

**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ ENERJİ ENSTİTÜSÜ**

**CANDU 6 NÜKLEER GÜÇ SANTRALİNİN EKSERJİ ANALİZİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
Volkan ÜNSAL**

**Anabilim Dalı : Enerji Bilim ve Teknoloji**

**Programı : Enerji Bilim ve Teknoloji**

**OCAK 2010**



**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ ENERJİ ENSTİTÜSÜ**

**CANDU 6 NÜKLEER GÜÇ SANTRALİNİN EKSERJİ ANALİZİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Volkan ÜNSAL**

**(301061047)**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 25 Aralık 2009**

**Tezin Savunulduğu Tarih : 26 Ocak 2010**

**Tez Danışmanı : Prof. Dr. Ahmet DURMAYAZ (İTÜ)**

**Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Feridun ÖZGÜÇ (İTÜ)**

**Prof. Dr. Murat AYDIN (İTÜ)**

**OCAK 2010**



## ÖNSÖZ

Bu çalışmada, CANDU 6 Nükleer Güç Santralinin Cycle-Tempo 5.0 isimli termodinamik analiz programında basitleştirilmiş bir termodinamik analiz modeli oluşturulmuştur. Bu model ve seçilen referans çevre koşulları kullanılarak yapılan termodinamik analiz ile tesisin bileşenlerindeki ekserji kayıpları araştırılmıştır.

Yeni ısı gücü tesisi tasarımında ve var olan tesislerin performanslarının geliştirilmesinde ekserji analizinin önemli bir araç olduğu ve enerji analizi ile birlikte mutlaka uygulanması gerektiği düşüncesiyle, bu tez çalışmasında literatürde yer almayan CANDU 6 NGS'nin ekserji analizi gerçekleştirilmiştir.

Beni bu konuda çalışmaya sevk eden, bilgi ve tecrübeleri ile bana yol gösteren, yardımlarını esirgemeyen değerli hocam Prof. Dr. Ahmet DURMAYAZ'a teşekkürlerimi sunarım. Sevgili Anneme ve Babama, ayrıca bugüne kadar üzerimde emeği olan tüm öğretmenlerime ve eşim Ayşenur ÖRS ÜNSAL'a teşekkürü bir borç bilirim.

Ocak 2010

Volkan ÜNSAL

Kimya Mühendisi



## İÇİNDEKİLER

### Sayfa

ÖNSÖZ.....	iii
İÇİNDEKİLER.....	v
KISALTMALAR.....	vii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	ix
ŞEKİL LİSTESİ.....	xi
SEMBOL LİSTESİ.....	xiii
ÖZET.....	xv
SUMMARY.....	xvii
<b>1. GİRİŞ.....</b>	<b>1</b>
<b>2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....</b>	<b>5</b>
<b>3. CANDU NÜKLEER GÜÇ SANTRALİ.....</b>	<b>17</b>
3.1 CANDU Nükleer Güç Santrali Bileşenleri.....	19
3.1.1 Birincil Isı Transport Sistemi.....	19
3.1.1.1 Reaktör.....	20
3.1.1.2 Buhar üreteçleri.....	22
3.1.1.3 Pompalar.....	22
3.1.1.4 Giriş – çıkış kollektörleri.....	22
3.1.1.5 Yavaşlatıcı sistemi.....	23
3.1.2 İkinci Çevrim.....	24
3.1.2.1 Türbin - jeneratör sistemi.....	24
3.1.2.2 Nem ayırıcı - yeniden ısıtıcı grubu.....	26
3.1.2.3 Yoğuşturucu grubu.....	26
3.1.2.4 Besi suyu ısıtma sistemi.....	26
<b>4. ISIL GÜÇ TESİSLERİNİN ENERJİ VE EKSERJİ ANALİZİ.....</b>	<b>27</b>
4.1 Isıl Güç Tesislerinin Enerji Analizi.....	29
4.2 Isıl Güç Tesislerinin Ekserji Analizi.....	30
4.2.1 Kazanda yanma ve ısı transferi.....	33
4.2.2 Nükleer reaktörde enerji dönüşümü ve transferi.....	34
4.2.3 Türbinlerde genişleme prosesi.....	35
4.2.4 Pompalardaki sıkıştırma prosesi.....	36
4.2.5 Isı değiştiriciler, buhar üreteçleri, ısıtıcılar, soğutucular ve yoğuşturucularda ısı transferi prosesi.....	37
<b>5. CYCLE-TEMPO PROGRAMI.....</b>	<b>39</b>
5.1 Cycle-Tempo Programının Kullanılışı.....	40
5.2 Cycle-Tempo Programında Kullanılan Ekipmanlar ve Özellikleri.....	42
5.2.1 Kazan (Tip 1).....	46
5.2.1.1 Kazan için veri girdileri.....	47
5.2.2 Ara Kızdırma (Tip 2).....	47
5.2.2.1 Ara kızdırma için veri girdileri.....	48
5.2.3 Türbin (Tip 3).....	48
5.2.3.1 Türbin için veri girdileri.....	49

5.2.4 Yoğuşturucu (Tip 4).....	50
5.2.4.1 Yoğuşturucu için veri girdileri.....	51
5.2.5 Besi Suyu Isıtıcısı (Tip 5).....	51
5.2.6 Isı değiştirici (Tip 6,12).....	52
5.2.6.1 Isı değiştirici için veri girdileri .....	53
5.2.7 Gazsızlaştırma ünitesi (Tip 7).....	53
5.2.8 Pompa (Tip 8).....	54
5.2.8.1 Pompa için veri girdileri .....	55
5.2.9 Nokta (Karıştırıcı ve Ayırıcı) (Tip 9-11).....	55
5.2.9.1 Nokta için veri girdileri .....	56
5.2.10 Kaynak/Kuyu (Tip 10) .....	56
5.2.10.1 Kaynak / Kuyu için veri girdileri .....	57
5.2.11 Vana (Tip 14).....	58
5.2.12 Jeneratör (Tip G).....	58
5.2.12.1 Jeneratör için veri girdileri.....	58
5.3 Cycle-Tempo Programı İle Analiz Edilen Basit Bir Buhar Çevrimi .....	59
5.3.1 Basit Cycle-Tempo modelinin sonuçları.....	62
<b>6. CANDU 6 NÜKLEER GÜÇ SANTRALİNİN CYCLE-TEMPO PROGRAMINDA MODELLENMESİ .....</b>	<b>67</b>
6.1 Birincil Isı Transport Sisteminin Modellenmesi .....	<b>70</b>
6.1.1 Reaktör, reaktör soğutma pompası ve kollektörlerin modellenmesi .....	70
6.1.2 Yavaşlatıcı çevriminin modellenmesi .....	71
6.1.3 Buhar üreteçlerinin modellenmesi.....	73
6.2 İkinci Çevrimin Modellenmesi.....	73
6.2.1 Güç üretimi bölümünün modellenmesi .....	73
6.2.2 Yoğuşturucu bölümünün modellenmesi .....	76
6.2.3 Ön ısıtma bölümünün modellenmesi.....	77
<b>7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....</b>	<b>81</b>
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>93</b>
<b>EKLER.....</b>	<b>95</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>	<b>111</b>



## KISALTMALAR

<b>AB</b>	: Alçak Basınç
<b>ABT</b>	: Alçak Basınç Türbini
<b>ACR</b>	: İleri CANDU Reaktörü (Advanced CANDU Reactor)
<b>AECL</b>	: Kanada Atom Enerjisi Limited Şirketi (Atomic Energy of Canada Limited)
<b>BITS</b>	: Birincil Isı Transport Sistemi
<b>BS</b>	: Besi Suyu
<b>BSI</b>	: Besi Suyu Isıtıcısı
<b>BWR</b>	: Kaynar Sulu Reaktör (Boiling Water Reactor)
<b>CANDU</b>	: Kanada Döteryum Uranyum Reaktörü (Canada Deuterium Uranium Reactor)
<b>CTM</b>	: Cycle-Tempo Modeli
<b>CTP</b>	: Cycle-Tempo Programı
<b>DUT</b>	: Delft Teknoloji Üniversitesi (Delft University of Technology)
<b>EC6</b>	: Geliştirilmiş CANDU 6 (Enhanced CANDU 6)
<b>İÇ</b>	: İkinci Çevrim
<b>GUI</b>	: Grafik Kullanıcı Arayüzü (Graphical User Interface)
<b>KS</b>	: Kömürlü Santral
<b>MIT</b>	: Massachusetts Teknoloji Enstitüsü (Massachusetts Institute of Technology)
<b>NGS, NPP</b>	: Nükleer Güç Santrali (Nuclear Generating Station, Nuclear Power Plant)
<b>PHWR</b>	: Basıncılı Ağır Su Reaktörü (Pressurized Heavy Water Reactor)
<b>PWR</b>	: Basıncılı Su Reaktörü (Pressurized Water Reactor)
<b>RSP</b>	: Reaktör Soğutma Pompası
<b>YB</b>	: Yüksek Basınç
<b>YBT</b>	: Yüksek Basınç Türbini



## ÇİZELGE LİSTESİ

	<b><u>Sayfa</u></b>
<b>Çizelge 3.1</b> : CANDU tipi reaktörlerin evrimsel gelişimi [1].....	18
<b>Çizelge 5.1</b> : CTP ekipman listesi, sistem eşitliği ve semboller [20].....	43
<b>Çizelge 5.2</b> : Basit Rankine çevriminde hesaplama için başlangıç değerleri .....	61
<b>Çizelge 5.3</b> : Basit Rankine çevrimi için ünite giriş ve çıkışlarında termodinamik özellikler. ....	64
<b>Çizelge 5.4</b> : Basit Rankine çevrimi için Termodinamiğin Birinci ve İkinci Yasası analizlerinin sonuçları. ....	65
<b>Çizelge 6.1</b> : CANDU 6 NGS'nin teknik verileri [2-5].....	68
<b>Çizelge 7.1</b> : CTM'de termodinamik özelliklerin okunması için anahtar. ....	81
<b>Çizelge 7.2</b> : CANDU 6 NGS için Termodinamiğin İkinci Yasası analizi sonuçları. .	85
<b>Çizelge 7.3</b> : CANDU 6 NGS için hesaplanan güç dağılımı ve verim sonuçları. ....	86



## SEKİL LİSTESİ

### Sayfa

<b>Şekil 2.1</b> : Pickering Nükleer Güç Santralinin basitleştirilmiş akış şeması [6].	6
<b>Şekil 2.2</b> : PWR NPP'nin termodinamik verimi ve her bir bileşen grubundaki tersinmezlik dağılımı [8].	9
<b>Şekil 2.3</b> : LaSalle County NPP için hesaplanan toplam verim ve alt sistemlerdeki tersinmezlik dağılımı [9].	10
<b>Şekil 2.4</b> : Basitleştirilmiş prototip ısı güç tesisi [10].	11
<b>Şekil 2.5</b> : Basitleştirilmiş prototip ısı güç tesisinde tesis verimi ve tersinmezliklerin dağılımı [10].	11
<b>Şekil 2.6</b> : Basitleştirilmiş prototip ısı güç tesisinde birinci ve ikinci yasa analizi sonuçlarının karşılaştırılması [10].	12
<b>Şekil 2.7</b> : Kömürlü güç tesisinin alt kritik koşullarda Cycle-Tempo modeli [14].	13
<b>Şekil 2.8</b> : Kömürlü güç tesisinin üst kritik koşullarda Cycle-Tempo modeli [14].	14
<b>Şekil 2.9</b> : Kömürlü güç tesisinin ultra üst kritik koşullarda Cycle-Tempo modeli [14].	14
<b>Şekil 3.1</b> : Zhejiang, Çin'de bulunan Qinshan CANDU 6 NGS [16].	19
<b>Şekil 3.2</b> : CANDU 6 reaktörü [17].	20
<b>Şekil 3.3</b> : Buhar üretici [18].	21
<b>Şekil 3.4</b> : Yavaşlatıcı sistemi. ( [1] no.lu kaynaktan yararlanılarak çizilmiştir).	22
<b>Şekil 3.5</b> : CANDU 6 Birincil Isı Transport Sistemi'nin blok akış şeması. ( [1] no.lu kaynaktan yararlanılarak çizilmiştir).	25
<b>Şekil 3.6</b> : CANDU 6 İkinci Çevrim'inin blok akış şeması. ( [4] no.lu kaynaktan yararlanılarak çizilmiştir).	26
<b>Şekil 4.1</b> : Bir kontrol hacmi.	29
<b>Şekil 5.1</b> : CTP'nin ilk açılış ekranı [20].	40
<b>Şekil 5.2</b> : CTP'nin çalışma alanı penceresi ve görüntülenebilecek alt pencereler [20].	41
<b>Şekil 5.3</b> : CTP'de yeni dosya açıldığında karşılaşılan arayüz [20].	42
<b>Şekil 5.4</b> : Kazan tipi Cycle-Tempo ekipmanının veri giriş penceresi [20].	46
<b>Şekil 5.5</b> : Kazan için giren-çıkan boru bağlantıları [20].	47
<b>Şekil 5.6</b> : Ara kızdırma için giren-çıkan boru bağlantıları [20].	48
<b>Şekil 5.7</b> : Türbin modeli için simgeler ve giriş-çıkış bilgileri [20].	49
<b>Şekil 5.8</b> : Yoğuşturucu modeli için simgeler ve giriş-çıkış bilgileri [20].	50
<b>Şekil 5.9</b> : Besi suyu ısıtıcısı için simgeler ve giriş-çıkış bilgileri [20].	52
<b>Şekil 5.10</b> : Isı değiştirici için simgeler ve giriş-çıkış bilgileri [20].	53
<b>Şekil 5.11</b> : Gazsızlaştırma ünitesi için simgeler ve giriş-çıkış bilgileri [20].	54
<b>Şekil 5.12</b> : Pompa ünitesi için simgeler ve giriş-çıkış bilgileri [20].	54
<b>Şekil 5.13</b> : Nokta ünitesi için simgeler ve giriş-çıkış bilgileri [20].	55
<b>Şekil 5.14</b> : Kaynak / Kuyu ünitesi için simgeler ve giriş-çıkış bilgileri [20].	56
<b>Şekil 5.15</b> : Vana için simgeler ve giriş-çıkış bilgileri [20].	58
<b>Şekil 5.16</b> : Jeneratör için simgeler ve giriş-çıkış bilgileri [20].	59
<b>Şekil 5.17</b> : Basit Rankine çevriminin akış şeması.	60
<b>Şekil 5.18</b> : Basit Rankine çevriminin Cycle-Tempo modeli.	60

