Woudstra, T.**, 2001: A new approach to optimizing energy systems. *Comput. Methods Appl. Mech. Engrg.* **190**, 5297-5310.
- [7] **Cetin, B.**, 2005: The effect of gas turbine design parameters on cost of electricity for combined cycle systems. *Journal of Engineering and Natural Sciences*, **3**, 34-47.
- [8] **Durmayaz, A. ve Sögüt, O. S.**, 2006: Influence of cooling water temperature on the efficiency of a pressurized-water reactor nuclear-power plant. *Int. J. of Energy*; **30**, 799-810.
- [9] **Durmayaz, A.**, 2006. Soğutma suyu sıcaklığının bir basınçlı su reaktörü nükleer güç tesisinin ısıl verimine etkisi. *Sürdürülebilir Kalkınma İçin Nükleer Enerjinin Önemi Çalıştayı, Türkasya Stratejik Araştırmalar Merkezi (TASAM)*, , Conrad Hotel, İstanbul, Temmuz 27.
- [10] **Chiesa, P. and Macchi, E.**, 2004: A thermodynamic analysis of different options to break 60% electric efficiency in combined cycle power plants. *Transactions of the ASME* **770**. Vol. 126, no. 4, 770-785.
- [11] **Khan, J. R.**, 2008: Modeling and optimization of a novel pressurized CHP system with water extraction and refrigeration. *Int. J. Energy Res.*. Vol 32, no.8, 735-751.
- [12] **Correas, L., Martinez, A. and Valero, A.**, 1999: Operation diagnosis of a combined cycle based on the structural theory of thermoeconomics. *ASME-IMECE*, Nashville, TE.
- [13] **Çengel, Y. and Boles, M. A.**, 2002: Thermodynamics an engineering approach. Mc Graw Hill, 4<sup>th</sup> Edition, Boston, USA.

- [14] **Arpacı, İ. and Binark, A. K.**, 2002: Doğal gaz kojenerasyon sistemlerinde ekserji analizi. *7<sup>th</sup> International Combustion Symposium*. Ankara, July 17-18.
- [15] **Zaporowski, B. and Szczerbowski, R.**, 2003: Exergy analysis of atechnological systems of natural gas fired combined heat and power plant. *Applied Energy*. **75**, 43-50.
- [16] **Arrieta, F. R. P. and Lora, E. E. S.**, 2005: Influence of ambient temperature on combined-cycle power plant performance. *Applied Energy*. **80**, 261-272.
- [17] **Bathie, W. W.**, 1996: Fundamentals of gas turbines. Second Edition, Wiley, New York.
- [18] **Bhargava, R., Bianchi, M., Peretto, A. and Spina P.R.**, 2004: A fisibility study of existing gas turbines for recuperated intercooled and reheat cycle. *J. Eng. Gas Turbines Power*. Vol. **126**, no. 3, 531.
- [19] **Bhargava, R., and Meher-Homji, C. M.**, 2002: Parametric analysis of existing gas turbine with inlet evaporative and over spray fogging. *ASME TURBO EXPO*, Amsterdam, June 3-6.
- [20] **Beyne, A.**, 2002: Combined heat and power sizing metedology. *ASME TURBO EXPO 2002*, Amsterdam, June 3-6.
- [21] **Nixdorf, M., Prelipceanu, A. and Hein, D.**, 2002: Thermo economic analysis of inlet air conditioning methods. *ASME TURBO EXPO*, Amsterdam, June 3-6.
- [22] **Erdem, H. H., Sevilgen, S. H., Akkaya, A. V. ve Dağdaş, A.**, 2003: Gaz türbinli sistemlerde çevre sıcaklığının performans etkisi. *14. Ulusal Isı Bilimi ve Tekniği Kongresi, ULIBTK'03*, Isparta, Eylül 3-5.
- [23] **Erdil, A. ve Yılmaz, T.**, 2002: Kojenerasyon sistemlerinin alternatif performans kriterlerine göre incelenmesi. *7<sup>th</sup> International Combustion Symposium*, Ankara, July 17-18.
- [24] **Khan, J. R.**, 2001: Characteristic of trasient operation of a dual-pressure bottoming system for combined cycle power plant. *Energy*. **26**, 905-918.
- [25] **Göğüş, Y. A. and Ataer, Ö. E.**, 1998: Thermal power generation considering periodic change of environment temperature. *NATO ASI on Thermodynamics and the Optimization of Complex Energy Systems*. Constantza, Romania, July 13-24.
- [26] **Serova, E. N. ve Brodianski, V. M.**, 2004: The concept “environment” in exergy analiysis: Some special cases. *Energy*. **29**, 2397-2401.
- [27] **Kwak, H. Y., Kim, D. J., and Jeon, J. S.**, 2003: Eksergetic and thermo economic analyses of power plants. *Energy*. **28**, 343
- [28] **Stewart-Stevenson Project Services**, 1998: ENTEK A.S. Bursa Cogeneration Project Heat Balance MHB-704 M (A1). *Energy Services INC.*, A Connecticut Corp. Farmington, Connecticut.
- [29] <[http://en.wikipedia.org/wiki/General\\_Electric\\_LM6000](http://en.wikipedia.org/wiki/General_Electric_LM6000) (GE LM 6000 product brochure)>, alındığı tarih 7.11.2008

- [30] <[http://en.wikipedia.org/wiki/General\\_Electric\\_LM6000](http://en.wikipedia.org/wiki/General_Electric_LM6000)>, alındığı tarih 7.11.2008
- [31] <[www.siemens.com.tr/i/assets/santral\\_maraton.png](http://www.siemens.com.tr/i/assets/santral_maraton.png)>, alındığı tarih 7.11.2008
- [32] <[http://www.power.alstom.com/home/equipment\\_\\_\\_systems/boilers/heat\\_recovery\\_steam\\_generators/once\\_through\\_hrsrg/\\_files/Midlothian2,1.jpg](http://www.power.alstom.com/home/equipment___systems/boilers/heat_recovery_steam_generators/once_through_hrsrg/_files/Midlothian2,1.jpg)>, alındığı tarih 7.11.2008
- [33] <[http://www.tic.toshiba.com.au/heat\\_recovery\\_steam\\_generator/](http://www.tic.toshiba.com.au/heat_recovery_steam_generator/)>, alındığı tarih 7.11.2008
- [34] **ENTEK E.Ü.A.Ş.**, (2008): Şirket içi dosya No: 231.
- [35] **Cycle-Tempo release 5.0**, 2006: Delft University of Technology <[www.cycle-tempo.nl](http://www.cycle-tempo.nl)>