<b>Şekil 5.19</b> : Cycle-Tempo örnek modelinin çalıştırıldıktan sonra sonuçların ekranda görünüşü. ....	62
<b>Şekil 5.20</b> : Modelin sorunsuz çalıştığını gösteren pencere. ....	62
<b>Şekil 5.21</b> : CTP’de sonuçların boru giriş ve çıkışları ile ekipmanlar üzerinde görüntülenmesi için kullanılan araç. ....	63
<b>Şekil 6.1</b> : CTM’de seçilen çevre modelinin CTP arayüzü. ....	69
<b>Şekil 6.2</b> : CTM’de hesaplama ayarları. ....	70
<b>Şekil 6.3</b> : CTM’de reaktör, RSP ve kollektörün modellenmesi. ....	71
<b>Şekil 6.4</b> : CTM’de yavaşlatıcı çevriminin modellenmesi. ....	72
<b>Şekil 6.5</b> : CTM’de taze buhardan alınan hatlar ve türbinden tıkaç buharı çıkışları. ....	74
<b>Şekil 6.6</b> : CTM’de YBT’ye buhar giriş ve çıkışları ile ara buhar çıkışları. ....	74
<b>Şekil 6.7</b> : CTM’de nem ayırıcı ve ara kızdırıcı modelleri. ....	75
<b>Şekil 6.8</b> : CTM’de ABT’ye buhar girişi, tıkaç buharı ve ön ısıtıcıya gönderilen buhar boruları modelleri. ....	75
<b>Şekil 6.9</b> : CTM’de ABT’den ara buhar çıkışları. ....	76
<b>Şekil 6.10</b> : CTM’de yoğunlaştırıcı bölümünün modeli. ....	77
<b>Şekil 6.11</b> : CANDU 6 NGS’nin Birincil Isı Transport Sistemini, İkinci Çevrimini ve Yavaşlatıcı Çevrimini gösteren akış şeması. ( [4] no.lu kaynaktan yararlanılarak çizilmiştir). ....	78
<b>Şekil 6.12</b> : CANDU 6 NGS’nin CTP modeli. ....	79
<b>Şekil 7.1</b> : CANDU 6 NGS’de borulardaki termodinamik özelliklerini gösteren CTP modeli. ....	82
<b>Şekil 7.2</b> : CANDU 6 NGS için termodinamik verim ve tersinmezlik oranları dağılımı. ....	88
<b>Şekil 7.3</b> : CANDU 6 NGS için basitleştirilmiş enerji balansı ( $MW_{th}$ ) ....	89
<b>Şekil 7.4</b> : CANDU 6 NGS için basitleştirilmiş ekserji balansı ( $MW_{th}$ ) ....	90
<b>Şekil 7.5</b> : Kaynakça listesinde [6, 8, 9] numaralı yayınlardaki değişik tiplerdeki NGS’ler ile ekserji analizi yapılan CANDU 6 NGS’nin verimleri ve reaktörlerindeki tersinmezlik oranlarının karşılaştırılması. ....	91

## SEMBOL LİSTESİ

$e$	: kontrol yüzeyinden geçen birim kütle başına enerji (kJ/kg)
$\dot{E}$	: toplam enerji akış hızı (kW)
$e_x$	: kontrol yüzeyinden geçen birim kütle başına ekserji (kJ/kg)
$\dot{E}_x$	: toplam ekserji akış hızı (kW)
$g$	: yerçekimi ivmesi ( $m/s^2$ )
$h$	: entalpi (kJ/kg)
$\dot{I}$	: birim zamandaki tersinmezlik (kW)
$\dot{m}$	: kütleli debi (kg/s)
$P$	: basınç (kPa veya MPa)
$P_{el}$	: elektriksel güç (kW)
$P_{tür}$	: türbin gücü (kW)
$\dot{Q}$	: birim zamandaki ısı geçişi (kW)
$s$	: entropi (kJ/kgK)
$T$	: sıcaklık ( $^{\circ}C$ )
$v$	: özgül hacim ( $m^3/kg$ )
$V$	: akış hızı (m/s)
$\dot{W}$	: toplam güç (kW)
$z$	: yükseklik (m)
$\dot{S}_{üre}$	: toplam entropi üretimi (kW/K)
$\Sigma$	: toplam
$\eta$	: 1. Yasa verimi
$\zeta$	: 2. Yasa verimi

### Alt indisler

$a$	: iş gören akışkan
$A$	: atık ısı
$0$	: çevreye ait termodinamik özellikler
$B\ddot{U}$	: buhar üretici
$\ç$	: çıkan
$\çev$	: çevre
$fis$	: fisyon
$f\ddot{u}$	: fisyon ürünü
$IG$	: ısı geçişi
$g$	: giren
$kh$	: kontrol hacmi
$K$	: kazan
$maks$	: maksimum
$p$	: pompa
$R$	: reaktör
$RSP$	: reaktör soğutma pompası

*t* : türbin  
*ter* : tersinir  
*üre* : üretilen  
*y* : yararlanılabilir  
*yan* : yanma  
*yav* : yavaşlatıcı  
*yoğ* : yoğuşturucu





## CANDU 6 NÜKLEER GÜÇ SANTRALİNİN EKSERJİ ANALİZİ

### ÖZET

Bu çalışmada, CANDU 6 Nükleer Güç Santralinin (NGS) basitleştirilmiş bir termodinamik analiz modeli, Cycle-Tempo 5.0 termodinamik analiz programında oluşturulmuştur. Bu model ve seçilen referans çevre koşulları kullanılarak yapılan termodinamik analiz ile tesisin bileşenlerindeki ekserji yıkımları veya kayıpları (tersinmezlikler) araştırılmıştır.

Nükleer Güç Santrallerinin ekserji analizi amacıyla daha önce yapılmış olan ve literatürde yer alan BWR ve PWR Nükleer Güç Santralleri ile, 540 MW<sub>e</sub> güce sahip (600 MW<sub>e</sub> serisinde yer alan) CANDU PHWR tipi Pickering Nükleer Güç Santrali ekserji analizlerine, bu tez çalışmasıyla 700 MW<sub>e</sub> serisinde yer alan CANDU 6 NGS'nin ekserji analizi gerçekleştirilerek katkı sağlanması amaçlanmıştır.

Bu çalışmada oluşturulan Cycle-Tempo 5.0 modeli ile CANDU 6 NGS'nin borularındaki akışkanın termodinamik özellikleri, toplam enerji ve ekserji akış hızları, santralin bileşenlerinin verimlilikleri, enerji ve ekserji değerleri, pompalara ve ısı değiştiricilerine ilişkin veriler elde edilmiş, bu sonuçlar muhakeme edilerek, santralde ekserji kayıplarının yerleri ve büyüklükleri ile en çok ekserji kayıplarının ortaya çıktığı bileşenler saptanmıştır. Termodinamiğin 1. yasasına dayalı enerji analizine göre enerjinin en fazla yoğunlaştırıcıda kaybedildiği belirlenmektedir. Oysa ki Termodinamiğin 1. ve 2. yasalarının birlikte değerlendirilmesi ile bu tez çalışmasında gerçekleştirilen ekserji analizine göre, seçilen çevre şartları referans alınarak enerjinin yararlanılabilir kısmını içeren özel bir formu olarak kısaca tanımlanabilecek ekserjinin, tersinmezliklerin en büyük değere sahip olduğu reaktörde en fazla kaybedildiği, bunu ekserji kaybının büyüklüğü itibarıyla sırasıyla türbinler, buhar üreteçleri ve yoğunlaştırıcununun izlediği belirlenmiştir.



## **EXERGY ANALYSIS OF A CANDU 6 NUCLEAR GENERATING STATION**

### **SUMMARY**

In this study, a simple thermodynamic analysis model for a CANDU 6 Nuclear Generating Station (NGS) has been developed by using the Cycle-Tempo 5.0 thermodynamic analysis program. Exergy destructions and losses (irreversibilities) in each plant component have been determined by using this model and the selected reference environmental conditions during this thermodynamic analysis.

In this thesis, by performing the exergy analysis for a 700 MW<sub>e</sub> series CANDU 6 NGS, it is aimed to contribute to the exergy analyses of nuclear power plants (NPPs) that can be found in the literature for BWR and PWR NPPs and for the Pickering NGS, which is a 540-MW<sub>e</sub> (600 MW<sub>e</sub> series) CANDU PHWR NGS.

As a result, this Cycle-Tempo 5.0 model has determined thermodynamic properties in pipes, total energy and exergy flow rates, component efficiencies, energy and exergy values, power and efficiency data for pumps, and heat transfer data for heat exchanging equipments of the CANDU 6 NGS. Results of this analysis have been evaluated to pinpoint the irreversibility in each component of this NGS and to address the component that has the maximum exergy loss. According to the energy analysis based on the first law of thermodynamics, it has been determined that the maximum energy loss takes place in the condenser. However, when the first and second laws of thermodynamics are evaluated together in the exergy analysis as it is done in this thesis, exergy, which can be defined as the useful part of energy for the predetermined reference environmental conditions, is mostly destroyed in the reactor itself since it has the maximum irreversibility. Turbines, steam generators and condenser follow the reactor in the exergy destruction rank.



## 1. GİRİŞ

CANDU tipi nükleer güç üretim tesisleri, AECL (Atomic Energy of Canada Limited) tarafından ilk olarak 1950'li yılların sonunda ve 1960'lı yılların başında tasarılan ve Birincil Isı Transport Sistemi'nde (BITS) soğutucu, yavaşlatıcı ve yansıtıcı olarak ağır su kullanılan tesislerdir [1]. Bu tesislerin dünyada değişik güçlerde ve konfigürasyonda çalışan modelleri mevcuttur. Bu çalışmada göz önüne alınan CANDU 6 NGS, 700 MW<sub>e</sub> sınıfı bir nükleer güç santralidir ve nominal elektrik gücü 697 MW<sub>e</sub>'dir [2-5]. Tesis, doğal uranyumlu yakıtından elde edilen fisyon enerjisinden elektrik enerjisi üretmek üzere tasarlanmış bir nükleer güç santralidir. Tesis, genel olarak Birincil Isı Transport Sistemi ve İkinci Çevrim (İÇ) olmak üzere iki ayrı bölüm olarak incelenebilir. BITS'de, uranyum yakıtının kontrollü fisyonu sonucu elde edilen enerji, ağır su olan soğutucu akışkan vasıtasıyla reaktör kalbinde bulunan toplam 380 adet yakıt kanalından uzaklaştırılır ve hafif su ile ısı değiştirdiği buhar üretecine gider. Enerjisini buhar üretecinde hafif suya aktaran ağır su akışkan, pompa vasıtasıyla tekrar reaktör kalbine döner. BITS'den İÇ'ne ısı aktarımı buhar üreteçlerinde gerçekleşir. Isı aktarımı neticesinde buhar üretecinde yüksek basınçlı ve yüksek buhar içerikli su-buhar karışımı üretilir. Bu buharın bir kısmı ara kızdırıcıya, büyük bir kısmı da Yüksek Basınç Türbinine (YBT) iletilir. Bu buharın çok az bir kısmı da tıkaç buharı olarak YBT'de kullanılır. YBT'den 3 adet ara buhar çıkışı alınır ve bunların iki tanesi besi suyu ısıtıcılarına ve bir tanesi de ara kızdırıcıya iletilir. YBT'den çıkan ana buhar çıkışı, nem ayırıcı ünitesine iletilir. Yüksek oranda nemi alınan buhar, ara kızdırıcılarda sırasıyla YBT'den gelen ara buhar ve buhar üretecinden gelen taze buhar ile kademeli olarak ısıtılır. Ara kızdırıcıdan alınan kızgın buhar, Alçak Basınç Türbinine (ABT)'ne iletilir. CANDU 6 NGS'de 3 adet ABT bulunmaktadır. ABT'den değişik basınç ve sıcaklıklarda toplam dört adet ara buhar çekilir ve besi suyu ısıtıcılarında besi suyunun ısıtılmasında kullanılır. ABT'nin ana buhar çıkışı, yoğuşturucu ünitelerinde vakum altında yoğuşturularak, ısıtılacağı besi suyu ısıtma sistemine besi suyu pompaları vasıtasıyla basılır. Besi suyu ısıtma sisteminin ilk iki ünitesi tıkaç buharı yoğuşturucusu ve besi suyu ısıtıcıları sızıntı suları soğutucusudur. Bu ünitelerde

soğuyan su yoğuşturucuya iletilir. Besi suyu ısıtma sisteminde 2 adet besi suyu ısıtıcısı vakum altında, 2 adet besi suyu ısıtıcısı yaklaşık atmosfer basıncında ve diğer 2 besi suyu ısıtıcısı ise yüksek basınçta çalışmaktadırlar. Atmosfer basıncında ve yüksek basınçta çalışan besi suyu ısıtıcıları arasına, nem ayırıcıdan gelen su iletilir. Yüksek basınçtaki besi suyu ısıtıcıları arasında bulunan besi suyu pompaları vasıtasıyla besi suyu basınçlandırılır ve YBT'den gelen ara buhar ile daha fazla ısıtılarak buhar üreticisine iletilir [2-5].

Bu tesisin BITS ve İÇ'indeki ana bileşenlerde mevcut termodinamik veriler kullanılarak ve mevcut olmayan veriler de hesaplanarak, ekserji analizi gerçekleştirilmiştir. Bu analiz ile tesisteki tersinmezliklerin kaynağı olan bileşenler saptanmış, var olan tesislerin geliştirilmesi, yeni tasarlanacak tesislerin de bu bilgiler ışığında tasarlanması amaçlanmıştır.

Ekserji analizi yapmak için Delft Teknoloji Üniversitesi tarafından geliştirilen, Cycle-Tempo 5.0 programı kullanılmıştır. Sistem akış şemasında bilinen veya hesaplanan termodinamik veriler, Cycle-Tempo programına girilerek bir model oluşturulmuş, sonuçlar değerlendirilmiştir.

Bu tez kapsamında, Bölüm 2'de, ekserji analizi yapılan diğer ısı güç tesisleri, bu analizlerde bilgisayar kodlarının kullanımı, bu tesislerde ekserji analizi ile sağlanabilecek iyileştirmeler, belli başlı nükleer santral tiplerinde yapılmış olan ekserji analizleri ve sonuçlarının karşılaştırılması konularını kapsayan diğer araştırmacılar tarafından yapılan çalışmalar incelenmiştir.

Bölüm 3'de, CANDU 6 NGS'nin öncelikle genel bir tanıtımı yapılarak, 1. ve 2. çevrimlerinin akış şemaları verilmiş, bu şemalarda gösterilen, nükleer reaktör, buhar üreteçleri, pompalar, giriş ve çıkış kolektörleri, yavaşlatıcı sistemi, türbin jeneratör sistemi, nem ayırıcı yeniden ısıtıcı grubu, yoğuşturucu grubu ve besi suyu ısıtma sistemi bileşenleri ayrıntılı bir şekilde tanıtılmıştır.

Bölüm 4'de, ısı güç tesislerinde enerji ve ekserji analizinin temellerini oluşturan termodinamik denklemler ve türetilimleri verilmiş, ekserji analizlerinin ısı güç tesislerinin temel bileşenlerinde nasıl uygulanacağı açıklanmıştır.

Bölüm 5'de, Delft Teknoloji Üniversitesi'nde geliştirilen Cycle-Tempo 5.0 Programı (CTP) tanıtılmıştır. CTP programının kullanılışı, temel çalışma prensipleri, CTP'de mevcut ekipmanlar hakkında bilgiler verilmiştir. Cycle-Tempo Programının

kullanımı, basit bir Rankine çevrimi üzerinde gösterilmiş ve elde edilen sonuçlar sunulmuştur.

Bölüm 6'da, CANDU 6 NGS'nin CTP'de nasıl modellendiği anlatılmıştır. Tesisin 1. ve 2. çevrimleri ile moderatör çevriminin Cycle-Tempo'da nasıl modellendiği, mevcut termodinamik verilerden Cycle-Tempo modelinin çalışır hale nasıl getirildiği ve gerçek tesiste bulunan bileşenlerin Cycle-Tempo karşılıkları anlatılmıştır. Sadece ekipmanların görülebildiği CTP modeli ve borulardaki akış değerlerinin de görülebildiği CTP modeli ayrı ayrı sunulmuştur.

Bölüm 7'de, CANDU 6 NGS'nin CTP'de elde edilen, borulardaki akış değerleri, sistem verimlilikleri, enerji ve ekserji değerleri, toplam enerji ve ekserji akış hızları, pompalara ilişkin veriler ve ısı değıştiren bileşenlere ilişkin değerler tablolar halinde verilmiş, elde edilen sonuçlar değerlendirilmiş, karşılaştırılmış ve yorumlanmıştır.



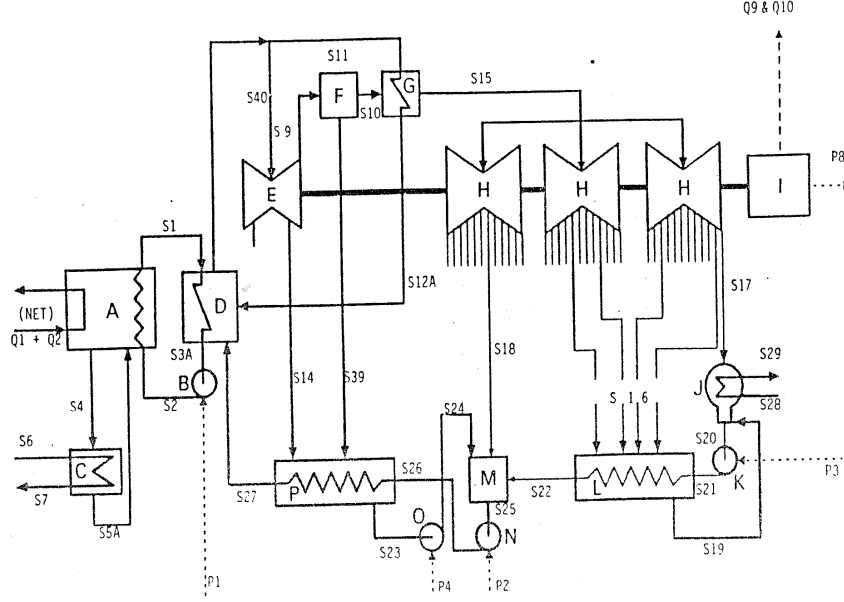


## 2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Dünya’da elektrik enerjisi üretiminde önemli pay sahibi olan nükleer güç tesislerinin tümünün tasarımı Termodinamiğin Birinci Yasası’ndan yararlanılarak gerçekleştirilmiştir. Termodinamiğin Birinci Yasası’ndan yararlanılarak gerçekleştirilen enerji analizi ile sistemde en az veya en çok tersinmezliğin nerede gerçekleştiğini saptamak mümkün değildir. Bunun için enerji analizi ile birlikte Termodinamiğin İkinci Yasası’na dayalı olarak yapılan ekserji analizi birlikte yapılmalıdır. Böylelikle, nükleer güç tesisinde ve tesisi oluşturan ünitelerdeki tersinmezliklerin kaynaklarını belirlemek ve işin yararlanılabilir bölümünün hangi ünitelerde ne miktarda kaybedildiğini saptamak mümkün olur. Bunun sonucunda, nükleer güç tesislerinde tesis verimini arttırabilmek amacıyla potansiyel iyileştirmelerin yerleri belirlenebilir; işin yararlanılabilir bölümünün en fazla kaybedildiği belirlenen ünite, aynı zamanda tesisin verimini arttırma açısından en fazla potansiyele sahip ünite olarak adreslenmiş olur. Bu amaçla yapılan bazı çalışmalar literatürde yer almaktadır. Yapılan analizlerde çeşitli bilgisayar yazılımları da kullanılmaktadır; böylece parametrik analizler yapmak mümkün olmaktadır.

Bu bölümde, çeşitli tiplerdeki nükleer güç santrallerinin ekserji analizleri ve genel olarak ısı güç tesislerinin ekserji analizi ile ilgili literatürde yer alan çalışmalardan bazıları sunulmaktadır.

M.A. Rosen ve D.S. Scott, 1986 yılında Kanada Nükleer Topluluğu 7. Yıllık Konferansına sundukları “ Bir nükleer güç tesisinde enerji ve ekserji analizi” başlıklı bildiri, CANDU reaktör konseptini kullanan Pickering Nükleer Güç Tesisinin Termodinamiğin Birinci ve İkinci Yasalarına dayanan analizi anlatılmaktadır [6]. Simülasyon için Aspen Plus bilgisayar kodunun yazarlar tarafından geliştirilmiş özel bir versiyonu kullanılmıştır. Araştırmacılar, kolaylık olması açısından tesisi dört bölüme ayırarak incelemişlerdir. Pickering NGS’nin basitleştirilmiş akış şeması Şekil 2.1’de gösterilmektedir.



**Şekil 2.1** : Pickering Nükleer Güç Santralinin basitleştirilmiş akış şeması [6].

Bu akış şemasında, A: nükleer reaktörü, B: ağır su pompasını, C: yavaşlatıcı soğutucusunu, D: buhar üreticini, E: yüksek basınç türbinini, F: nem ayırıcısı, G: kapalı ara kızdırıcısı, H: alçak basınç türbinlerini, I: jeneratör ve transformatörü, J: yoğuşturucuyu, K: yoğuşmuş su pompasını, L: kapalı ısı değiştiricileri, M: açık gazsızlaştırıcı ısı değiştiricisini, N: kazan besleme pompasını, O: pompayı, P: kapalı ısı değiştiricileri göstermektedir. A ekipmanına uranyum giriş ve çıkışı ile C ve J ekipmanlarına soğutma suyu giriş ve çıkışları da gösterilmiştir. S akışı, Q ısıyı, P ise gücü göstermektedir.