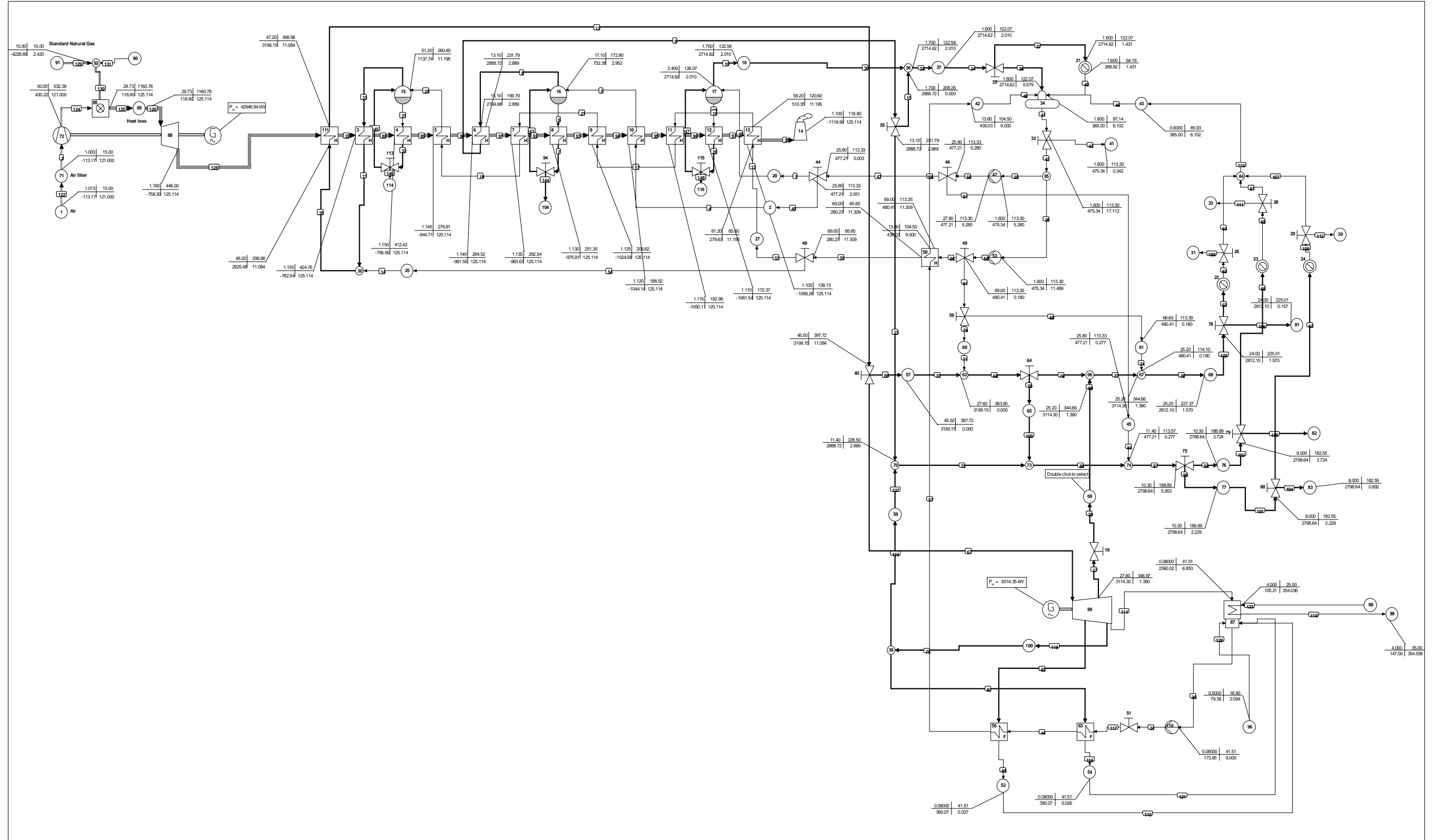




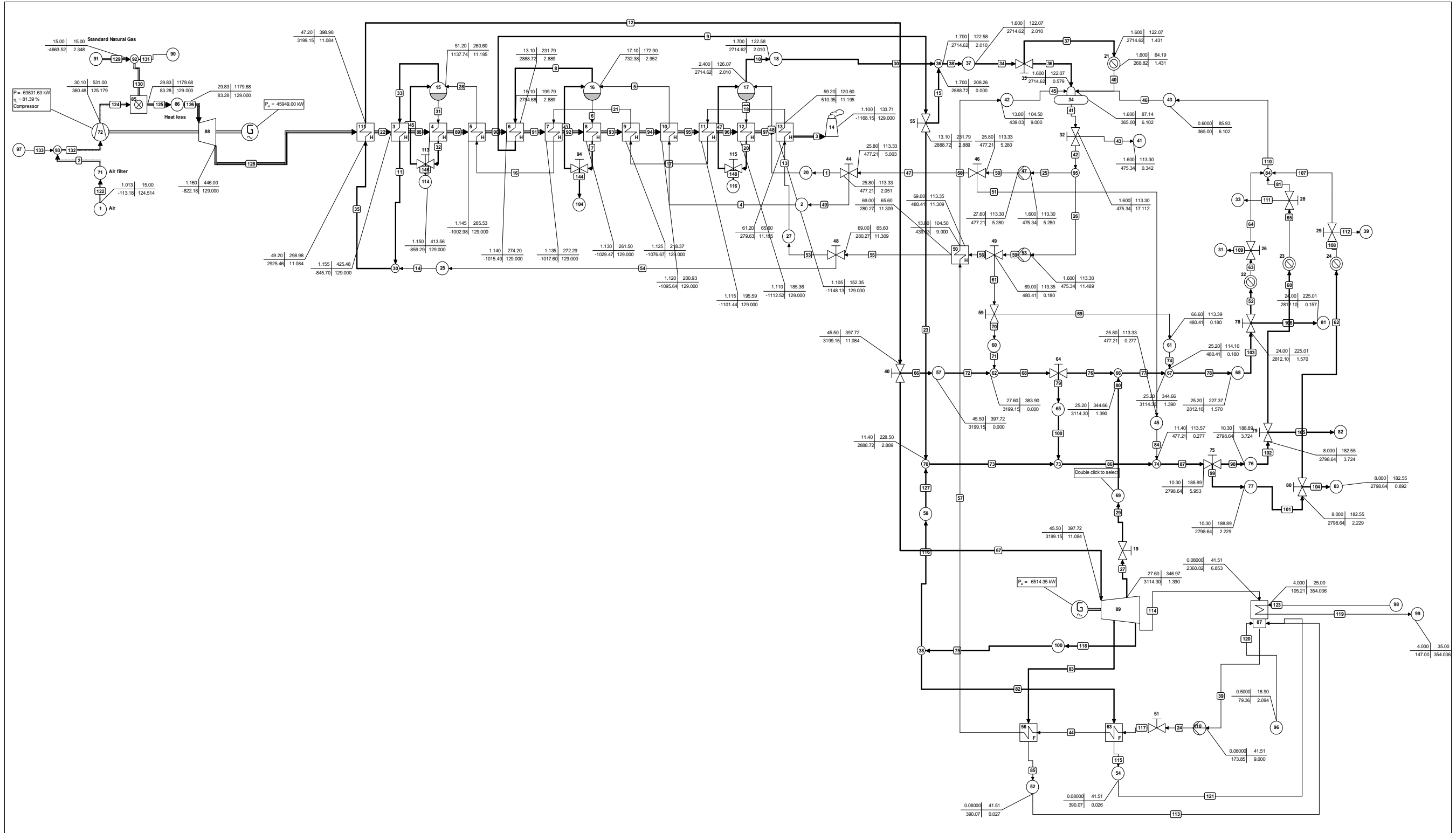
## **EKLER**

- EK A.1 :** Ara soğutma yapılmaması durumunda Cycle-Tempo Programında oluşturulan model.
- EK A.2 :** Ara soğutma yapılması durumunda Cycle-Tempo Programında oluşturulan model.
- EK B.1 :** Ara soğutma yapılmayan CTP modelinde CTP'ye değer girişleri
- EK B.2 :** Ara soğutma yapılan CTP modelinde CTP'ye değer girişleri
- EK C.1 :** Ara soğutma yapılmaması durumunda tüm borulardaki akışkanların termodinamik özellikleri
- EK C.2 :** Ara soğutma yapılması durumunda tüm borulardaki akışkanların termodinamik özellikleri





Şekil A.1 : Ara soğutma yapılmaması durumunda Cycle-Tempo Programında oluşturulan model.



Şekil A.2 : Ara soğutma yapılmaması durumunda Cycle-Tempo Programında oluşturulan model.

**Çizelge A.1:** Ara soğutma yapılmayan CTP modelinde CTP'ye değer girişleri

Tür	Girdiler
Ekipman:	NO=1, TYPE=10, APNAME='Source', POUT= 1.013, TOUT= 15, DELM= -121
Ekipman:	NO=2, TYPE=10, APNAME='Sink/Source', PIN= 25.8, POUT= 19.1, TOUT= 113.9, DELM=0
Ekipman:	NO=3, TYPE=6, APNAME='Heat Exchgr.', DELP1= 2, DELT1= 42.5, DELP2=0.005
Ekipman:	NO=4, TYPE=6, APNAME='Heat Exchgr.', DELP1= 2, DELT1=0, DELP2=0.005
Ekipman:	NO=5, TYPE=6, APNAME='Heat Exchgr.', DELP1= 2, DELT1= 30, DELP2=0.005
Ekipman:	NO=6, TYPE=6, APNAME='Heat Exchgr.', DELP1= 2, DELT1= 32, DELP2=0.005
Ekipman:	NO=7, TYPE=6, APNAME='Heat Exchgr.', DELP1= 2, DELT1= 30, DELP2=0.005
Ekipman:	NO=8, TYPE=6, APNAME='Heat Exchgr.', DELP1= 2, DELT1=0, DELP2=0.005
Ekipman:	NO=9, TYPE=6, APNAME='Heat Exchgr.', DELP1= 2, DELT1= 50, DELP2=0.005
Ekipman:	NO=10, TYPE=6, APNAME='Heat Exchgr.', DELP1= 2, DELT1= 59, DELP2=0.005
Ekipman:	NO=11, TYPE=6, APNAME='Heat Exchgr.', DELP1= 2, DELT1= 30, DELP2=0.005
Ekipman:	NO=12, TYPE=6, APNAME='Heat Exchgr.', DELP1=0.7, DELT1=0, DELP2=0.005
Ekipman:	NO=13, TYPE=6, APNAME='Heat Exchgr.', DELP1= 2, DELT1= 55, DELP2=0.005
Ekipman:	NO=14, TYPE=10, APNAME='Stack', PIN= 1.1
Ekipman:	NO=15, TYPE=15, APNAME='Drum'
Ekipman:	NO=16, TYPE=15, APNAME='Drum'
Ekipman:	NO=17, TYPE=15, APNAME='Drum'
Ekipman:	NO=18, TYPE=10, APNAME='Sink/Source', DELP=0, DELH=0
Ekipman:	NO=19, TYPE=14, APNAME='Valve', DELP=0, PIPE= 27, FLOW= 1.39 kg/s
Ekipman:	NO=20, TYPE=10, APNAME='Sink/Source', DELP= 23.4, DELT=0
Ekipman:	NO=21, TYPE=10, APNAME='Heat Sink', SUBTYP=1, DELP=0, DELM=0, DELH= -2445.8
Ekipman:	NO=22, TYPE=10, APNAME='Heat Sink', SUBTYP=1, DELP= 19.5, TOUT= 130, DELM=0
Ekipman:	NO=23, TYPE=10, APNAME='Heat Sink', SUBTYP=1, DELP= 3.5, TOUT= 130, DELM=0
Ekipman:	NO=24, TYPE=10, APNAME='Heat Sink', SUBTYP=1, DELP= 3.5, TOUT= 85, DELM=0
Ekipman:	NO=25, TYPE=10, APNAME='Sink/Source', PIN= 69, POUT= 49.2, TOUT= 65.6
Ekipman:	NO=26, TYPE=14, APNAME='Valve', DELP=0, PIPE= 64, FLOW= 1 of mass flow in Pipe 63
Ekipman:	NO=27, TYPE=10, APNAME='Sink/Source', DELP= 7.8,

**Çizelge A.1:** (Devam) Ara soğutma yapılmayan CTP modelinde CTP'ye değer girişleri

Tür	Girdiler
	DELT=0, DELM=0
Ekipman:	NO=28, TYPE=14, APNAME='Valve', DELP=0, PIPE= 81, FLOW= 1 of mass flow in Pipe 65
Ekipman:	NO=29, TYPE=14, APNAME='Valve', DELP=0, PIPE= 107, FLOW= 1 of mass flow in Pipe 108
Ekipman:	NO=30, TYPE=9, APNAME='Node', DELP=0
Ekipman:	NO=31, TYPE=10, APNAME='Sink/Source'
Ekipman:	NO=32, TYPE=14, APNAME='Valve', DELP=0, PIPE= 42, FLOW=0.98 of mass flow in Pipe 41
Ekipman:	NO=33, TYPE=10, APNAME='Sink/Source'
Ekipman:	NO=34, TYPE=7, APNAME='Deaerator', DELP=0
Ekipman:	NO=35, TYPE=14, APNAME='Valve', DELP=0, PIPE= 36, FLOW=0.2879 of mass flow in Pipe 34
Ekipman:	NO=36, TYPE=9, APNAME='Node', DELP=0
Ekipman:	NO=37, TYPE=10, APNAME='Sink/Source', DELP=0.1, DELM=0, DELH=0
Ekipman:	NO=38, TYPE=9, APNAME='Node'
Ekipman:	NO=39, TYPE=10, APNAME='Sink/Source'
Ekipman:	NO=40, TYPE=14, APNAME='Valve', DELP=0, PIPE= 67, FLOW= 1 of mass flow in Pipe 12
Ekipman:	NO=41, TYPE=10, APNAME='Sink/Source', PIN= 1.6
Ekipman:	NO=42, TYPE=10, APNAME='Sink/Source', PIN= 13.8, POUT=0.6, DELM=0, DELH=0
Ekipman:	NO=43, TYPE=10, APNAME='Sink/Source', POUT=0.6, HOUT= 365
Ekipman:	NO=44, TYPE=14, APNAME='Valve', DELP=0, PIPE= 1, FLOW=0.41 of mass flow in Pipe 47
Ekipman:	NO=45, TYPE=10, APNAME='Sink/Source', DELP= 14.4, DELM=0, DELH=0
Ekipman:	NO=46, TYPE=14, APNAME='Valve', DELP=0, PIPE= 47, FLOW=0.9476 of mass flow in Pipe 50
Ekipman:	NO=47, TYPE=8, APNAME='Pump', PIN= 1.6, POUT= 27.6, DELT=0
Ekipman:	NO=48, TYPE=14, APNAME='Valve', DELP=0, PIPE= 53, FLOW=0.989877 of mass flow in Pipe 55
Ekipman:	NO=49, TYPE=14, APNAME='Valve', DELP=0, PIPE= 56, FLOW=0.98432 of mass flow in Pipe 59
Ekipman:	NO=50, TYPE=12, APNAME='Heat Exchgr.', DELP1=0, DELT1= 60, RPSM=0.9, DELP2=0, DELT2= -47.75
Ekipman:	NO=51, TYPE=14, APNAME='Valve', DELP=0, PIPE= 24, FLOW= 9 kg/s
Ekipman:	NO=52, TYPE=10, APNAME='Sink/Source', PIN= 11.4, POUT=0.08, DELT=0, DELM=0
Ekipman:	NO=53, TYPE=8, APNAME='Pump', PIN= 1.6, POUT= 72, DELT=0
Ekipman:	NO=54, TYPE=10, APNAME='Sink/Source', PIN= 11.4, POUT=0.08, DELT=0, DELM=0
Ekipman:	NO=55, TYPE=14, APNAME='Valve', DELP=0, PIPE= 23, FLOW= 1 of mass flow in Pipe 9
Ekipman:	NO=56, TYPE=5, APNAME='Flash.Heater', DELP1=0, TIN1= 43, TOUT1= 44.5, SATCOD=0, PIN2= 11.4, DELP2=0, TIN2= 230.05, TOUT2= 93.3
Ekipman:	NO=57, TYPE=10, APNAME='Sink/Source', DELP= 17.9, DELM=0, DELH=0
Ekipman:	NO=58, TYPE=10, APNAME='Sink/Source', PIN= 11.4, POUT= 11.4, TIN= 249, TOUT= 249, DELM=0
Ekipman:	NO=59, TYPE=14, APNAME='Valve', DELP=0, PIPE= 70, FLOW=0 of mass flow in Pipe 61
Ekipman:	NO=60, TYPE=10, APNAME='Sink/Source', DELP= 41.4,