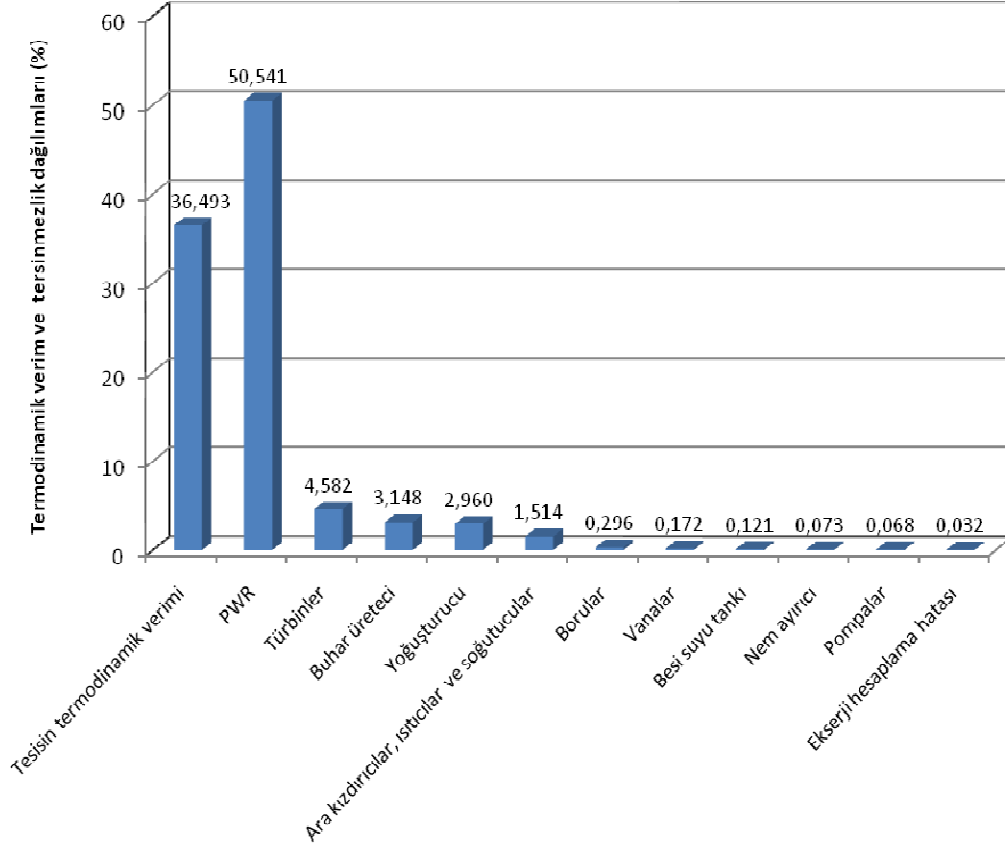
Bu çalışmada, türbinlerin %80 izantropik verimi ve %95 mekanik verimi olduğu, %99 verimli olduğu kabul edilen transformator haricinde bileşenlerde ısı kayıplarının olmadığı, jeneratör ve transformatordeki ısı kayıplarının çevre sıcaklığında gerçekleştiği ve ısı kaybıyla ekserji yıkımı olmadığı, tesise giren ve kullanılmış yakıt olarak çıkan nükleer yakıtın ana enerji girişi olduğu, nükleer yakıt sıcaklığının enerji ve ekserjiyi eşit kabul edilebilecek kadar yüksek olduğu kabulleri yapılmıştır. Bu çalışmada çevre modeli olarak, 15°C sıcaklık ve 1 atm basınç alınmıştır ki bu değerler tesise giren soğutma suyu sıcaklığı ve ortalama çevre basıncıdır. Ayrıca, sistemde kimyasal reaksiyon olmadığı varsayımı yapılmıştır. Bu çalışma sonucunda, uranyumun özgül enerji ve özgül ekserji değerlerinin eşit olduğu kabulüyle, sistemin enerji ve ekserji verimliliklerinin birbirine denk olduğu görülmüştür. Buna rağmen,

cihaz cihaz analiz edildiğinde, birçok alt sistemin enerji ve ekserji verimlilikleri farklı olmuştur. Buradan, enerji veya ekserji analizi kullanılmasıyla, sistemdeki kayıpların ortaya çıktığı noktaların tespitinde farklılıkların olacağı sonucuna varılmıştır. Ayrıca, enerji analizine göre büyük oranda sistemden dışarı atılan ısıdan kaynaklandığı sanılan kayıpların, ekserji analizi ile daha çok sistem içi tersinmezlikler ile kaybedildiği anlaşılmıştır. Daha özel olarak incelendiğinde, sistemdeki kayıpların en fazla kısmının (%83), akış şemasında A, B, C, D ekipmanlarıyla gösterilen buhar üretimi kısmında olduğu görülmüştür ve bunlardan A ile gösterilen reaktörde en çok kaybın yaşandığı sonucuna ulaşılmıştır. Reaktördeki bu kayıpların, yakıt peletlerinin ısıtılmasından, ısının pelet yüzeyine iletiminden, buradan, yakıt zarfının yüzeyine iletiminden ve yakıt zarfı yüzeyinden de akışkana iletiminden kaynaklandığı sonucuna varılmıştır. Bu sebeple, sistemin performansının geliştirilmesi için üzerinde çalışılması gereken en önemli bileşen reaktördür. Bu çalışmanın en genel sonucu, ısıl güç tesisi tasarımında ve var olan tesislerin performansının geliştirilmesinde ekserji analizinin yapılması zaruretini vurgulamasıdır.

M.A. Rosen'in 2001 yılında, yayımlanmış olduğu "Kömürlü ve nükleer güç santrallerin enerji ve ekserji tabanlı karşılaştırılması" başlıklı makalesinde, yine aynı yazarın daha önce kullanmış olduğu geliştirilmiş Aspen Plus kodunu kullanarak, kömürlü ve nükleer güç santrallerinin enerji ve ekserji tabanında karşılaştırması yapılmıştır [7]. Bu makalede, kömürlü santrallerin ve nükleer santrallerin karşılaştırılmasının nedeni, bütün sistemin enerji ve ekserji verimliliklerinin birbirlerine oldukça yakın olması ve sistemlerdeki kayıpların benzer özellik göstermesidir. Kömürlü santralde en fazla ekserji kaybı yanma prosesinde olurken, nükleer santralde de, nükleer reaktörde olmaktadır. Ayrıca her iki santralde de, yüksek sıcaklık farkıyla ısı değiştiren bileşenlerde yüksek ekserji kaybı olmaktadır. Bu çalışmada karşılaştırılan kömürlü santral (KS) Nanticoke Güç Santrali, nükleer santral ise daha önce aynı yazar tarafından incelenen, Pickering Nükleer Güç Tesisidir. Daha önce aynı yazar tarafından Pickering NGS analizinde izlenmiş olan yöntem, kömürlü santral içinde takip edilmiş ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Kömürlü santralin, bütün sistem için enerji ve ekserji verimlerinin, nükleer santrale göre daha yüksek çıktığı görülmüştür. Bunun nedenleri; ısı üretimindeki sıcaklıkların NGS'de KS'ye göre daha az olması, NGS'de reaktörde üretilen ısının buhar üreticine

aktarılması için ilave bir çevrime ihtiyaç duyulması, yani tesisin çift çevrimli olması KS'de ise böyle bir ısı aktarma mekanizmasının olmamasıdır. KS'de ısı transferi gaz-katı arasındayken, NGS'de sıvı-katı arasında olması, NGS'de nötron kaybı neticesinde oluşan enerji kayıpları ve NGS'de yanmış yakıttaki mevcut enerjiden faydalanılamaması şeklinde açıklanmıştır. Bu çalışmanın sonucunda, ekserji analizinin önemi, verimin artırılması için KS'de yanma prosesi ve NGS'de reaktör üzerinde çalışılması gerektiği, yanma olmaksızın veya yüksek sıcaklıklarda çalışabilecek tesislerin azami verimi verebileceği sonuçlarına ulaşılmıştır [7].

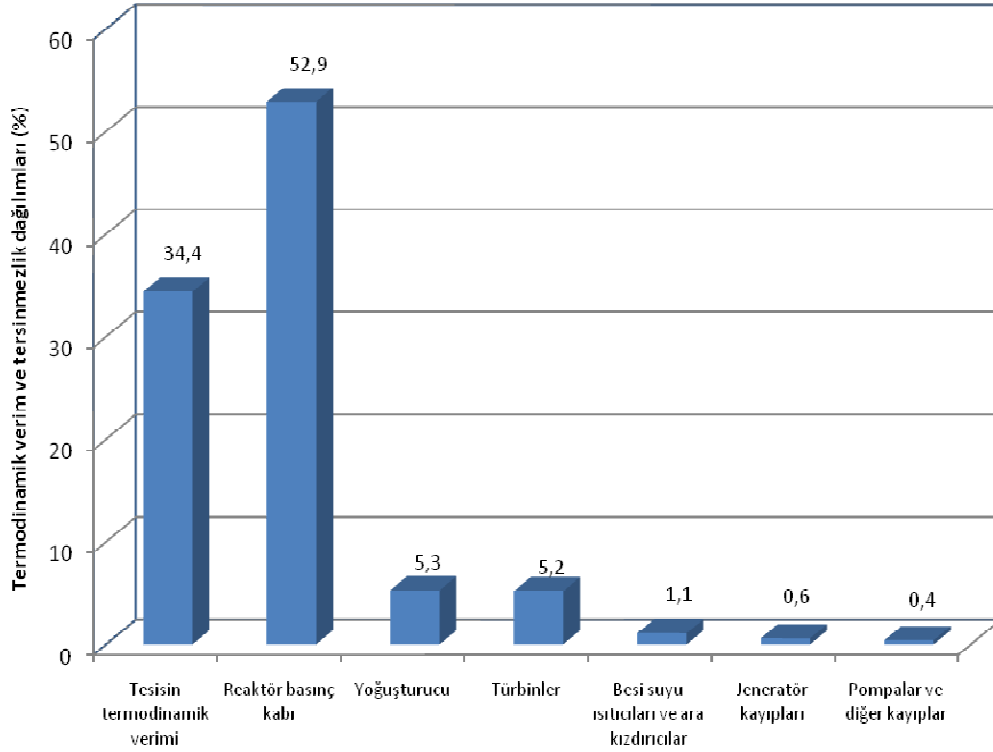
A. Durmayaz ve H. Yavuz'un 2001 yılında yayımlamış oldukları "Basıncılı su reaktörlü bir nükleer güç tesisinin ekserji analizi" başlıklı makalede, daha önce Türkiye ve Çin için önerilmiş bulunan  $4250 \text{ MW}_{\text{th}}$  ve  $1500 \text{ MW}_e$  gücünde bir basınçlı su reaktörü nükleer güç tesisinin ekserji analizi yapılmıştır [8]. Bunun için tesisin blok akış şeması üzerinde numaralandırılmış noktalarda ekserji ve enerji akış değerleri hesaplanmış ve bu sonuçlar tablolar halinde sunulmuştur. Hesaplama kullanılan veriler, bu NGS'nin tasarımcısı "Siemens Power Generation Group" tarafından sağlanmıştır. Enerji ve ekserji analizlerinde herhangi bir bilgisayar yazılımı kullanılmamakla birlikte, hesaplama noktalarının termodinamik özelliklerinin belirlenmesinde, R.E. Sonntag, Y.M. Park ve K.K. Park tarafından geliştirilen yazılım kullanılmıştır. Bu çalışmada seçilen referans çevre koşulları, sıkıştırılmış su için  $20,6^\circ\text{C}$  sıcaklık ve 1 bar basınçtır. Yapılan analiz sonucunda tesisin termodinamik verimi ve her bir grup bileşen için tersinmezlik oranı Şekil 2.2'de gösterildiği gibi elde edilmiştir. Bu şekilden, tesisin tersinmezliğinin %50,541'lik kısmının reaktör basınç kabında olduğu görülmektedir. Bu ekserji yıkımının nedeninin, fisyon prosesinin kendisi olduğu sonucuna varılmıştır. Fisyonda açığa çıkan ısının, yakıt peletinden yakıt çubuklarına, oradan soğutucu akışkana transferi ile reaktördeki ısı kayıpları ve basınç düşmesi, ekserji yıkımının diğer nedenleri olarak açıklanmıştır. Bu çalışmada, üretilen toplam ekserjinin %53,7'sinin, reaktör buhar üreteçleri ve reaktör soğutma pompasından oluşan 1. çevrimde kaybedildiği sonucuna ulaşılmıştır. Bu sonuç, BWR ve CANDU tipi reaktörler için yapılan analiz sonuçları ile karşılaştırılmıştır [8].



**Şekil 2.2 :** PWR NPP'nin termodinamik verimi ve her bir bileşen grubundaki tersinmezlik dağılımı [8].

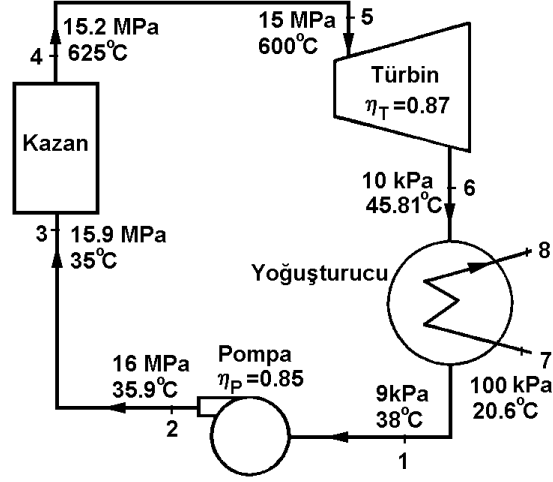
W.R. Dunbar, S.D. Moody ve N. Lior tarafından 1995 yılında yayımlanan “Çalışan bir kaynar sulu reaktörlü nükleer güç santralinde ekserji analizi” başlıklı makalede, Commonwealth Edison Company'nin sahibi olduğu LaSalle County Nuclear Station BWR tipi nükleer güç santralinin İkinci Yasa analizi gerçekleştirilerek, bir bütün olarak tesiste ve alt sistemlerdeki tersinmezlikler hesaplanmıştır [9]. Çalışma sonucunda, toplam ekserji yıkımının yaklaşık %80'inin yüksek oranda tersinmez fisyon prosesinden ve reaktör kabındaki ısı iletiminden kaynaklandığı bulunmuştur. Toplam tesis verimliliği birinci ve ikinci yasaya göre eşit ve %34,4 bulunmuştur. Fakat birinci yasa analizine göre enerjinin %64,8'inin yoğuşturucuda kaybedildiği sonucuna ulaşılrken, birinci yasa analizini müteakip ikinci yasa analizi de gerçekleştirildiğinde, en fazla tersinmezliğin reaktörde gerçekleştiği ve yakıtın ekserjisinin %52,9'unun kaybedildiği görülmüştür. Bu çalışmada ayrıca, kaynar sulu reaktörlerin fosil yakıtlı güç santrallerine oranla %14-24 arasında daha az verimli olduğu, bunun nedenleride, kaynar sulu reaktörlerde daha düşük kaynama

sıcaklıklarının olması, nükleer reaktörlerde kızgın buhar üretme ve ara kızdırma yapma imkanının olmaması ve düşük sıcaklık farkları yaratarak buhar ekonomisi sağlanamaması olarak açıklanmıştır. Bu durumu önlemek için ise, fosil yakıtlı kızdırma / ara kızdırma ünitelerinin nükleer güç sistemlerine adapte edilmesi önerilmektedir. Bu çalışmada ele alınan sistemin toplam verimi ve alt sistemlerdeki tersinmezlikler Şekil 2.3’de gösterilmiştir [9].



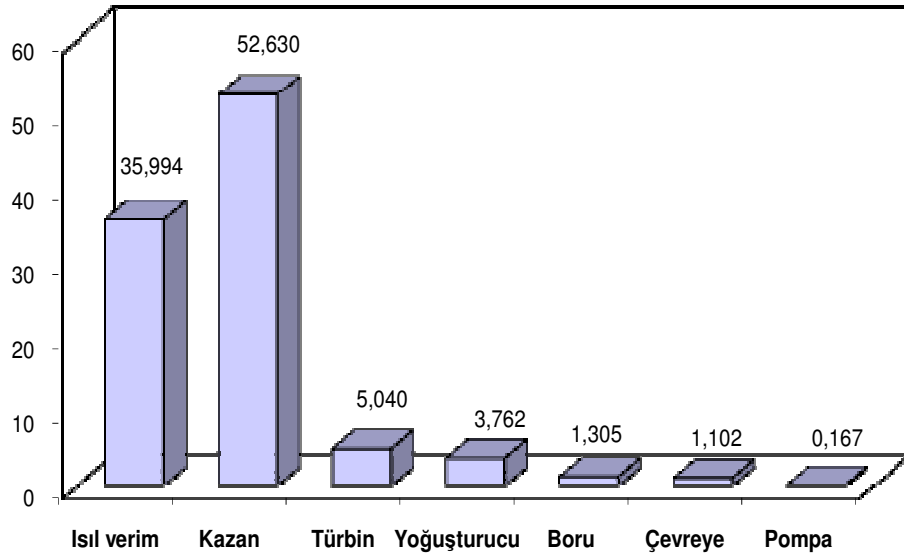
**Şekil 2.3 :** LaSalle County NPP için hesaplanan toplam verim ve alt sistemlerdeki tersinmezlik dağılımı [9].

A. Durmayaz’ın, 2001 yılında II. Çevre ve Enerji Kongresi’nde sunduğu “Elektrik enerjisi üretimi amaçlı ısı güç tesislerinin ekserji analizi ve önemi” başlıklı bildiriye, ısı güç tesislerinde ekserji analizinin önemi ortaya konmuş, ekserji analizinde kullanılan temel yasalar ayrıntılı bir şekilde irdelenmiştir. Çalışmada, uygulama amacıyla, prototip bir ısı güç tesisinin ekserji analizi yapılmıştır. Bu çalışmada göz önüne alınan ısı güç tesisi Şekil 2.4’de gösterilmiştir [10].



Şekil 2.4 : Basitleştirilmiş prototip ısı güç tesisi [10].

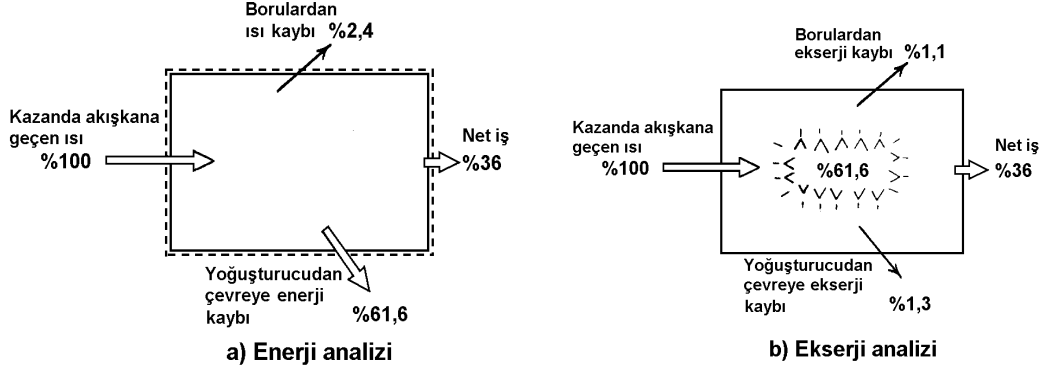
Prototip ısı güç tesisinin analizi sonucu, toplam ısı verim ve alt bileşenlerdeki tersinmezlik yüzdeleri Şekil 2.5’de gösterildiği şekilde olmuştur.



Şekil 2.5 : Basitleştirilmiş prototip ısı güç tesisinde tesis verimi ve tersinmezliklerin dağılımı [10].

Bu analizde, birinci yasa analizine göre, kazandan sağlanan ısı enerjisinin %61,6’sı yoğuşturucuda kaybediliyor gibi görünürken, ikinci yasa analizine göre yoğuşturucuda kaybedilen ekserji sadece %1,1 olmaktadır. Bu durum Şekil 2.6’da gösterilmiştir.





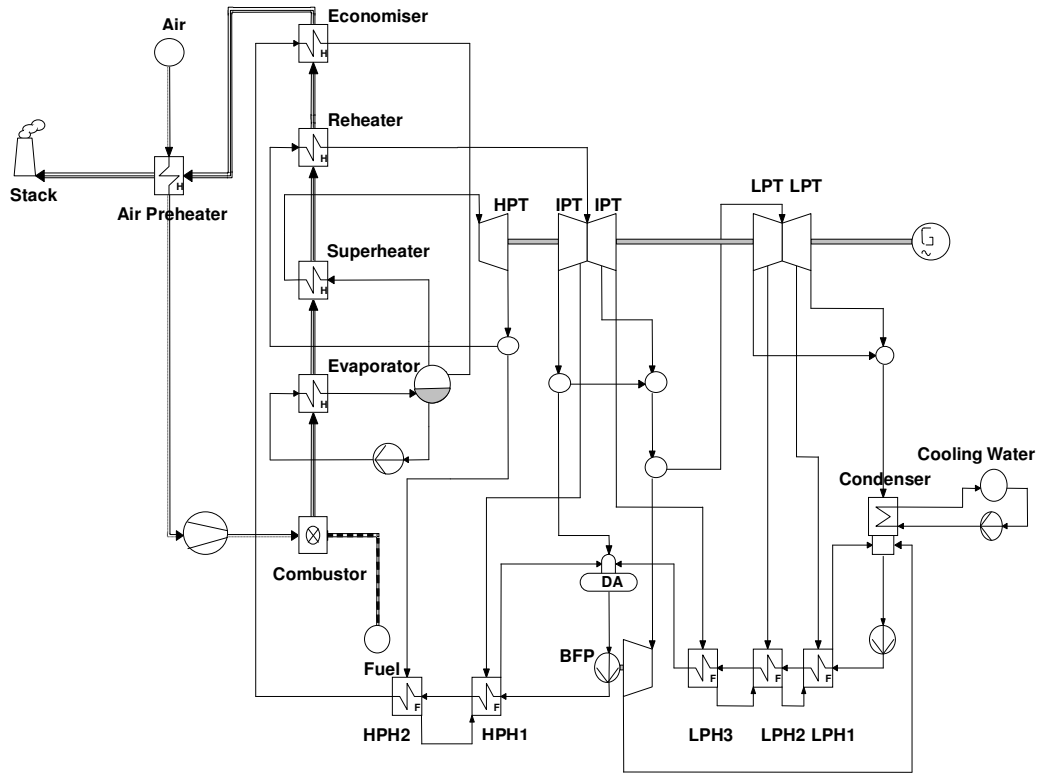
**Şekil 2.6 :** Basitleştirilmiş prototip ısı güç tesisinde birinci ve ikinci yasa analizi sonuçlarının karşılaştırılması [10].

J. Cao, J. Wang, X. Yang ve S. Yu tarafından 2005 yılında 18. Uluslararası Reaktör Teknolojisinde Yapısal Mekanik konferansında sunulan “Gaz türbini eklenmiş yüksek sıcaklıklı gaz soğutmalı reaktörde ekserji analizi” başlıklı bildirimlerinde, Brayton çevrimiyle çalışan bir gaz türbini eklenmiş yüksek sıcaklıklı gaz soğutmalı reaktör tesisinin ekserji analizini yapmışlardır. Sonuçlar ekserji kaybının yarıdan fazlasının reaktörde gerçekleştiğini göstermiştir. Ayrıca reaktör çıkış sıcaklığının artırılmasıyla, reaktördeki ekserji kaybının azaltılabileceği de görülmüştür [11].

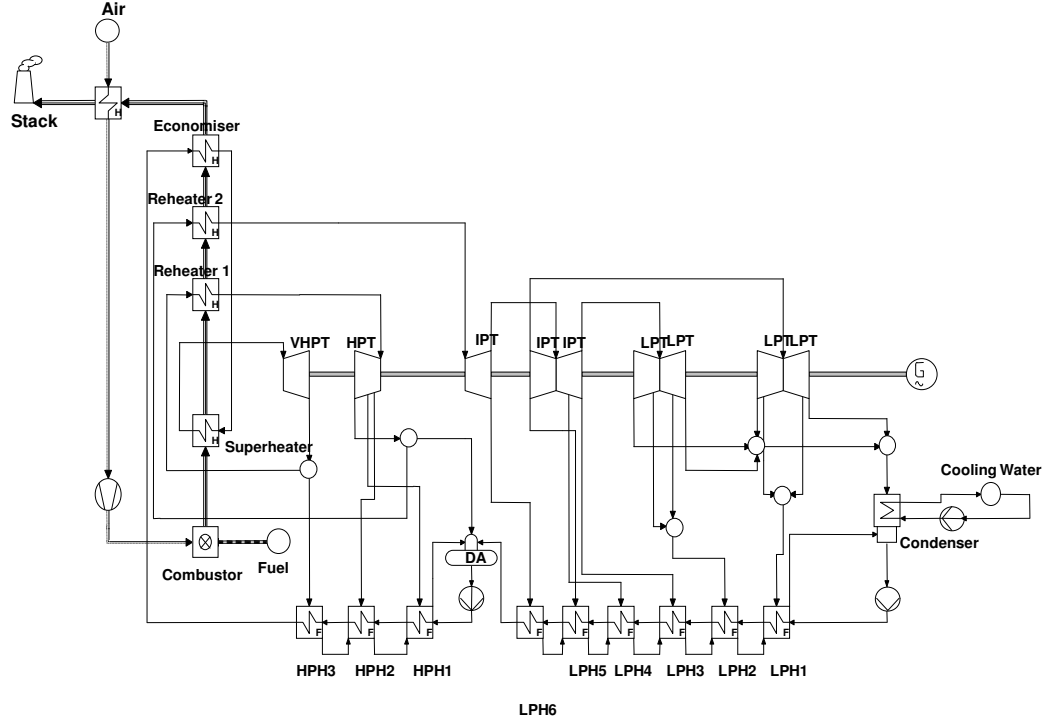
N. Lior tarafından 1997 yılında yayımlanan “Nükleer güç tesislerinde fosil yakıtlı kızdırmanın etkilerinin enerji, ekserji ve termoekonomik analizleri” başlıklı makalede, fosil yakıtlı kızdırma özelliği olan Indian Point 1 Nükleer Güç Tesisinin performansına fosil yakıtlı kızdırmanın etkileri incelenmiştir. Yapılan enerji, ekserji ve termoekonomik analizler sonucunda, reaktörden çıkan neredeyse doymuş buharın, türbine girmeden önce fosil yakıt ile kızdırılmasının güç üretimini en az %70, tesis verimliliğini en az %16 artırdığı, elektrik üretim maliyetini de en az %32 azalttığı anlaşılmıştır. Bu sonuçların elde edilebilmesinde yapılan ekserji analizinin önemi açıktır [12].