**Çizelge A.1:** (Devam) Ara soğutma yapılmayan CTP modelinde CTP'ye değer girişleri

Tür	Girdiler
Ekipman:	DELM=0, DELH=0 NO=61, TYPE=10, APNAME='Sink/Source', DELP= 41.4, DELM=0, DELH=0
Ekipman:	NO=62, TYPE=9, APNAME='Node', DELP=0
Ekipman:	NO=63, TYPE=5, APNAME='Flash.Heater', DELP1=0, SATCOD=0, PIN2= 11.4, DELP2=0, TIN2= 242.91, TOUT2= 93.3
Ekipman:	NO=64, TYPE=14, APNAME='Valve', DELP=0, PIPE= 76, FLOW= 1 of mass flow in Pipe 68
Ekipman:	NO=65, TYPE=10, APNAME='Sink/Source', DELP= 16.2, DELM=0, DELH=0
Ekipman:	NO=66, TYPE=9, APNAME='Node', DELP=0
Ekipman:	NO=67, TYPE=9, APNAME='Node', DELP=0
Ekipman:	NO=68, TYPE=10, APNAME='Sink/Source', PIN= 25.2, POUT= 24, DELM=0, DELH=0
Ekipman:	NO=69, TYPE=10, APNAME='Sink/Source', PIN= 27.6, POUT= 27.6, DELT=0
Ekipman:	NO=70, TYPE=9, APNAME='Node', DELP=0
Ekipman:	NO=71, TYPE=10, APNAME='Air filter', DELP=0.01, DELH=0
Ekipman:	NO=72, TYPE=29, APNAME='Compressor', POUT= 30, ETHAI=0.87, ETHAM=0.999
Ekipman:	NO=73, TYPE=9, APNAME='Node', DELP=0
Ekipman:	NO=74, TYPE=9, APNAME='Node', DELP=0
Ekipman:	NO=75, TYPE=14, APNAME='Valve', DELP=0, PIPE= 98, FLOW=0.62558 of mass flow in Pipe 87
Ekipman:	NO=76, TYPE=10, APNAME='Sink/Source', DELP= 2.3, DELM=0, DELH=0
Ekipman:	NO=77, TYPE=10, APNAME='Sink/Source', DELP= 2.3, DELM=0, DELH=0
Ekipman:	NO=78, TYPE=14, APNAME='Valve', DELP=0, PIPE= 52, FLOW=0.9 of mass flow in Pipe 103
Ekipman:	NO=79, TYPE=14, APNAME='Valve', DELP=0, PIPE= 60, FLOW=0.9 of mass flow in Pipe 102
Ekipman:	NO=80, TYPE=14, APNAME='Valve', DELP=0, PIPE= 62, FLOW=0.6 of mass flow in Pipe 101
Ekipman:	NO=81, TYPE=10, APNAME='Sink/Source'
Ekipman:	NO=82, TYPE=10, APNAME='Sink/Source'
Ekipman:	NO=83, TYPE=10, APNAME='Sink/Source'
Ekipman:	NO=84, TYPE=9, APNAME='Node', DELP=0
Ekipman:	NO=85, TYPE=13, APNAME='Combustor', DELP=0.27, ESTOFR= 25, TREAT= 1100, PREAT= 13.5
Ekipman:	NO=86, TYPE=10, APNAME='Heat loss', DELP=0, DELE=0, ESTMAS= 600
Ekipman:	NO=87, TYPE=4, APNAME='Condenser', EEQCOD= 1, DELP1=0, POUT2=0.08, DELP2=0
Ekipman:	NO=88, TYPE=3, APNAME='Turbine', TUCODE=0, GDCODE= 1, TOUT= 446, ETHAM=0.999
Ekipman:	NO=89, TYPE=3, APNAME='Turbine', TUCODE=0, GDCODE= 1, ETHAM= 1
Ekipman:	NO=90, TYPE=10, APNAME='Sink/Source', POUT= 15, TOUT= 15, DELM=-0.7, PIPE= 129
Ekipman:	NO=91, TYPE=10, APNAME='Fuel source', POUT= 15,



**Çizelge A.1:** (Devam) Ara soğutma yapılmayan CTP modelinde CTP'ye değer girişleri

Tür	Girdiler
	TOUT= 15, DELM=0.02, PIPE= 122
Ekipman:	NO=92, TYPE=9, APNAME='Node'
Ekipman:	NO=94, TYPE=14, APNAME='Valve', DELP=0, PIPE= 143, FLOW=0.98 of mass flow in Pipe 7
Ekipman:	NO=95, TYPE=9, APNAME='Node', DELP=0
Ekipman:	NO=96, TYPE=10, APNAME='Sink/Source', POUT=0.5, TOUT= 18.9, HIN= 79.1
Ekipman:	NO=98, TYPE=10, APNAME='Sink/Source', POUT= 4, ESTTOU= 25
Ekipman:	NO=99, TYPE=10, APNAME='Sink/Source', ESTTIN= 35
Ekipman:	NO=100, TYPE=10, APNAME='Sink/Source', PIN= 11.4, POUT= 11.4, TIN= 249, TOUT= 249, DELM=0
Ekipman:	NO=104, TYPE=10, APNAME='Sink/Source'
Ekipman:	NO=110, TYPE=8, APNAME='Pump', POUT= 13.8, TIN= 41.51, DELT=0
Ekipman:	NO=111, TYPE=6, APNAME='Heat Exchgr.', DELP1= 2, DELT1= 100, DELP2=0.005
Ekipman:	NO=113, TYPE=14, APNAME='Valve', DELP=0, PIPE= 145, FLOW=0.98 of mass flow in Pipe 32
Ekipman:	NO=114, TYPE=10, APNAME='Sink/Source'
Ekipman:	NO=115, TYPE=14, APNAME='Valve', DELP=0, PIPE= 147, FLOW=0.98 of mass flow in Pipe 20
Ekipman:	NO=116, TYPE=10, APNAME='Sink/Source'
Elektrik üreticisi:	NO=2, IGAPP=88, ETAGEN=0.98
Elektrik üreticisi:	NO=1, IGAPP=89, ETAGEN= 1
Ortam:	Pipe No = 123, Type = 'WATERSTM'
Ortam:	Pipe No = 120, Type = 'WATERSTM'
Boru:	NO=10, PINL = 1.7, POUTL = 1.7
Boru:	NO=12, DELP = 2.2
Boru:	NO=23, DELP = 1.7
Boru:	NO=25, DELP =0, DELH =0
Boru:	NO=26, DELP =0, DELH =0
Boru:	NO=48, PINL = 2.4, POUTL = 2.4
Boru:	NO=59, DELP = 3
Boru:	NO=87, DELP = 1.1
Boru:	NO=113, XINL =0.09
Boru:	NO=114, XINL =0.91, XOUTL =0.91
Boru:	NO=121, XINL =0.09
Çevre:	User defined environment Environment pressure: 1.01325 bar Environment temperature: 15 °C Heating values calculated at 1 atm, 15 °C State functions for water/steam calculation: IAPWS Industrial Formulation 1997 (IAPWS-IF97)

**Çizelge A.2: Ara soğutma yapılan CTP modelinde CTP'ye değer girişleri**

Tür	Girdiler
Ekipman:	NO=1, TYPE=10, APNAME='Source', POUT= 1.013, TOUT= 15
Ekipman:	NO=2, TYPE=10, APNAME='Sink/Source', PIN= 25.8, POUT= 19.1, TOUT= 113.9, DELM=0
Ekipman:	NO=3, TYPE=6, APNAME='Heat Exchgr.', DELP1= 2, DELT1= 42.5, DELP2=0.005
Ekipman:	NO=4, TYPE=6, APNAME='Heat Exchgr.', DELP1= 2, DELT1=0, DELP2=0.005
Ekipman:	NO=5, TYPE=6, APNAME='Heat Exchgr.', DELP1= 2, DELT1= 30, DELP2=0.005
Ekipman:	NO=6, TYPE=6, APNAME='Heat Exchgr.', DELP1= 2, DELT1= 32, DELP2=0.005
Ekipman:	NO=7, TYPE=6, APNAME='Heat Exchgr.', DELP1= 2, DELT1= 30, DELP2=0.005
Ekipman:	NO=8, TYPE=6, APNAME='Heat Exchgr.', DELP1= 2, DELT1=0, DELP2=0.005
Ekipman:	NO=9, TYPE=6, APNAME='Heat Exchgr.', DELP1= 2, DELT1= 50, DELP2=0.005
Ekipman:	NO=10, TYPE=6, APNAME='Heat Exchgr.', DELP1= 2, DELT1= 59, DELP2=0.005
Ekipman:	NO=11, TYPE=6, APNAME='Heat Exchgr.', DELP1= 2, DELT1= 30, DELP2=0.005
Ekipman:	NO=12, TYPE=6, APNAME='Heat Exchgr.', DELP1=0.7, DELT1=0, DELP2=0.005
Ekipman:	NO=13, TYPE=6, APNAME='Heat Exchgr.', DELP1= 2, DELT1= 55, DELP2=0.005
Ekipman:	NO=14, TYPE=10, APNAME='Stack', PIN= 1.1, DELM= 129
Ekipman:	NO=15, TYPE=15, APNAME='Drum'
Ekipman:	NO=16, TYPE=15, APNAME='Drum'
Ekipman:	NO=17, TYPE=15, APNAME='Drum'
Ekipman:	NO=18, TYPE=10, APNAME='Sink/Source', DELP=0, DELH=0
Ekipman:	NO=19, TYPE=14, APNAME='Valve', DELP=0, PIPE= 27, FLOW= 1.39 kg/s
Ekipman:	NO=20, TYPE=10, APNAME='Sink/Source', DELP= 23.4, DELT=0
Ekipman:	NO=21, TYPE=10, APNAME='Heat Sink', SUBTYP=1, DELP=0, DELM=0, DELH= -2445.8
Ekipman:	NO=22, TYPE=10, APNAME='Heat Sink', SUBTYP=1, DELP= 19.5, TOUT= 130, DELM=0
Ekipman:	NO=23, TYPE=10, APNAME='Heat Sink', SUBTYP=1, DELP= 3.5, TOUT= 130, DELM=0
Ekipman:	NO=24, TYPE=10, APNAME='Heat Sink', SUBTYP=1, DELP= 3.5, TOUT= 85, DELM=0
Ekipman:	NO=25, TYPE=10, APNAME='Sink/Source', PIN= 69, POUT= 49.2, TOUT= 65.6
Ekipman:	NO=26, TYPE=14, APNAME='Valve', DELP=0, PIPE= 64, FLOW= 1 of mass flow in Pipe 63
Ekipman:	NO=27, TYPE=10, APNAME='Sink/Source', DELP= 7.8, DELT=0, DELM=0