H. Sayyaadi, T. Sabzalıgol tarafından 2009 yılında yayımlanan “Basınçlı sulu nükleer güç santralinde optimizasyon için çeşitli yaklaşımlar” başlıklı makalede, tipik bir 1000 MW<sub>e</sub> gücünde basınçlı ağır su nükleer güç tesisinin enerji ve ekserji analizleri yapılmıştır. Bu çalışmada da ekserji yıkımının en fazla reaktörde, ikinci olarak da buhar üreticinde olduğu sonucuna ulaşılmıştır [13].

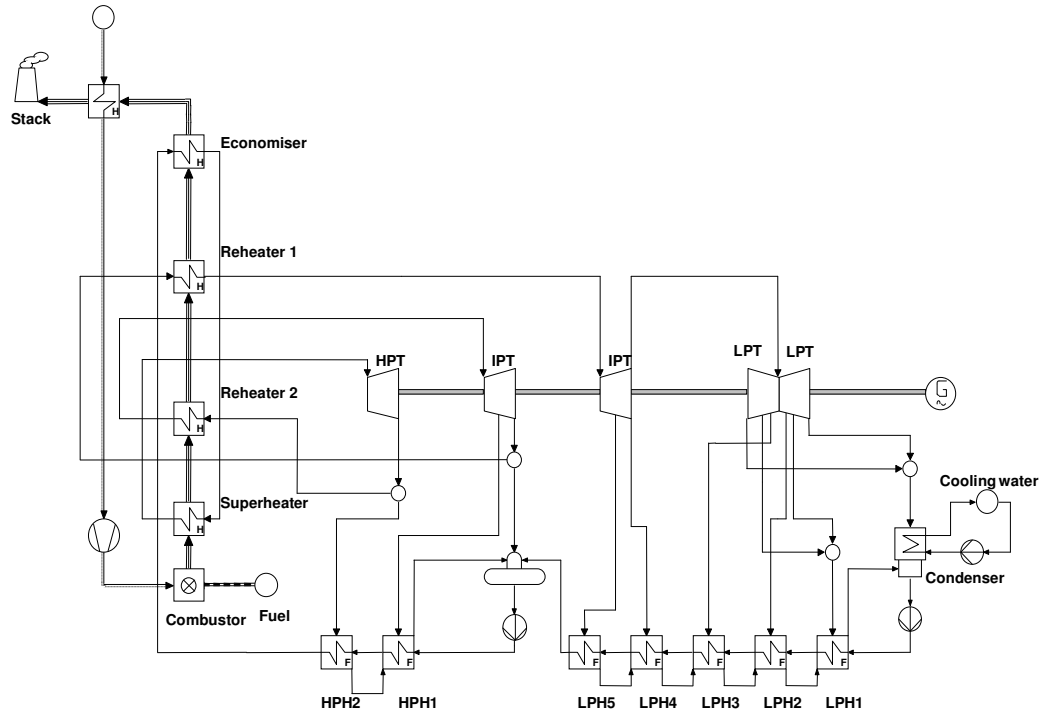
M.V.J.J. Suresh, K.S. Reddy ve A.K. Kolar tarafından 2006 yılında First National Conference on Advances in Energy Research Konferansında sunulan, “Termal güç tesislerinin ileri buhar parametrelerine dayanan enerji ve ekserji analizi” başlıklı bildiride, çalışmakta olan bir kömürlü termal güç tesisinin, alt kritik, üst kritik ve ultra üst kritik buhar koşullarında ve değişik sistem parametrelerinde tesis ve ekserji verimlerini incelenmiştir. Sistemin modellenmesinde ve simülasyonunda, Cycle-Tempo programı kullanılmıştır. Bu sistemin Cycle-Tempo modelleri Şekil 2.7, 2.8 ve 2.9’da gösterilmiştir [14].



Şekil 2.7 : Kömürlü güç tesisinin alt kritik koşullarda Cycle-Tempo modeli [14].



**Şekil 2.8 :** Kömürlü güç tesisinin üst kritik koşullarda Cycle-Tempo modeli [14].



**Şekil 2.9 :** Kömürlü güç tesisinin ultra üst kritik koşullarda Cycle-Tempo modeli [14].

Bu çalışma sonucunda, en yüksek tersinmezliğin yanma prosesinde ve ikinci olarak da buhar üreticinde meydana geldiği, alt kritik buhardan, ultra üst kritik buhara doğru geliştirilen analizde, buhar üreticinin ekserji veriminin arttığı görülmüştür. Bu artışın nedeni ultra üst kritik koşullarda buhar jeneratöründe ısı iletimindeki sıcaklık farklarının azalmasıdır. Ayrıca yoğuşturucu basıncının da, tesis ve ekserji verimi üzerinde önemli etkileri olduğu görülmüştür.



### 3. CANDU 6 NÜKLEER GÜÇ SANTRALİ

CANDU tipi nükleer güç üretim tesisleri, AECL (Atomic Energy of Canada Limited) tarafından ilk olarak 1950'li yılların sonunda ve 1960'lı yılların başında tasarılan ve Birincil Isı Transport Sisteminde soğutucu, yavaşlatıcı ve yansıtıcı olarak ağır su kullanılan tesislerdir. CANDU ismi, **CAN**ada **D**euterium **U**ranium kelimelerinin kısaltmasıdır. Bu isim, reaktörün yavaşlatıcı olarak ağır su ve yakıt olarak da uranyum (doğal uranyum) kullandığını gösterir. Reaktör kalbini soğutan ağır su, birincil ısı transport sisteminde basınç altında tutulur ve kaynamasına izin verilmez, bu nedenle CANDU tipi reaktörler genel reaktör sınıflandırması içerisinde basınçlı ağır su (Pressurized Heavy Water - PHW) reaktörleri olarak yer alırlar. Ayrıca, nötron ekonomisini ve reaktörün doğal uranyum ile kritik olabilmesini sağlayan ve yavaşlatıcı/yansıtıcı olarak kullanılan ağır su, ayrı bir devrede soğutulur ve kalbi soğutan ağır su ile karışmaz. CANDU tipi nükleer güç tesislerini diğer nükleer güç tesislerinden ve basınçlı su reaktörlerinden ayıran genel özellikleri şunlardır [1]:

- Yavaşlatıcı ve soğutucu olarak ağır su kullanılır.
- Düşük basınçtaki yavaşlatıcı soğutma sistemi ile kalp soğutma sistemi birbirinden ayrılmıştır.
- Reaktör çalışırken yakıt ikmali yapılabilir.
- Yakıt olarak doğal (zenginleştirilmemiş) uranyum yakıtı kullanır [1].

CANDU tipi reaktörlerin evrimsel gelişmesi Çizelge 3.1'de verilen kronolojik sıralamaya göre gerçekleşmiştir.

**Çizelge 3.1 : CANDU tipi reaktörlerin evrimsel gelişimi [1].**

Reaktör adı	Sınıfı	Yapım yılı	Gücü
ZEEP	Araştırma Reaktörü	1945	10 W
NRK	Araştırma Reaktörü	1947	42 MW
NRU	Araştırma Reaktörü	1957	200 MW
NPD Reaktörü	CANDU	1962	24 MW <sub>e</sub>
Douglas Point Ticari Prototip	CANDU	1968	220 MW <sub>e</sub>
Pickering A	CANDU 600 MW <sub>e</sub> sınıfı	1971–1973	542 MW <sub>e</sub>
Pickering B	CANDU 600 MW <sub>e</sub> sınıfı	1983 – 1986	540 MW <sub>e</sub>
Point Lepreau, New Brunswick	CANDU 6, 700 MW <sub>e</sub> sınıfı	1983	680 MW <sub>e</sub>
Gentilly, Quebec	CANDU 6, 700 MW <sub>e</sub> sınıfı	1983	675 MW <sub>e</sub>
Wolsong, Kore	CANDU 6, 700 MW <sub>e</sub> sınıfı	1983	679 MW <sub>e</sub> (1. Ünite)
Embalse, Arjantin	CANDU 6, 700 MW <sub>e</sub> sınıfı	1984	648 MW <sub>e</sub>
Cernavoda, Romanya	CANDU 6, 700 MW <sub>e</sub> sınıfı	1996	708 MW <sub>e</sub> (1. Ünite)
Cernavoda, Romanya	CANDU 6, 700 MW <sub>e</sub> sınıfı	2007	708 MW <sub>e</sub> (2. Ünite)
Wolsong, Kore	CANDU 6, 700 MW <sub>e</sub> sınıfı	1997	715 MW <sub>e</sub> (2. Ünite)
Wolsong, Kore	CANDU 6, 700 MW <sub>e</sub> sınıfı	1998	715 MW <sub>e</sub> (3. Ünite)
Wolsong, Kore	CANDU 6, 700 MW <sub>e</sub> sınıfı	1999	715 MW <sub>e</sub> (4. Ünite)
Qinshan, Çin	CANDU 6, 700 MW <sub>e</sub> sınıfı	2002	728 MW <sub>e</sub> (1. Ünite)
Qinshan, Çin	CANDU 6, 700 MW <sub>e</sub> sınıfı	2003	728 MW <sub>e</sub> (2. Ünite)

Çizelge 3.1’de CANDU 6 tasarımına sahip NGS’nin ilk olarak 1980’li yılların başında işletmeye alındığı görülmektedir ve dünyada bugün için işletmede veya yenilenme aşamasında olan 48 ünite CANDU NGS’nin birçoğu bu sınıfa girmektedir. AECL, CANDU teknolojisi üzerindeki geliştirme çalışmalarına devam etmektedir ve henüz tasarım aşamasında olan ACR-1000 (Advanced CANDU Reactor) ve EC6 (Enhanced CANDU 6) modellerini geliştirmektedir [15].

Şekil 3.1’de Zhejiang, Çin’de bulunan CANDU 6 NGS’nin resmi görülmektedir.



**Şekil 3.1** : Zhejiang, Çin’de bulunan Qinshan CANDU 6 NGS [16].

### **3.1 CANDU Nükleer Güç Santrali Bileşenleri**

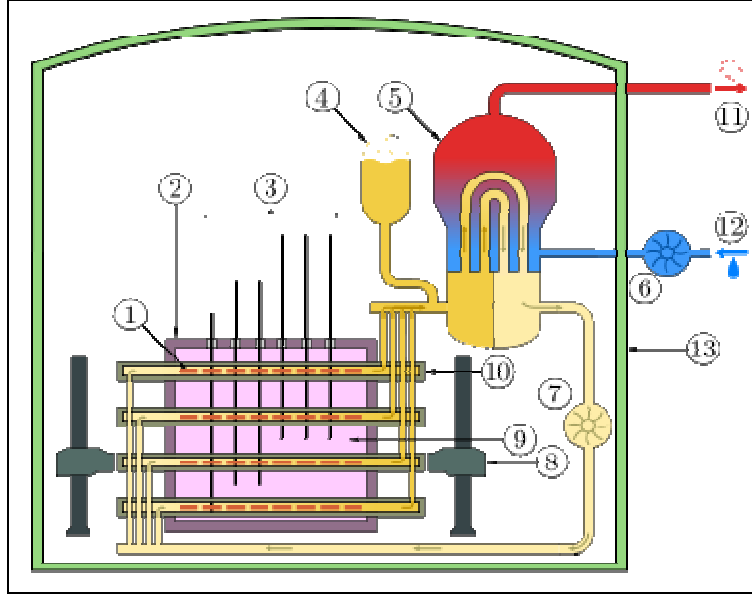
Tesis, doğal uranyumlu yakıtından elde edilen fisyon enerjisinden elektrik enerjisi üretmek üzere tasarlanmış bir nükleer güç santralidir. CANDU NGS, genel olarak Birincil Isı Transport Sistemi ve İkinci Çevrim olmak üzere iki ayrı bölüm olarak incelenebilir. Takip eden bölümlerde CANDU 6 NGS’nin ekserji analizinde ve modellenmesinde göz önüne alınan belli başlı kısımları tanıtılmıştır. Bunların haricinde NGS’de bulunan diğer yardımcı sistemler ve güvenlik sistemleri yapılan analizin kapsamında olmadığı için burada tanıtılmasına gerek duyulmamıştır.