**Çizelge A.2:** (Devam) Ara soğutma yapılan CTP modelinde CTP'ye değer girişleri

Tür	Girdiler
Ekipman:	NO=28, TYPE=14, APNAME='Valve', DELP=0, PIPE= 81, FLOW= 1 of mass flow in Pipe 65
Ekipman:	NO=29, TYPE=14, APNAME='Valve', DELP=0, PIPE= 107, FLOW= 1 of mass flow in Pipe 108
Ekipman:	NO=30, TYPE=9, APNAME='Node', DELP=0
Ekipman:	NO=31, TYPE=10, APNAME='Sink/Source'
Ekipman:	NO=32, TYPE=14, APNAME='Valve', DELP=0, PIPE= 42, FLOW=0.98 of mass flow in Pipe 41
Ekipman:	NO=33, TYPE=10, APNAME='Sink/Source'
Ekipman:	NO=34, TYPE=7, APNAME='Deaerator', DELP=0
Ekipman:	NO=35, TYPE=14, APNAME='Valve', DELP=0, PIPE= 36, FLOW=0.2879 of mass flow in Pipe 34
Ekipman:	NO=36, TYPE=9, APNAME='Node', DELP=0
Ekipman:	NO=37, TYPE=10, APNAME='Sink/Source', DELP=0.1, DELM=0, DELH=0
Ekipman:	NO=38, TYPE=9, APNAME='Node'
Ekipman:	NO=39, TYPE=10, APNAME='Sink/Source'
Ekipman:	NO=40, TYPE=14, APNAME='Valve', DELP=0, PIPE= 67, FLOW= 1 of mass flow in Pipe 12
Ekipman:	NO=41, TYPE=10, APNAME='Sink/Source', PIN= 1.6
Ekipman:	NO=42, TYPE=10, APNAME='Sink/Source', PIN= 13.8, POUT=0.6, DELM=0, DELH=0
Ekipman:	NO=43, TYPE=10, APNAME='Sink/Source', POUT=0.6, HOUT= 365
Ekipman:	NO=44, TYPE=14, APNAME='Valve', DELP=0, PIPE= 1, FLOW=0.41 of mass flow in Pipe 47
Ekipman:	NO=45, TYPE=10, APNAME='Sink/Source', DELP= 14.4, DELM=0, DELH=0
Ekipman:	NO=46, TYPE=14, APNAME='Valve', DELP=0, PIPE= 47, FLOW=0.9476 of mass flow in Pipe 50
Ekipman:	NO=47, TYPE=8, APNAME='Pump', PIN= 1.6, POUT= 27.6, DELT=0
Ekipman:	NO=48, TYPE=14, APNAME='Valve', DELP=0, PIPE= 53, FLOW=0.989877 of mass flow in Pipe 55
Ekipman:	NO=49, TYPE=14, APNAME='Valve', DELP=0, PIPE= 56, FLOW=0.98432 of mass flow in Pipe 59
Ekipman:	NO=50, TYPE=12, APNAME='Heat Exchr.', DELP1=0, DELT1= 60, RPSM=0.9, DELP2=0, DELT2= -47.75
Ekipman:	NO=51, TYPE=14, APNAME='Valve', DELP=0, PIPE= 24, FLOW= 9.3 kg/s
Ekipman:	NO=52, TYPE=10, APNAME='Sink/Source', PIN= 11.4, POUT=0.08, DELT=0, DELM=0
Ekipman:	NO=53, TYPE=8, APNAME='Pump', PIN= 1.6, POUT= 72, DELT=0
Ekipman:	NO=54, TYPE=10, APNAME='Sink/Source', PIN= 11.4, POUT=0.08, DELT=0, DELM=0
Ekipman:	NO=55, TYPE=14, APNAME='Valve', DELP=0, PIPE= 23, FLOW= 1 of mass flow in Pipe 9
Ekipman:	NO=56, TYPE=5, APNAME='Flash.Heater', DELP1=0, TIN1= 43, TOUT1= 44.5, SATCOD=0, PIN2= 11.4, DELP2=0, TIN2= 230.05, TOUT2= 93.3
Ekipman:	NO=57, TYPE=10, APNAME='Sink/Source', DELP= 17.9, DELM=0, DELH=0
Ekipman:	NO=58, TYPE=10, APNAME='Sink/Source', PIN= 11.4, POUT= 11.4, TIN= 249, TOUT= 249, DELM=0
Ekipman:	NO=59, TYPE=14, APNAME='Valve', DELP=0, PIPE= 70, FLOW=0 of mass flow in Pipe 61
Ekipman:	NO=60, TYPE=10, APNAME='Sink/Source', DELP= 41.4,

**Çizelge A.2: (Devam) Ara soğutma yapılan CTP modelinde CTP'ye değer girişleri**

Tür	Girdiler
Ekipman:	DELM=0, DELH=0 NO=61, TYPE=10, APNAME='Sink/Source', DELP= 41.4, DELM=0, DELH=0
Ekipman:	NO=62, TYPE=9, APNAME='Node', DELP=0
Ekipman:	NO=63, TYPE=5, APNAME='Flash.Heater', DELP1=0, SATCOD=0, PIN2= 11.4, DELP2=0, TIN2= 242.91, TOUT2= 93.3
Ekipman:	NO=64, TYPE=14, APNAME='Valve', DELP=0, PIPE= 76, FLOW= 1 of mass flow in Pipe 68
Ekipman:	NO=65, TYPE=10, APNAME='Sink/Source', DELP= 16.2, DELM=0, DELH=0
Ekipman:	NO=66, TYPE=9, APNAME='Node', DELP=0
Ekipman:	NO=67, TYPE=9, APNAME='Node', DELP=0
Ekipman:	NO=68, TYPE=10, APNAME='Sink/Source', PIN= 25.2, POUT= 24, DELM=0, DELH=0
Ekipman:	NO=69, TYPE=10, APNAME='Sink/Source', PIN= 27.6, POUT= 27.6, DELT=0
Ekipman:	NO=70, TYPE=9, APNAME='Node', DELP=0
Ekipman:	NO=71, TYPE=10, APNAME='Air filter', DELP=0.01, DELH=0
Ekipman:	NO=72, TYPE=29, APNAME='Compressor', POUT= 30.1, TOUT= 531, ETHAM=0.999
Ekipman:	NO=73, TYPE=9, APNAME='Node', DELP=0
Ekipman:	NO=74, TYPE=9, APNAME='Node', DELP=0
Ekipman:	NO=75, TYPE=14, APNAME='Valve', DELP=0, PIPE= 98, FLOW=0.62558 of mass flow in Pipe 87
Ekipman:	NO=76, TYPE=10, APNAME='Sink/Source', DELP= 2.3, DELM=0, DELH=0
Ekipman:	NO=77, TYPE=10, APNAME='Sink/Source', DELP= 2.3, DELM=0, DELH=0
Ekipman:	NO=78, TYPE=14, APNAME='Valve', DELP=0, PIPE= 52, FLOW=0.9 of mass flow in Pipe 103
Ekipman:	NO=79, TYPE=14, APNAME='Valve', DELP=0, PIPE= 60, FLOW=0.9 of mass flow in Pipe 102
Ekipman:	NO=80, TYPE=14, APNAME='Valve', DELP=0, PIPE= 62, FLOW=0.6 of mass flow in Pipe 101
Ekipman:	NO=81, TYPE=10, APNAME='Sink/Source'
Ekipman:	NO=82, TYPE=10, APNAME='Sink/Source'
Ekipman:	NO=83, TYPE=10, APNAME='Sink/Source'
Ekipman:	NO=84, TYPE=9, APNAME='Node', DELP=0
Ekipman:	NO=85, TYPE=13, APNAME='Combustor', DELP=0.27, ESTOFR= 25, TREAT= 1000, PRACT= 20
Ekipman:	NO=86, TYPE=10, APNAME='Heat loss', DELP=0, DELE=0, ESTMAS= 600
Ekipman:	NO=87, TYPE=4, APNAME='Condenser', EEQCOD= 1, DELP1=0, POUT2=0.08, DELP2=0
Ekipman:	NO=88, TYPE=3, APNAME='Turbine', TUCODE=0, GDCODE= 1, TOUT= 446, ETHAM=0.999
Ekipman:	NO=89, TYPE=3, APNAME='Turbine', TUCODE=0, GDCODE= 1, ETHAM= 1
Ekipman:	NO=90, TYPE=10, APNAME='Sink/Source', POUT= 15, TOUT= 15, DELM= 1.473
Ekipman:	NO=91, TYPE=10, APNAME='Fuel source', POUT= 15,

**Çizelge A.2:** (Devam) Ara soğutma yapılan CTP modelinde CTP'ye değer girişleri

Tür	Girdiler
	TOUT= 15, DELM= 2.348
Ekipman:	NO=92, TYPE=9, APNAME='Node'
Ekipman:	NO=93, TYPE=9, APNAME='Node', DELP=0
Ekipman:	NO=94, TYPE=14, APNAME='Valve', DELP=0, PIPE= 143, FLOW=0.98 of mass flow in Pipe 7
Ekipman:	NO=95, TYPE=9, APNAME='Node', DELP=0
Ekipman:	NO=96, TYPE=10, APNAME='Sink/Source', POUT=0.5, TOUT= 18.9, HIN= 79.1
Ekipman:	NO=97, TYPE=10, APNAME='Sink/Source', POUT= 1.013, TOUT= 38, DELM=0.665
Ekipman:	NO=98, TYPE=10, APNAME='Sink/Source', POUT= 4, ESTTOU= 25
Ekipman:	NO=99, TYPE=10, APNAME='Sink/Source', ESTTIN= 35
Ekipman:	NO=100, TYPE=10, APNAME='Sink/Source', PIN= 11.4, POUT= 11.4, TIN= 249, TOUT= 249, DELM=0
Ekipman:	NO=104, TYPE=10, APNAME='Sink/Source'
Ekipman:	NO=110, TYPE=8, APNAME='Pump', POUT= 13.8, TIN= 41.51, DELT=0
Ekipman:	NO=111, TYPE=6, APNAME='Heat Exchr.', DELP1= 2, DELT1= 100, DELP2=0.005
Ekipman:	NO=113, TYPE=14, APNAME='Valve', DELP=0, PIPE= 145, FLOW=0.98 of mass flow in Pipe 32
Ekipman:	NO=114, TYPE=10, APNAME='Sink/Source'
Ekipman:	NO=115, TYPE=14, APNAME='Valve', DELP=0, PIPE= 147, FLOW=0.98 of mass flow in Pipe 20
Ekipman:	NO=116, TYPE=10, APNAME='Sink/Source'
Elektrik üreticisi:	NO=2, IGAPP=88, ETAGEN=0.98
Elektrik üreticisi:	NO=1, IGAPP=89, ETAGEN= 1
Ortam:	Pipe No = 123, Type = 'WATERSTM'
Ortam:	Pipe No = 120, Type = 'WATERSTM'
Boru:	NO=10, PINL = 1.7, POUTL = 1.7
Boru:	NO=12, DELP = 2.2
Boru:	NO=23, DELP = 1.7
Boru:	NO=25, DELP =0, DELH =0
Boru:	NO=26, DELP =0, DELH =0
Boru:	NO=48, PINL = 2.4, POUTL = 2.4
Boru:	NO=59, DELP = 3
Boru:	NO=87, DELP = 1.1
Boru:	NO=113, XINL =0.09
Boru:	NO=114, XINL =0.91, XOUTL =0.91
Boru:	NO=121, XINL =0.09
Çevre:	User defined environment Environment pressure: 1.01325 bar Environment temperature: 15 °C Heating values calculated at 1 atm, 15 °C State functions for water/steam calculation: IAPWS Industrial Formulation 1997 (IAPWS-IF97)

**Çizelge B.1:** Ara soğutma yapılmaması durumunda tüm borulardaki akışkanların termodinamik özellikleri

Boru no.	Ortam	Kütle Debisi [kg/s]	Basınç [bar]	Sıcaklık [°C]	Entalpi [kJ/kg]	Entropi [kJ/kg.K]	Kuruluk D. [%]
1	WATERSTM	2.051	25.80	113.33	477.21	14.532	0.00
			25.80	113.33	477.21	14.532	0.00
2	GASMIX 1	121.000	1.003	15.00	-113.17	68.741	
			1.003	15.00	-113.17	68.741	
3	GASMIX 2	125.114	1.100	122.44	-1115.01	73.816	
			1.100	122.44	-1115.01	73.816	
4	WATERSTM	2.952	19.10	113.90	479.14	14.600	0.00
			19.10	113.90	479.14	14.600	0.00
5	WATERSTM	2.952	17.10	172.90	732.38	20.693	0.00
			17.10	172.90	732.38	20.693	0.00
6	WATERSTM	3.146	17.10	204.60	873.18	23.742	0.00
			17.10	204.60	873.18	23.742	0.00
7	WATERSTM	3.146	15.10	204.60	2808.45	64.770	100.00
			17.10	209.21	2808.45	64.248	100.00
8	WATERSTM	2.889	17.10	204.60	2794.68	63.961	100.00
			15.10	199.79	2794.68	64.480	100.00
9	WATERSTM	2.889	13.10	231.79	2888.72	67.016	100.00
			13.10	231.79	2888.72	67.016	100.00
10	WATERSTM	2.010	2.400	126.07	2714.62	70.660	100.00
			1.700	122.58	2714.62	72.214	100.00
11	WATERSTM	10.969	49.20	307.93	2953.08	62.649	100.00
			49.20	307.93	2953.08	62.649	100.00
12	WATERSTM	11.084	47.20	398.98	3199.15	66.767	100.00
			45.50	397.72	3199.15	66.926	100.00
13	WATERSTM	11.195	61.20	65.60	279.63	0.8975	0.00
			61.20	65.60	279.63	0.8975	0.00
14	WATERSTM	0.114	49.20	65.60	278.64	0.8982	0.00
			49.20	65.60	278.64	0.8982	0.00
15	WATERSTM	0.000	13.10	231.79	2888.72	67.016	100.00
			1.700	208.26	2888.72	76.200	100.00
16	WATERSTM	11.195	53.20	230.60	993.50	26.106	0.00
			53.20	230.60	993.50	26.106	0.00
17	WATERSTM	11.195	57.20	150.60	638.08	18.422	0.00
			57.20	150.60	638.08	18.422	0.00
18	WATERSTM	11.195	59.20	120.60	510.35	15.291	0.00
			59.20	120.60	510.35	15.291	0.00
19	WATERSTM	2.095	2.400	126.07	529.64	15.930	0.00
			2.400	126.07	529.64	15.930	0.00
20	WATERSTM	2.095	1.700	126.07	2721.96	72.399	100.00
			2.400	129.41	2721.96	70.843	100.00

**Çizelge B.1:** (Devam) Ara soğutma yapılmaması durumunda tüm borulardaki akışkanların termodinamik özellikleri

Boru no.	Ortam	Kütle Debisi [kg/s]	Basınç [bar]	Sıcaklık [°C]	Entalpi [kJ/kg]	Entropi [kJ/kg.K]	Kuruluk D. [%]
21	WATERSTM	11.195	55.20	200.60	856.70	23.302	0.00
			55.20	200.60	856.70	23.302	0.00
22	GASMIX 2	125.114	1.155	424.76	-782.54	79.896	
			1.155	424.76	-782.54	79.896	
23	WATERSTM	2.889	13.10	231.79	2888.72	67.016	100.00
			11.40	228.50	2888.72	67.623	100.00
24	WATERSTM	9.000	13.80	41.51	175.06	0.5920	0.00
			13.80	41.51	175.06	0.5920	0.00
25	WATERSTM	5.280	1.600	113.30	475.34	14.549	0.00
			1.600	113.30	475.34	14.549	0.00
26	WATERSTM	11.489	1.600	113.30	475.34	14.549	0.00
			1.600	113.30	475.34	14.549	0.00
27	WATERSTM	1.390	27.60	346.97	3114.30	67.785	100.00
			27.60	346.97	3114.30	67.785	100.00
28	WATERSTM	11.195	51.20	260.60	1137.74	28.891	0.00
			51.20	260.60	1137.74	28.891	0.00
29	WATERSTM	1.390	27.60	346.97	3114.30	67.785	100.00
			27.60	346.97	3114.30	67.785	100.00
30	WATERSTM	2.010	1.700	122.58	2714.62	72.214	100.00
			1.700	122.58	2714.62	72.214	100.00
31	WATERSTM	11.277	51.20	265.43	1161.97	29.343	0.00
			51.20	265.43	1161.97	29.343	0.00
32	WATERSTM	11.277	49.20	265.43	2805.63	60.009	100.00
			51.20	268.27	2805.63	59.861	100.00
33	WATERSTM	10.969	51.20	265.43	2793.21	59.631	100.00
			51.20	265.43	2793.21	59.631	100.00
34	WATERSTM	2.010	1.600	122.07	2714.62	72.489	100.00
			1.600	122.07	2714.62	72.489	100.00
35	WATERSTM	11.084	49.20	298.98	2925.46	62.170	100.00
			49.20	298.98	2925.46	62.170	100.00
36	WATERSTM	0.579	1.600	122.07	2714.62	72.489	100.00
			1.600	122.07	2714.62	72.489	100.00
37	WATERSTM	1.431	1.600	122.07	2714.62	72.489	100.00
			1.600	122.07	2714.62	72.489	100.00
38	WATERSTM	2.010	1.700	122.58	2714.62	72.214	100.00
			1.700	122.58	2714.62	72.214	100.00
39	WATERSTM	9.000	0.08000	41.51	173.85	0.5925	0.00
			0.08000	41.51	173.85	0.5925	0.00
40	WATERSTM	1.431	1.600	64.19	268.82	0.8835	0.00
			1.600	64.19	268.82	0.8835	0.00

**Çizelge B.1:** (Devam) Ara soğutma yapılmaması durumunda tüm borulardaki akışkanların termodinamik özellikleri

Boru no.	Ortam	Kütle Debisi [kg/s]	Basınç [bar]	Sıcaklık [°C]	Entalpi [kJ/kg]	Entropi [kJ/kg.K]	Kuruluk D. [%]
41	WATERSTM	17.112	1.600	113.30	475.34	14.549	0.00
			1.600	113.30	475.34	14.549	0.00
42	WATERSTM	16.769	1.600	113.30	475.34	14.549	0.00
			1.600	113.30	475.34	14.549	0.00
43	WATERSTM	0.342	1.600	113.30	475.34	14.549	0.00
			1.600	113.30	475.34	14.549	0.00
44	WATERSTM	9.000	13.80	43.00	181.28	0.6117	0.00
			13.80	43.00	181.28	0.6117	0.00
45	WATERSTM	9.000	0.6000	85.93	439.03	13.658	3.45
			1.600	104.71	439.03	13.599	0.00
46	WATERSTM	6.102	0.6000	85.93	365.00	11.596	0.23
			1.600	87.14	365.00	11.593	0.00
47	WATERSTM	5.003	25.80	113.33	477.21	14.532	0.00
			25.80	113.33	477.21	14.532	0.00
48	WATERSTM	2.051	2.400	113.33	475.52	14.552	0.00
			2.400	113.33	475.52	14.552	0.00
49	WATERSTM	2.952	25.80	113.33	477.21	14.532	0.00
			25.80	113.33	477.21	14.532	0.00
50	WATERSTM	5.280	27.60	113.30	477.21	14.527	0.00
			25.80	113.33	477.21	14.532	0.00
51	WATERSTM	0.277	25.80	113.33	477.21	14.532	0.00
			25.80	113.33	477.21	14.532	0.00
52	WATERSTM	1.413	24.00	225.01	2812.10	62.927	100.00
			24.00	225.01	2812.10	62.927	100.00
53	WATERSTM	11.195	69.00	65.60	280.27	0.8971	0.00
			69.00	65.60	280.27	0.8971	0.00
54	WATERSTM	0.114	69.00	65.60	280.27	0.8971	0.00
			69.00	65.60	280.27	0.8971	0.00
55	WATERSTM	11.309	69.00	65.60	280.27	0.8971	0.00
			69.00	65.60	280.27	0.8971	0.00
56	WATERSTM	11.309	69.00	113.35	480.41	14.497	0.00
			69.00	113.35	480.41	14.497	0.00
57	WATERSTM	9.000	13.80	44.50	187.55	0.6315	0.00
			13.80	44.50	187.55	0.6315	0.00
58	WATERSTM	9.000	13.80	104.50	439.03	13.566	0.00
			13.80	104.50	439.03	13.566	0.00
59	WATERSTM	11.489	72.00	113.30	480.41	14.489	0.00
			69.00	113.35	480.41	14.497	0.00
60	WATERSTM	3.352	8.000	182.55	2798.64	67.290	100.00
			8.000	182.55	2798.64	67.290	100.00