#### **3.1.1 Birincil Isı Transport Sistemi**

Uranyum yakıtının kontrollü fisyonu sonucu elde edilen enerji, ağır su olan soğutucu akışkan vasıtasıyla reaktör kalbinde bulunan toplam 380 adet yakıt kanalından uzaklaştırılır ve hafif su ile ısı değiştirdiği buhar üretecine gider. Enerjisini buhar üretecinde hafif suya aktaran ağır su akışkan, pompa vasıtasıyla tekrar reaktör kalbine döner. Birincil Isı Transport Sistemi (BITS) olarak adlandırılan bu sistem şematik olarak Şekil 3.2’de, blok akış şeması ise Şekil 3.3’de gösterilmiştir. BITS’de, reaktör kalbine bağlı 4 adet buhar üretecine ve 4 adet pompa ve 4 adeti giriş, 4 adedi de çıkış olmak üzere toplam 8 adet kollektör bulunmaktadır. Bu sistemde soğutucu akışkanın reaktör kalbinden çıkarak buhar üretecinde ısısını aktarması, pompa vasıtasıyla geri dönerek reaktör kalbinde tekrar ısınması, diğer bir buhar jeneratöründe ısısını tekrar aktarması ve reaktör kalbine tekrar pompa vasıtasıyla



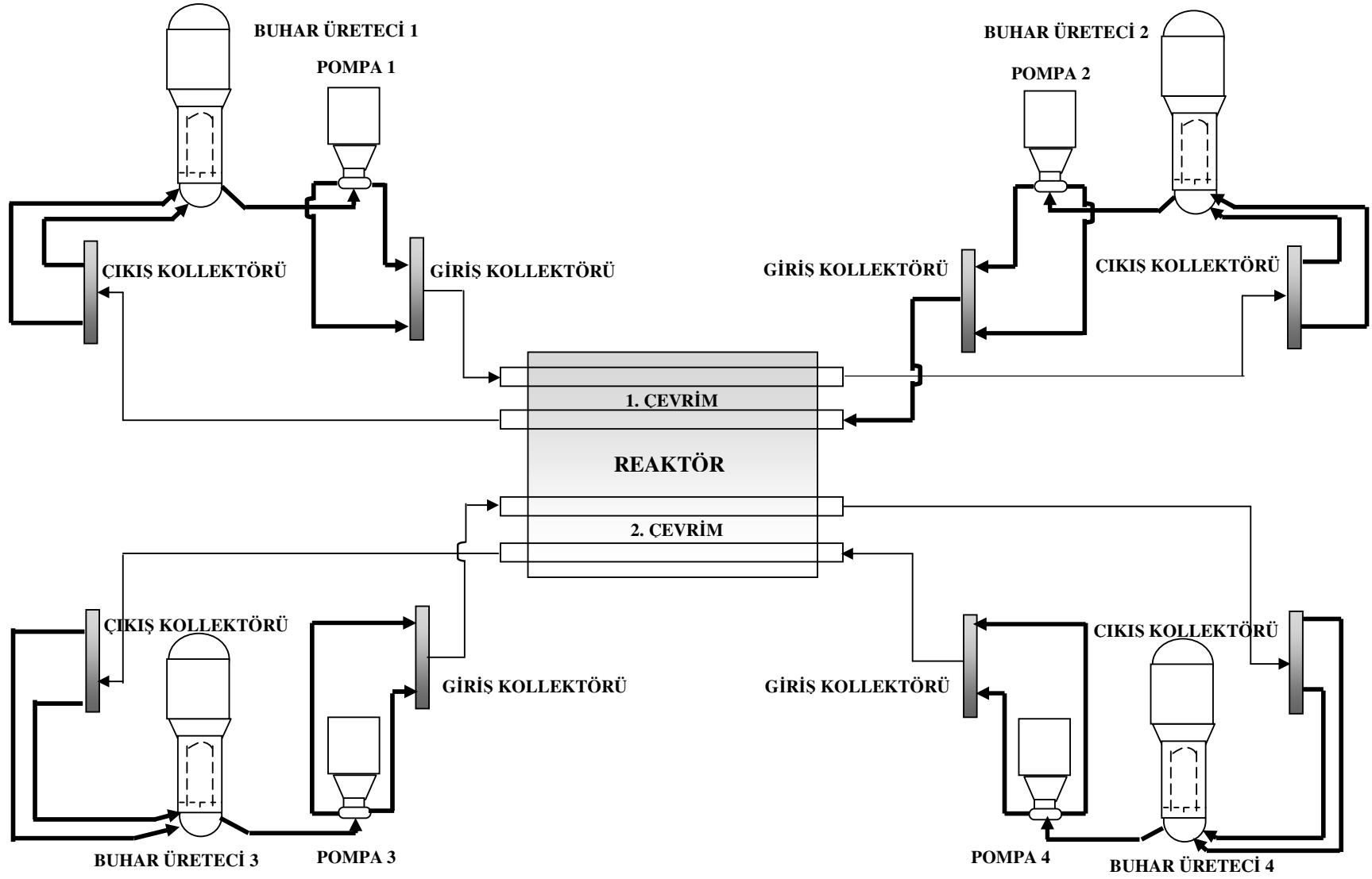
dönmesi bir çevrim olarak adlandırılır. Soğutucu akışkan bu bir çevrimde adeta bir 8 çizerek dolaşır. CANDU 6 NGS'nin BITS'inde bu şekilde 2 adet çevrim bulunmaktadır. Dolayısıyla her bir çevrimde bulunan her bir buhar üretici, kollektör ve pompa grubuna 95 adet yakıt kanalından fisyon ısısı sağlanmaktadır. BITS'de bulunan ana sistem ve bileşenler aşağıda açıklanmıştır.



Şekil 3.2 : CANDU 6 reaktörü ve birincil ısı transport sistemi [17].

### 3.1.1.1 Reaktör

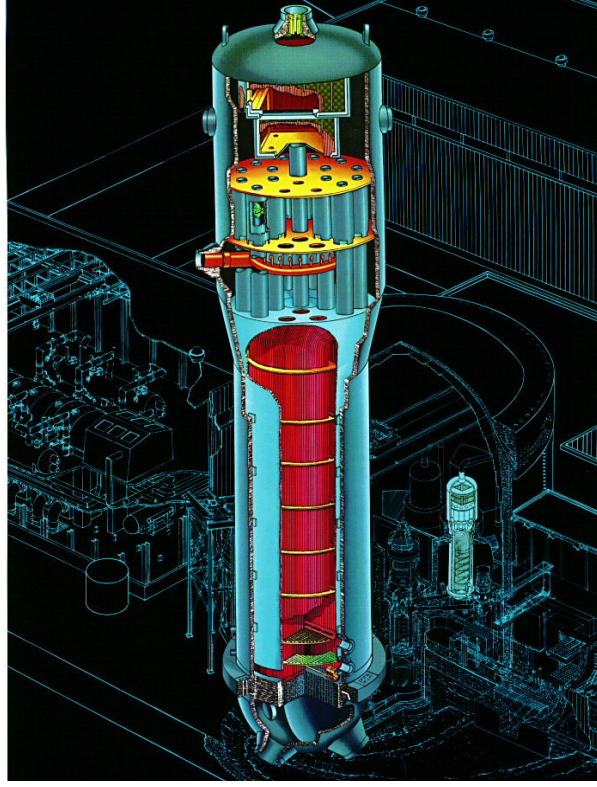
CANDU 6 NGS'nin reaktörü, reaktör tankı (calandria) adı verilen ve içinde yavaşlatıcı / yansıtıcı vazifesi gören ağır suyun bulunduğu yatay pozisyonda bulunan bir tanktır. Bu tankın uçlarında 2 adet uç zırh (end shield) ve içerisinde bulunduğu betonarme yapı içinde de zırhlama amacıyla hafif su bulunmaktadır. Reaktör tankının içinde yatay pozisyonda 380 adet yakıt kanalı bulunur ve her bir kanalda 12 adet yakıt demeti bulunmaktadır. Her yakıt demeti de Zircaloy-4 alaşımı 37 adet yakıt çubuğundan oluşmaktadır. Ağır su, bu yakıt kanalları içinden geçirilmek suretiyle üretilen fisyon ısısını alır. Reaktöre çalışırken taze yakıt takviyesi yapılabilir veya hatalı yakıtlar yenileriyle değiştirilebilir. Ayrıca reaktör tankı içine yatay ve dikey pozisyonda giren reaktivite kontrol çubukları ve nötron akısı ölçme çubukları bulunmaktadır.



Şekil 3.3 : CANDU 6 Birincil Isı Transport Sistemi'nin blok akış şeması. ( [1] no.lu kaynaktan yararlanılarak çizilmiştir).

### 3.1.1.2 Buhar üreticileri

BITS’de 4 adet kovan – boru tipi dikey yerleşimli buhar üretici bulunmaktadır. Buhar üreticinin U tipi boru tarafında bulunan ağır su, kovan tarafında bulunan hafif suyu kaynatmaktadır. Buhar üreticinin şematik olarak Şekil 3.4’de gösterilmektedir.



Şekil 3.4 : CANDU 6 NGS buhar üretici [18].

### 3.1.1.3 Pompalar

BITS’de 4 adet santrifüjlü, dikey yerleşimli, tek emişli ve çift çıkışlı pompa bulunmaktadır.

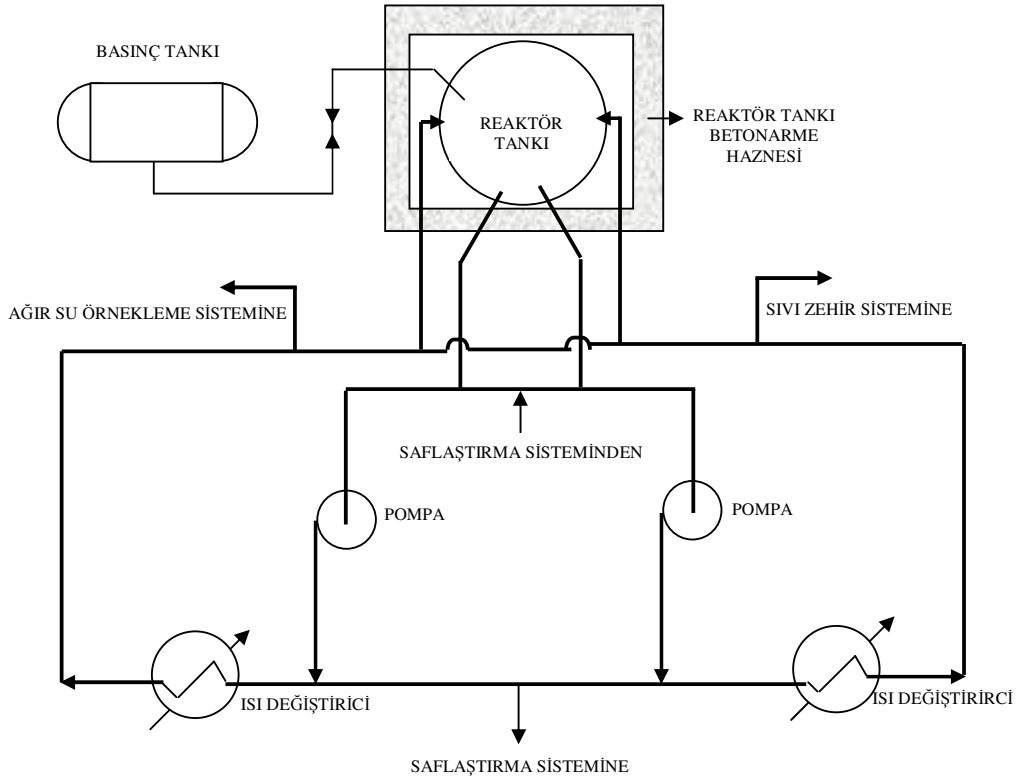
### 3.1.1.4 Giriş – Çıkış kollektörleri

BITS’de 4 adet çıkış kollektörü bulunmaktadır. Her bir çıkış kollektörü 95 adet yakıt kanalından çıkan akışı alarak buhar üreticilerine iletir.

BITS’de 4 adet giriş kollektörü bulunmaktadır. Her bir giriş kollektörü pompa çıkış noktasından akışı alarak 95 adet yakıt kanalına iletir.

### 3.1.1.5 Yavaşlatıcı sistemi

CANDU 6 NGS'nin yavaşlatıcı sistemi, yavaşlatıcının soğutulduğu, saflaştırıldığı, reaktör kontrolünü sağlayan zehir ilavesinin ve ağır su örneklemesinin yapıldığı kapalı çevrimde çalışan bir sistemdir. Bu sistemin ana amacı reaktör tankı içinde sabit bir sıcaklık sağlamaktır. Bu sistem atmosferik basınçta çalışmaktadır. Reaktör tankında ısınan ağır su moderatör, reaktör tankının altından pompa ile alınır, ısı değiştiricisinde soğutulur ve tekrar reaktör tankına gönderilir. Bu ana devre üzerinde, kapalı çevrim saflaştırma sistemi, sıvı zehir sistemi ve ağır su örnekleme sistemi şeklinde yan sistemler bulunmaktadır. Reaktör tankındaki ağır su seviyesi, reaktör tankı kafa tankı vasıtasıyla ayarlanır. Isı değiştiricilerde soğutucu olarak hafif su kullanılır ve debisi değiştirilerek ağır suyun reaktör tankından çıkış sıcaklığı ayarlanabilir. Yavaşlatıcı sisteminin blok akış şeması Şekil 3.5'de gösterilmiştir.