**Çizelge B.1:** (Devam) Ara soğutma yapılmaması durumunda tüm borulardaki akışkanların termodinamik özellikleri

Boru no.	Ortam	Kütle Debisi [kg/s]	Basınç [bar]	Sıcaklık [°C]	Entalpi [kJ/kg]	Entropi [kJ/kg.K]	Kuruluk D. [%]
61	WATERSTM	0.180	69.00	113.35	480.41	14.497	0.00
			69.00	113.35	480.41	14.497	0.00
62	WATERSTM	1.337	8.000	182.55	2798.64	67.290	100.00
			8.000	182.55	2798.64	67.290	100.00
63	WATERSTM	1.413	4.500	130.00	546.51	16.345	0.00
			4.500	130.00	546.51	16.345	0.00
64	WATERSTM	1.413	4.500	130.00	546.51	16.345	0.00
			4.500	130.00	546.51	16.345	0.00
65	WATERSTM	3.352	4.500	130.00	546.51	16.345	0.00
			4.500	130.00	546.51	16.345	0.00
66	WATERSTM	0.000	45.50	397.72	3199.15	66.926	100.00
			45.50	397.72	3199.15	66.926	100.00
67	WATERSTM	11.084	45.50	397.72	3199.15	66.926	100.00
			45.50	397.72	3199.15	66.926	100.00
68	WATERSTM	0.000	27.60	229.28	1794.98	42.120	44.50
			27.60	229.28	1794.98	42.120	44.50
69	WATERSTM	0.180	69.00	113.35	480.41	14.497	0.00
			66.60	113.39	480.41	14.504	0.00
70	WATERSTM	0.000	69.00	113.35	480.41	14.497	0.00
			69.00	113.35	480.41	14.497	0.00
71	WATERSTM	0.000	27.60	114.06	480.41	14.610	0.00
			27.60	114.06	480.41	14.610	0.00
72	WATERSTM	0.000	27.60	383.90	3199.15	69.114	100.00
			27.60	383.90	3199.15	69.114	100.00
73	WATERSTM	5.676	11.40	238.48	2911.80	68.079	100.00
			11.40	238.48	2911.80	68.079	100.00
74	WATERSTM	0.180	25.20	114.10	480.41	14.616	0.00
			25.20	114.10	480.41	14.616	0.00
75	WATERSTM	2.813	11.40	249.00	2935.71	68.541	100.00
			11.40	249.00	2935.71	68.541	100.00
76	WATERSTM	0.000	27.60	229.28	1794.98	42.120	44.50
			25.20	224.38	1794.98	42.286	45.21
77	WATERSTM	1.390	25.20	344.66	3114.30	68.184	100.00
			25.20	344.66	3114.30	68.184	100.00
78	WATERSTM	1.570	25.20	227.37	2812.10	62.730	100.00
			25.20	227.37	2812.10	62.730	100.00
79	WATERSTM	0.000	27.60	229.28	1794.98	42.120	44.50
			27.60	229.28	1794.98	42.120	44.50
80	WATERSTM	1.390	27.60	346.97	3114.30	67.785	100.00
			25.20	344.66	3114.30	68.184	100.00

**Çizelge B.1:** (Devam) Ara soğutma yapılmaması durumunda tüm borulardaki akışkanların termodinamik özellikleri

Boru no.	Ortam	Kütle Debisi [kg/s]	Basınç [bar]	Sıcaklık [°C]	Entalpi [kJ/kg]	Entropi [kJ/kg.K]	Kuruluk D. [%]
81	WATERSTM	3.352	4.500	130.00	546.51	16.345	0.00
			4.500	130.00	546.51	16.345	0.00
82	WATERSTM	0.026	11.40	249.00	2935.71	68.541	100.00
			11.40	242.91	2921.91	68.275	100.00
83	WATERSTM	0.027	11.40	265.18	2971.87	69.223	100.00
			11.40	230.05	2892.34	67.695	100.00
84	WATERSTM	0.277	11.40	113.57	477.21	14.571	0.00
			11.40	113.57	477.21	14.571	0.00
85	WATERSTM	0.027	11.40	93.30	788.25	21.942	0.00
			11.40	41.51	391.67	12.299	0.00
86	WATERSTM	5.676	11.40	238.48	2911.80	68.079	100.00
			11.40	238.48	2911.80	68.079	100.00
87	WATERSTM	5.953	11.40	191.81	2798.64	65.757	100.00
			10.30	188.89	2798.64	66.193	100.00
88	GASMIX 2	125.114	1.150	412.42	-796.56	79.706	
			1.150	412.42	-796.56	79.706	
89	GASMIX 2	125.114	1.145	279.81	-944.71	77.319	
			1.145	279.81	-944.71	77.319	
90	GASMIX 2	125.114	1.140	268.06	-957.61	77.096	
			1.140	268.06	-957.61	77.096	
91	GASMIX 2	125.114	1.135	266.08	-959.78	77.069	
			1.135	266.08	-959.78	77.069	
92	GASMIX 2	125.114	1.130	254.91	-972.02	76.852	
			1.130	254.91	-972.02	76.852	
93	GASMIX 2	125.114	1.125	210.21	-1020.69	75.903	
			1.125	210.21	-1020.69	75.903	
94	GASMIX 2	125.114	1.120	192.12	-1040.25	75.503	
			1.120	192.12	-1040.25	75.503	
95	GASMIX 2	125.114	1.115	186.59	-1046.23	75.387	
			1.115	186.59	-1046.23	75.387	
96	GASMIX 2	125.114	1.110	175.98	-1057.65	75.149	
			1.110	175.98	-1057.65	75.149	
97	GASMIX 2	125.114	1.105	141.77	-1094.37	74.312	
			1.105	141.77	-1094.37	74.312	
98	WATERSTM	3.724	10.30	188.89	2798.64	66.193	100.00
			10.30	188.89	2798.64	66.193	100.00
99	WATERSTM	2.229	10.30	188.89	2798.64	66.193	100.00
			10.30	188.89	2798.64	66.193	100.00
100	WATERSTM	0.000	11.40	185.66	1794.98	43.884	50.50
			11.40	185.66	1794.98	43.884	50.50

**Çizelge B.1:** (Devam) Ara soğutma yapılmaması durumunda tüm borulardaki akışkanların termodinamik özellikleri

Boru no.	Ortam	Kütle Debisi [kg/s]	Basınç [bar]	Sıcaklık [°C]	Entalpi [kJ/kg]	Entropi [kJ/kg.K]	Kuruluk D. [%]
101	WATERSTM	2.229	8.000	182.55	2798.64	67.290	100.00
			8.000	182.55	2798.64	67.290	100.00
102	WATERSTM	3.724	8.000	182.55	2798.64	67.290	100.00
			8.000	182.55	2798.64	67.290	100.00
103	WATERSTM	1.570	24.00	225.01	2812.10	62.927	100.00
			24.00	225.01	2812.10	62.927	100.00
104	WATERSTM	0.892	8.000	182.55	2798.64	67.290	100.00
			8.000	182.55	2798.64	67.290	100.00
105	WATERSTM	0.372	8.000	182.55	2798.64	67.290	100.00
			8.000	182.55	2798.64	67.290	100.00
106	WATERSTM	0.157	24.00	225.01	2812.10	62.927	100.00
			24.00	225.01	2812.10	62.927	100.00
107	WATERSTM	1.337	4.500	85.00	356.25	11.341	0.00
			4.500	85.00	356.25	11.341	0.00
108	WATERSTM	1.337	4.500	85.00	356.25	11.341	0.00
			4.500	85.00	356.25	11.341	0.00
109	WATERSTM	0.000	4.500	130.00	546.51	16.345	0.00
			4.500	130.00	546.51	16.345	0.00
110	WATERSTM	6.102	4.500	120.20	504.81	15.298	0.00
			4.500	120.20	504.81	15.298	0.00
111	WATERSTM	0.000	4.500	130.00	546.51	16.345	0.00
			4.500	130.00	546.51	16.345	0.00
112	WATERSTM	0.000	4.500	85.00	356.25	11.341	0.00
			4.500	85.00	356.25	11.341	0.00
113	WATERSTM	0.027	0.08000	41.51	390.07	12.797	9.00
			0.08000	41.51	390.07	12.797	9.00
114	WATERSTM	6.853	0.08000	41.51	2360.02	75.403	91.00
			0.08000	41.51	2360.02	75.403	91.00
115	WATERSTM	0.026	11.40	93.30	788.25	21.942	0.00
			11.40	41.51	391.67	12.299	0.00
116	WATERSTM	2.787	11.40	249.00	2935.71	68.541	100.00
			11.40	249.00	2935.71	68.541	100.00
117	WATERSTM	9.000	13.80	41.51	175.06	0.5920	0.00
			13.80	41.51	175.06	0.5920	0.00
118	WATERSTM	2.813	11.40	265.18	2971.87	69.223	100.00
			11.40	249.00	2935.71	68.541	100.00
119	WATERSTM	354.036	4.000	35.00	147.00	0.5050	0.00
			4.000	35.00	147.00	0.5050	0.00
120	WATERSTM	2.094	0.5000	18.90	79.36	0.2808	0.00
			0.08000	18.90	79.36	0.2809	0.00

**Çizelge B.1:** (Devam) Ara soğutma yapılmaması durumunda tüm borulardaki akışkanların termodinamik özellikleri

Boru no.	Ortam	Kütle Debisi [kg/s]	Basınç [bar]	Sıcaklık [°C]	Entalpi [kJ/kg]	Entropi [kJ/kg.K]	Kuruluk D. [%]
121	WATERSTM	0.026	0.08000	41.51	390.07	12.797	9.00
			0.08000	41.51	390.07	12.797	9.00
122	GASMIX 1	121.000	1.013	15.00	-113.17	68.713	
			1.013	15.00	-113.17	68.713	
123	WATERSTM	354.036	4.000	25.00	105.21	0.3672	0.00
			4.000	25.00	105.21	0.3672	0.00
124	GASMIX 1	121.000	30.00	532.36	430.22	69.655	
			30.00	532.36	430.22	69.655	
125	GASMIX 2	125.114	29.73	1160.78	118.90	79.085	
			29.73	1160.78	118.90	79.085	
126	GASMIX 2	125.114	29.73	1160.78	118.90	79.085	
			29.73	1160.78	118.90	79.085	
127	WATERSTM	2.787	11.40	249.00	2935.71	68.541	100.00
			11.40	249.00	2935.71	68.541	100.00
128	GASMIX 2	125.114	1.160	446.00	-758.30	80.226	
			1.160	446.00	-758.30	80.226	
129	GASMIX 3	2.420	15.00	15.00	-4228.89	95.826	
			15.00	15.00	-4228.89	95.826	
130	GASMIX 4	4.114	30.00	14.52	-9037.59	69.805	
			30.00	14.52	-9037.59	69.805	
131	GASMIX 5	1.694	15.00	15.00	-	37.361	
			15.00	15.00	-	37.361	
143	WATERSTM	3.083	17.10	209.21	2808.45	64.248	100.00
			17.10	209.21	2808.45	64.248	100.00
144	WATERSTM	0.063	17.10	209.21	2808.45	64.248	100.00
			17.10	209.21	2808.45	64.248	100.00
145	WATERSTM	11.051	51.20	268.27	2805.63	59.861	100.00
			51.20	268.27	2805.63	59.861	100.00
146	WATERSTM	0.226	51.20	268.27	2805.63	59.861	100.00
			51.20	268.27	2805.63	59.861	100.00
147	WATERSTM	2.053	2.400	129.41	2721.96	70.843	100.00
			2.400	129.41	2721.96	70.843	100.00
148	WATERSTM	0.042	2.400	129.41	2721.96	70.843	100.00
			2.400	129.41	2721.96	70.843	100.00

**Çizelge B.2:** Ara soğutma yapılması durumunda tüm borulardaki akışkanların termodinamik özellikleri

Boru no.	Ortam	Kütle Debisi [kg/s]	Basınç [bar]	Sıcaklık [°C]	Entalpi [kJ/kg]	Entropi [kJ/kg.K]	Kuruluk D. [%]
1	WATERSTM	2.120	25.80	113.33	477.21	14.532	0.00
			25.80	113.33	477.21	14.532	0.00
2	GASMIX 1	124.514	1.003	15.00	-113.18	68.741	
			1.013	15.00	-113.18	68.713	
3	GASMIX 2	129.000	1.100	122.95	-1179.69	74.022	
			1.100	122.95	-1179.69	74.022	
4	WATERSTM	3.050	19.10	113.90	479.14	14.600	0.00
			19.10	113.90	479.14	14.600	0.00
5	WATERSTM	3.050	17.10	172.90	732.38	20.693	0.00
			17.10	172.90	732.38	20.693	0.00
6	WATERSTM	3.251	17.10	204.60	873.18	23.742	0.00
			17.10	204.60	873.18	23.742	0.00
7	WATERSTM	3.251	15.10	204.60	2808.45	64.770	100.00
			17.10	209.21	2808.45	64.248	100.00
8	WATERSTM	2.985	17.10	204.60	2794.68	63.961	100.00
			15.10	199.79	2794.68	64.480	100.00
9	WATERSTM	2.985	13.10	231.79	2888.72	67.016	100.00
			13.10	231.79	2888.72	67.016	100.00
10	WATERSTM	2.076	2.400	126.07	2714.62	70.660	100.00
			1.700	122.58	2714.62	72.214	100.00
11	WATERSTM	11.335	49.20	307.93	2953.08	62.649	100.00
			49.20	307.93	2953.08	62.649	100.00
12	WATERSTM	11.453	47.20	398.98	3199.15	66.767	100.00
			45.50	397.72	3199.15	66.926	100.00
13	WATERSTM	11.568	61.20	65.60	279.63	0.8975	0.00
			61.20	65.60	279.63	0.8975	0.00
14	WATERSTM	0.118	49.20	65.60	278.64	0.8982	0.00
			49.20	65.60	278.64	0.8982	0.00
15	WATERSTM	0.000	13.10	231.79	2888.72	67.016	100.00
			1.700	208.26	2888.72	76.200	100.00
16	WATERSTM	11.568	53.20	230.60	993.50	26.106	0.00
			53.20	230.60	993.50	26.106	0.00
17	WATERSTM	11.568	57.20	150.60	638.08	18.422	0.00
			57.20	150.60	638.08	18.422	0.00
18	WATERSTM	11.568	59.20	120.60	510.35	15.291	0.00
			59.20	120.60	510.35	15.291	0.00
19	WATERSTM	2.165	2.400	126.07	529.64	15.930	0.00
			2.400	126.07	529.64	15.930	0.00
20	WATERSTM	2.165	1.700	126.07	2721.96	72.399	100.00
			2.400	129.41	2721.96	70.843	100.00

**Çizelge B.2:** (Devam) Ara soğutma yapılması durumunda tüm borulardaki akışkanların termodinamik özellikleri

Boru no.	Ortam	Kütle Debisi [kg/s]	Basınç [bar]	Sıcaklık [°C]	Entalpi [kJ/kg]	Entropi [kJ/kg.K]	Kuruluk D. [%]
21	WATERSTM	11.568	55.20	200.60	856.70	23.302	0.00
			55.20	200.60	856.70	23.302	0.00
22	GASMIX 2	129.000	1.155	424.79	-846.48	80.112	
			1.155	424.79	-846.48	80.112	
23	WATERSTM	2.985	13.10	231.79	2888.72	67.016	100.00
			11.40	228.50	2888.72	67.623	100.00
24	WATERSTM	9.300	13.80	41.51	175.06	0.5920	0.00
			13.80	41.51	175.06	0.5920	0.00
25	WATERSTM	5.456	1.600	113.30	475.34	14.549	0.00
			1.600	113.30	475.34	14.549	0.00
26	WATERSTM	11.872	1.600	113.30	475.34	14.549	0.00
			1.600	113.30	475.34	14.549	0.00
27	WATERSTM	1.390	27.60	346.97	3114.30	67.785	100.00
			27.60	346.97	3114.30	67.785	100.00
28	WATERSTM	11.568	51.20	260.60	1137.74	28.891	0.00
			51.20	260.60	1137.74	28.891	0.00
29	WATERSTM	1.390	27.60	346.97	3114.30	67.785	100.00
			27.60	346.97	3114.30	67.785	100.00
30	WATERSTM	2.076	1.700	122.58	2714.62	72.214	100.00
			1.700	122.58	2714.62	72.214	100.00
31	WATERSTM	11.653	51.20	265.43	1161.97	29.343	0.00
			51.20	265.43	1161.97	29.343	0.00
32	WATERSTM	11.653	49.20	265.43	2805.63	60.009	100.00
			51.20	268.27	2805.63	59.861	100.00
33	WATERSTM	11.335	51.20	265.43	2793.21	59.631	100.00
			51.20	265.43	2793.21	59.631	100.00
34	WATERSTM	2.076	1.600	122.07	2714.62	72.489	100.00
			1.600	122.07	2714.62	72.489	100.00
35	WATERSTM	11.453	49.20	298.98	2925.46	62.170	100.00
			49.20	298.98	2925.46	62.170	100.00
36	WATERSTM	0.598	1.600	122.07	2714.62	72.489	100.00
			1.600	122.07	2714.62	72.489	100.00
37	WATERSTM	1.479	1.600	122.07	2714.62	72.489	100.00
			1.600	122.07	2714.62	72.489	100.00
38	WATERSTM	2.076	1.700	122.58	2714.62	72.214	100.00
			1.700	122.58	2714.62	72.214	100.00
39	WATERSTM	9.300	0.08000	41.51	173.85	0.5925	0.00
			0.08000	41.51	173.85	0.5925	0.00
40	WATERSTM	1.479	1.600	64.19	268.82	0.8835	0.00
			1.600	64.19	268.82	0.8835	0.00

**Çizelge B.2:** (Devam) Ara soğutma yapılması durumunda tüm borulardaki akışkanların termodinamik özellikleri

Boru no.	Ortam	Kütle Debisi [kg/s]	Basınç [bar]	Sıcaklık [°C]	Entalpi [kJ/kg]	Entropi [kJ/kg.K]	Kuruluk D. [%]
41	WATERSTM	17.682	1.600	113.30	475.34	14.549	0.00
			1.600	113.30	475.34	14.549	0.00
42	WATERSTM	17.328	1.600	113.30	475.34	14.549	0.00
			1.600	113.30	475.34	14.549	0.00
43	WATERSTM	0.354	1.600	113.30	475.34	14.549	0.00
			1.600	113.30	475.34	14.549	0.00
44	WATERSTM	9.300	13.80	43.00	181.28	0.6117	0.00
			13.80	43.00	181.28	0.6117	0.00
45	WATERSTM	9.300	0.6000	85.93	439.03	13.658	3.45
			1.600	104.71	439.03	13.599	0.00
46	WATERSTM	6.305	0.6000	85.93	365.00	11.596	0.23
			1.600	87.14	365.00	11.593	0.00
47	WATERSTM	5.170	25.80	113.33	477.21	14.532	0.00
			25.80	113.33	477.21	14.532	0.00
48	WATERSTM	2.120	2.400	113.33	475.52	14.552	0.00
			2.400	113.33	475.52	14.552	0.00
49	WATERSTM	3.050	25.80	113.33	477.21	14.532	0.00
			25.80	113.33	477.21	14.532	0.00
50	WATERSTM	5.456	27.60	113.30	477.21	14.527	0.00
			25.80	113.33	477.21	14.532	0.00
51	WATERSTM	0.286	25.80	113.33	477.21	14.532	0.00
			25.80	113.33	477.21	14.532	0.00
52	WATERSTM	1.419	24.00	222.30	2803.22	62.748	100.00
			24.00	222.30	2803.22	62.748	100.00
53	WATERSTM	11.568	69.00	65.60	280.27	0.8971	0.00
			69.00	65.60	280.27	0.8971	0.00
54	WATERSTM	0.118	69.00	65.60	280.27	0.8971	0.00
			69.00	65.60	280.27	0.8971	0.00
55	WATERSTM	11.686	69.00	65.60	280.27	0.8971	0.00
			69.00	65.60	280.27	0.8971	0.00
56	WATERSTM	11.686	69.00	113.35	480.41	14.497	0.00
			69.00	113.35	480.41	14.497	0.00
57	WATERSTM	9.300	13.80	44.50	187.55	0.6315	0.00
			13.80	44.50	187.55	0.6315	0.00
58	WATERSTM	9.300	13.80	104.50	439.03	13.566	0.00
			13.80	104.50	439.03	13.566	0.00
59	WATERSTM	11.872	72.00	113.30	480.41	14.489	0.00
			69.00	113.35	480.41	14.497	0.00
60	WATERSTM	3.493	8.000	183.03	2799.81	67.316	100.00
			8.000	183.03	2799.81	67.316	100.00

**Çizelge B.2:** (Devam) Ara soğutma yapılması durumunda tüm borulardaki akışkanların termodinamik özellikleri

Boru no.	Ortam	Kütle Debisi [kg/s]	Basınç [bar]	Sıcaklık [°C]	Entalpi [kJ/kg]	Entropi [kJ/kg.K]	Kuruluk D. [%]
61	WATERSTM	0.186	69.00	113.35	480.41	14.497	0.00
			69.00	113.35	480.41	14.497	0.00
62	WATERSTM	1.394	8.000	183.03	2799.81	67.316	100.00
			8.000	183.03	2799.81	67.316	100.00
63	WATERSTM	1.419	4.500	130.00	546.51	16.345	0.00
			4.500	130.00	546.51	16.345	0.00
64	WATERSTM	1.419	4.500	130.00	546.51	16.345	0.00
			4.500	130.00	546.51	16.345	0.00
65	WATERSTM	3.493	4.500	130.00	546.51	16.345	0.00
			4.500	130.00	546.51	16.345	0.00
66	WATERSTM	0.000	45.50	397.72	3199.15	66.926	100.00
			45.50	397.72	3199.15	66.926	100.00
67	WATERSTM	11.453	45.50	397.72	3199.15	66.926	100.00
			45.50	397.72	3199.15	66.926	100.00
68	WATERSTM	0.000	27.60	229.28	1794.98	42.120	44.50
			27.60	229.28	1794.98	42.120	44.50
69	WATERSTM	0.186	69.00	113.35	480.41	14.497	0.00
			66.60	113.39	480.41	14.504	0.00
70	WATERSTM	0.000	69.00	113.35	480.41	14.497	0.00
			69.00	113.35	480.41	14.497	0.00
71	WATERSTM	0.000	27.60	114.06	480.41	14.610	0.00
			27.60	114.06	480.41	14.610	0.00
72	WATERSTM	0.000	27.60	383.90	3199.15	69.114	100.00
			27.60	383.90	3199.15	69.114	100.00
73	WATERSTM	5.918	11.40	238.57	2912.01	68.083	100.00
			11.40	238.57	2912.01	68.083	100.00
74	WATERSTM	0.186	25.20	114.10	480.41	14.616	0.00
			25.20	114.10	480.41	14.616	0.00
75	WATERSTM	2.960	11.40	249.00	2935.71	68.541	100.00
			11.40	249.00	2935.71	68.541	100.00
76	WATERSTM	0.000	27.60	229.28	1794.98	42.120	44.50
			25.20	224.38	1794.98	42.286	45.21
77	WATERSTM	1.390	25.20	344.66	3114.30	68.184	100.00
			25.20	344.66	3114.30	68.184	100.00
78	WATERSTM	1.576	25.20	224.70	2803.22	62.551	100.00
			25.20	224.70	2803.22	62.551	100.00
79	WATERSTM	0.000	27.60	229.28	1794.98	42.120	44.50
			27.60	229.28	1794.98	42.120	44.50
80	WATERSTM	1.390	27.60	346.97	3114.30	67.785	100.00
			25.20	344.66	3114.30	68.184	100.00



**Çizelge B.2:** (Devam) Ara soğutma yapılması durumunda tüm borulardaki akışkanların termodinamik özellikleri

Boru no.	Ortam	Kütle Debisi [kg/s]	Basınç [bar]	Sıcaklık [°C]	Entalpi [kJ/kg]	Entropi [kJ/kg.K]	Kuruluk D. [%]
81	WATERSTM	3.493	4.500	130.00	546.51	16.345	0.00
			4.500	130.00	546.51	16.345	0.00
82	WATERSTM	0.027	11.40	249.00	2935.71	68.541	100.00
			11.40	242.91	2921.91	68.275	100.00
83	WATERSTM	0.028	11.40	265.18	2971.87	69.223	100.00
			11.40	230.05	2892.34	67.695	100.00
84	WATERSTM	0.286	11.40	113.57	477.21	14.571	0.00
			11.40	113.57	477.21	14.571	0.00
85	WATERSTM	0.028	11.40	93.30	788.25	21.942	0.00
			11.40	41.51	391.67	12.299	0.00
86	WATERSTM	5.918	11.40	238.57	2912.01	68.083	100.00
			11.40	238.57	2912.01	68.083	100.00
87	WATERSTM	6.204	11.40	192.25	2799.81	65.782	100.00
			10.30	189.34	2799.81	66.218	100.00
88	GASMIX 2	129.000	1.150	412.48	-860.53	79.921	
			1.150	412.48	-860.53	79.921	
89	GASMIX 2	129.000	1.145	280.08	-1009.00	77.529	
			1.145	280.08	-1009.00	77.529	
90	GASMIX 2	129.000	1.140	268.35	-1021.94	77.306	
			1.140	268.35	-1021.94	77.306	
91	GASMIX 2	129.000	1.135	266.37	-1024.11	77.279	
			1.135	266.37	-1024.11	77.279	
92	GASMIX 2	129.000	1.130	255.21	-1036.38	77.062	
			1.130	255.21	-1036.38	77.062	
93	GASMIX 2	129.000	1.125	210.58	-1085.15	76.111	
			1.125	210.58	-1085.15	76.111	
94	GASMIX 2	129.000	1.120	192.52	-1104.76	75.711	
			1.120	192.52	-1104.76	75.711	
95	GASMIX 2	129.000	1.115	187.00	-1110.75	75.595	
			1.115	187.00	-1110.75	75.595	
96	GASMIX 2	129.000	1.110	176.41	-1122.20	75.356	
			1.110	176.41	-1122.20	75.356	
97	GASMIX 2	129.000	1.105	142.24	-1159.00	74.518	
			1.105	142.24	-1159.00	74.518	
98	WATERSTM	3.881	10.30	189.34	2799.81	66.218	100.00
			10.30	189.34	2799.81	66.218	100.00
99	WATERSTM	2.323	10.30	189.34	2799.81	66.218	100.00
			10.30	189.34	2799.81	66.218	100.00
100	WATERSTM	0.000	11.40	185.66	1794.98	43.884	50.50
			11.40	185.66	1794.98	43.884	50.50

**Çizelge B.2:** (Devam) Ara soğutma yapılması durumunda tüm borulardaki akışkanların termodinamik özellikleri

Boru no.	Ortam	Kütle Debisi [kg/s]	Basınç [bar]	Sıcaklık [°C]	Entalpi [kJ/kg]	Entropi [kJ/kg.K]	Kuruluk D. [%]
101	WATERSTM	2.323	8.000	183.03	2799.81	67.316	100.00
			8.000	183.03	2799.81	67.316	100.00
102	WATERSTM	3.881	8.000	183.03	2799.81	67.316	100.00
			8.000	183.03	2799.81	67.316	100.00
103	WATERSTM	1.576	24.00	222.30	2803.22	62.748	100.00
			24.00	222.30	2803.22	62.748	100.00
104	WATERSTM	0.929	8.000	183.03	2799.81	67.316	100.00
			8.000	183.03	2799.81	67.316	100.00
105	WATERSTM	0.388	8.000	183.03	2799.81	67.316	100.00
			8.000	183.03	2799.81	67.316	100.00
106	WATERSTM	0.158	24.00	222.30	2803.22	62.748	100.00
			24.00	222.30	2803.22	62.748	100.00
107	WATERSTM	1.394	4.500	85.00	356.25	11.341	0.00
			4.500	85.00	356.25	11.341	0.00
108	WATERSTM	1.394	4.500	85.00	356.25	11.341	0.00
			4.500	85.00	356.25	11.341	0.00
109	WATERSTM	0.000	4.500	130.00	546.51	16.345	0.00
			4.500	130.00	546.51	16.345	0.00
110	WATERSTM	6.305	4.500	120.12	504.45	15.288	0.00
			4.500	120.12	504.45	15.288	0.00
111	WATERSTM	0.000	4.500	130.00	546.51	16.345	0.00
			4.500	130.00	546.51	16.345	0.00
112	WATERSTM	0.000	4.500	85.00	356.25	11.341	0.00
			4.500	85.00	356.25	11.341	0.00
113	WATERSTM	0.028	0.08000	41.51	390.07	12.797	9.00
			0.08000	41.51	390.07	12.797	9.00
114	WATERSTM	7.075	0.08000	41.51	2360.02	75.403	91.00
			0.08000	41.51	2360.02	75.403	91.00
115	WATERSTM	0.027	11.40	93.30	788.25	21.942	0.00
			11.40	41.51	391.67	12.299	0.00
116	WATERSTM	2.933	11.40	249.00	2935.71	68.541	100.00
			11.40	249.00	2935.71	68.541	100.00
117	WATERSTM	9.300	13.80	41.51	175.06	0.5920	0.00
			13.80	41.51	175.06	0.5920	0.00
118	WATERSTM	2.960	11.40	265.18	2971.87	69.223	100.00
			11.40	249.00	2935.71	68.541	100.00
119	WATERSTM	365.477	4.000	35.00	147.00	0.5050	0.00
			4.000	35.00	147.00	0.5050	0.00
120	WATERSTM	2.170	0.5000	18.90	79.36	0.2808	0.00
			0.08000	18.90	79.36	0.2809	0.00

**Çizelge B.2:** (Devam) Ara soğutma yapılması durumunda tüm borulardaki akışkanların termodinamik özellikleri

Boru no.	Ortam	Kütle Debisi [kg/s]	Basınç [bar]	Sıcaklık [°C]	Entalpi [kJ/kg]	Entropi [kJ/kg.K]	Kuruluk D. [%]
121	WATERSTM	0.027	0.08000	41.51	390.07	12.797	9.00
			0.08000	41.51	390.07	12.797	9.00
122	GASMIX 1	124.514	1.013	15.00	-113.18	68.713	
			1.013	15.00	-113.18	68.713	
123	WATERSTM	365.477	4.000	25.00	105.21	0.3672	0.00
			4.000	25.00	105.21	0.3672	0.00
124	GASMIX 3	125.179	30.10	531.00	360.48	69.936	
			30.10	531.00	360.48	69.936	
125	GASMIX 2	129.000	29.83	1179.68	83.28	79.475	
			29.83	1179.68	83.28	79.475	
126	GASMIX 2	129.000	29.83	1179.68	83.28	79.475	
			29.83	1179.68	83.28	79.475	
127	WATERSTM	2.933	11.40	249.00	2935.71	68.541	100.00
			11.40	249.00	2935.71	68.541	100.00
128	GASMIX 2	129.000	1.160	446.00	-822.18	80.442	
			1.160	446.00	-822.18	80.442	
129	GASMIX 4	2.348	15.00	15.00	-4663.52	98.911	
			15.00	15.00	-4663.52	98.911	
130	GASMIX 5	3.821	30.10	14.50	-8997.96	73.036	
			30.10	14.50	-8997.96	73.036	
131	GASMIX 6	1.473	15.00	15.00	-	37.361	
			15.00	15.00	-	37.361	
132	GASMIX 3	125.179	1.013	12.16	-196.58	68.565	
			1.013	12.16	-196.58	68.565	
133	GASMIX 6	0.665	1.013	38.00	-	40.575	
			1.013	38.00	-	40.575	
143	WATERSTM	3.186	17.10	209.21	2808.45	64.248	100.00
			17.10	209.21	2808.45	64.248	100.00
144	WATERSTM	0.065	17.10	209.21	2808.45	64.248	100.00
			17.10	209.21	2808.45	64.248	100.00
145	WATERSTM	11.420	51.20	268.27	2805.63	59.861	100.00
			51.20	268.27	2805.63	59.861	100.00
146	WATERSTM	0.233	51.20	268.27	2805.63	59.861	100.00
			51.20	268.27	2805.63	59.861	100.00
147	WATERSTM	2.122	2.400	129.41	2721.96	70.843	100.00
			2.400	129.41	2721.96	70.843	100.00
148	WATERSTM	0.043	2.400	129.41	2721.96	70.843	100.00
			2.400	129.41	2721.96	70.843	100.00

## ÖZGEÇMİŞ



Hidayet Volkan YENER, 7.1.1983 tarihinde İstanbul'da doğdu. İlkokulu Zühtüpaşa Pansiyonlu İlkokulunda, orta ve lise öğrenimini Fahrettin Kerim Gökay Anadolu Lisesinde tamamladı. 2005 yılında Yıldız Teknik Üniversitesi Makine Mühendisliği Isı Proses Dalından mezun oldu. 2006 yılında İTÜ Enerji Enstitüsü, Enerji Bilim ve Teknoloji lisansüstü programına başladı.

Hidayet Volkan Yener, 2005 yılından bu yana ENTEK E.Ü.A.Ş. Koç Üniversitesi Tesisi'nde Tesis Sorumlu Mühendisi olarak çalışmaktadır.