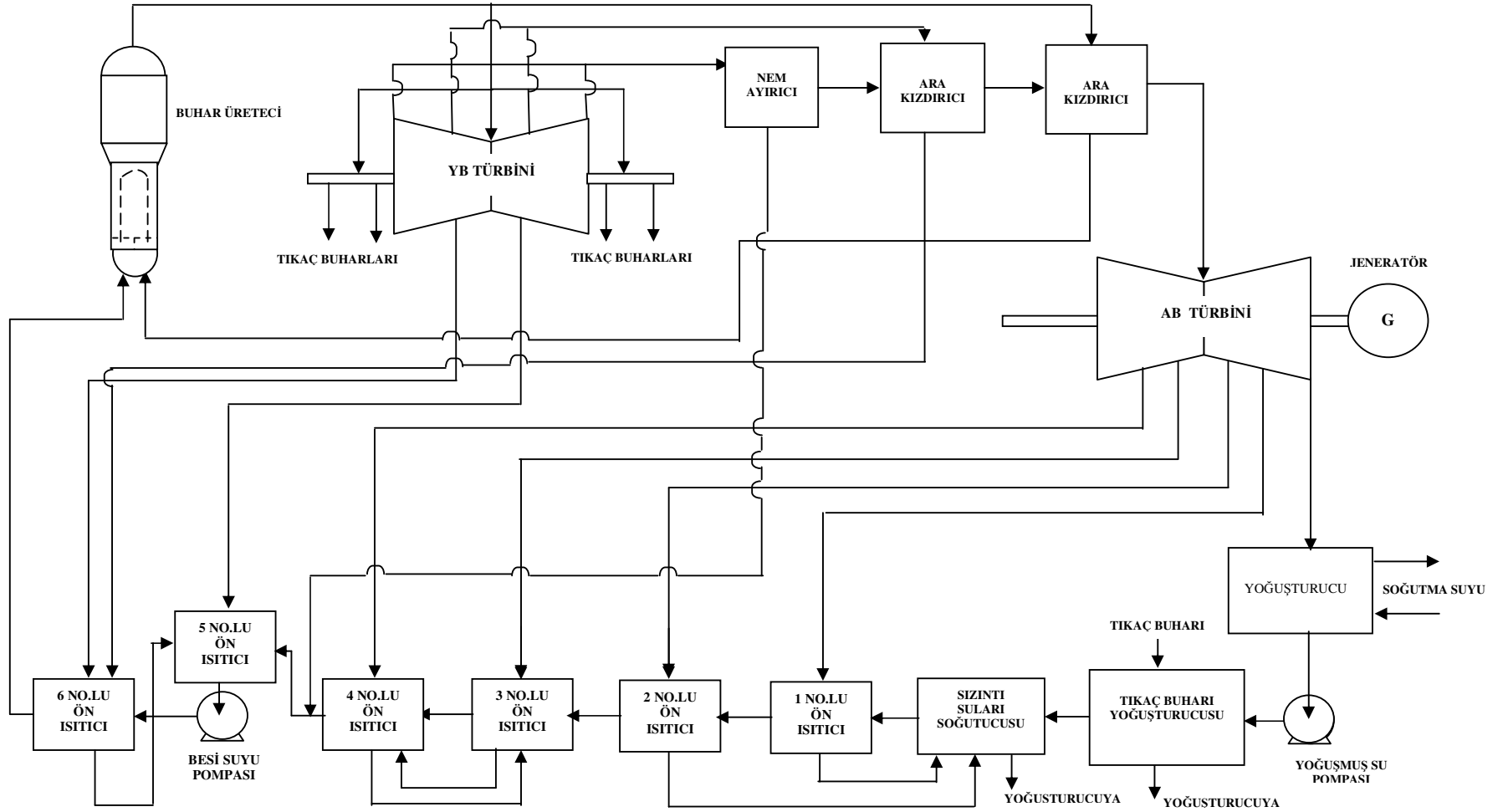
ŞEKİL 3.5 : Yavaşlatıcı sistemi. ( [1] no.lu kaynaktan yararlanılarak çizilmiştir).

### 3.1.2 İkinci Çevrim

BITS'den İÇ'e ısı aktarımı buhar üreticilerinde gerçekleşir. Isı aktarımı neticesinde buhar üreticinde yüksek basınçlı ve yüksek buhar içerikli su-buhar karışımı üretilir. Bu buharın bir kısmı 2 numaralı ara kızdırıcıya, büyük bir kısmı da Yüksek Basınç Türbinine (YBT) iletilir. Bu buharın çok az bir kısmı da tıkaç buharı olarak YBT'de kullanılır. YBT'den 3 adet ara buhar çıkışı alınır ve bunların bir tanesi 5 numaralı besi suyu ısıtıcısına, bir tanesi de 6 numaralı besi suyu ısıtıcısına ve bir tanesi de 1 numaralı ara kızdırıcıya iletilir. YBT'den çıkan ana buhar çıkışı, nem ayırıcı ünitesine iletilir. Yüksek oranda nemi alınan buhar, 1 ve 2 numaralı ara kızdırıcılarda sırasıyla YBT'den gelen ara buhar ve buhar üreticiden gelen taze buhar ile kademeli olarak ısıtılır. 2 numaralı ara kızdırıcıdan alınan kızgın buhar, Alçak Basınç Türbinine (ABT)'ne iletilir. NGS'de 3 adet ABT bulunmaktadır. ABT'den değişik basınç ve sıcaklıklarda toplam dört adet ara buhar çekilir ve sırasıyla 1, 2, 3, 4 numaralı besi suyu ısıtıcılarında besi suyunun ısıtılmasında kullanılır. ABT'nin ana buhar çıkışı, yoğuşturucu ünitesinde vakum altında yoğuşturularak ısıtılacağı besi suyu ısıtma sistemine yoğuşmuş su pompaları vasıtasıyla basılır. Besi suyu ısıtma sisteminin ilk iki ünitesi tıkaç buharı yoğuşturucusu ve 1 ve 2 numaralı besi suyu ısıtıcıları sızıntı suları soğutucusudur. Bu ünitelerde soğuyan su yoğuşturucuya iletilir. Besi suyu ısıtma sisteminde 1 ve 2 numaralı besi suyu ısıtıcıları vakum altında, 3 ve 4 numaralı besi suyu ısıtıcıları yaklaşık atmosfer basıncında, 5 ve 6 numaralı besi suyu ısıtıcıları ise yüksek basınçta çalışmaktadırlar. 4 ve 5 numaralı besi suyu ısıtıcıları arasına, nem ayırıcıdan gelen su iletilir. 5 numaralı besi suyu ısıtıcısındaki besi suyu, besi suyu pompaları vasıtasıyla 6 numaralı besi suyu ısıtıcısına basılır ve YBT'den gelen ara buhar ile daha fazla ısıtılarak buhar üreticine iletilir. İÇ'nin blok akış şeması, Şekil 3.6'da gösterilmiştir. İÇ'de bulunan ana sistem ve bileşenler aşağıda açıklanmıştır:

#### 3.1.2.1 Türbin - jeneratör sistemi

Bu sistem, birbirinin peşi sıra gelen 1 adet çift akışlı yüksek basınç türbini ve 3 adet çift akışlı alçak basınç türbininden oluşur. Jeneratör ise, hidrojen soğutmalı, şebekeye orta voltajda alternatif akım veren bir jeneratördür.



Şekil 3.6 : CANDU 6 İkinci Çevrim'inin blok akış şeması. ([4] no.lu kaynaktan yararlanılarak çizilmiştir).

### **3.1.2.2 Nem ayırıcı - yeniden ısıtıcı grubu**

Bu sistemde, YBT'den çıkan buharın neminin ayrıldığı ve 1 adet nem ayırıcı, 2 adet yeniden ısıtıcı vardır.

### **3.1.2.3 Yoğuşturucu grubu**

Sistemde üç adet alçak basınç türbini için 3 adet vakum altında çalışan yoğuşturucu bulunmaktadır.

### **3.1.2.4 Besi suyu ısıtma sistemi**

Bu sistemde toplam 6 adet besi suyu ısıtıcısı bulunur.

#### 4. ISIL GÜÇ TESİSLERİNİN ENERJİ VE EKSERJİ ANALİZİ

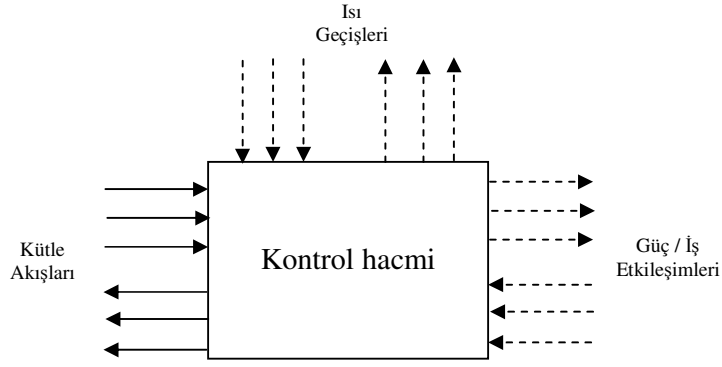
Elektrik enerjisi üretimi amacıyla kurulmuş fosil ya da nükleer yakıtlı ısı (termik) güç tesislerinin (santrallerin) tümünün tasarımı Termodinamiğin Birinci Yasası'ndan yararlanılarak gerçekleştirilmiştir. Termodinamiğin Birinci Yasası, enerjinin yaratılamayacağını veya yok edilemeyeceğini, sadece form değiştirebileceğini söylemektedir. Bunun yerine yok edilebilir bir büyüklük ile çalışmak daha faydalıdır. Ekserji, Termodinamiğin İkinci Yasası'ndan, kütle, enerji ve entropi denklemlerinin birlikte kullanılmasıyla türetilen bir büyüklüktür. Ekserji tüketimi, bir proses sırasında prosesteki tersinmezlikler nedeniyle oluşan entropi üretimiyle orantılıdır. Ekserji kavramı, ilk olarak M.I.T. Mühendislik fakültesinde "yararlanılabilirlik" adıyla 1940'larda ortaya çıkmış, 1950'lerde Avrupa'da "ekserji" terimi kullanılmaya başlanmıştır [19]. Ekserji, çevresel parametrelerin referans olarak kabul edilmesi varsayımıyla, enerjinin belirli bir formundan elde edilen maksimum teorik iştir. Çevresel parametreler, sıcaklığın, basıncın ve kimyasal bileşimin tanımlanmasıyla belirlenir. Ekserji kavramının başlıca kullanımı, enerjinin kastedilen belirli bir formunun azalmasının muhasebesi (bilançosunun çıkartılması) ile yani ekserji dengesinin sağlanmaya çalışılmasıyla gerçekleştirilmekte ve bu ekserji analizi olarak isimlendirilmektedir. Ekserji analizi, "bir sisteme geçen ısının tamamen işe dönüştürülmesinin olanaksız olduğunu" ifade eden Termodinamiğin İkinci Yasası'na dayanır. Ekserji analizi, iç tüketimlerden ve dış atıklardan kaynaklanan kayıpları göz önüne almasından dolayı, enerji analizine göre daha manalı ve açık sonuçlar vermektedir. Ekserji analizlerinde amaç, genel anlamda, güç tesisinde ve tesisi oluşturan ünitelerdeki tersinmezliklerin kaynaklarını belirlemek ve işin yararlanılabilir bölümünün hangi ünitelerde ne miktarda kaybedildiği sorularına yanıt aramaktır. Böylece, analiz sonuçları ısı güç tesislerinde tesis verimini arttırabilmek amacıyla potansiyel iyileştirmelerin yerlerinin belirlenmesine olanak sağlar; işin yararlanılabilir bölümünün en fazla kaybedildiği belirlenen ünite, aynı zamanda tesisin verimini arttırma açısından en



fazla potansiyele sahip ünite olarak adreslenmiş olur. İşte bu husus, enerji ve ekserji analizlerinin birbirini tamamlayıcı nitelikte olduklarını ortaya koyar.

Isıl güç tesislerinde ekserji analizi ile sadece enerji analizi ile elde edilemeyecek sonuçları almak mümkündür. Örneğin, enerji analizi ile hesaplanabilen tesisin toplam enerji verimliliği, ekserji analizi ile ekserji verimi hesaplandığında farklı çıkabilmektedir. Ayrıca, enerji analizine göre en verimsiz olduğu düşünülen tesis bileşeninin, ekserji analizi de yapıldığında sanılan kadar verimsiz olmadığı görülebilir. Bu sayede, var olan bir ısı güç tesisinde iyileştirmeler yapılabilir veya yeni tasarlanacak bir tesis baştan daha verimli tasarlanabilir. Isıl güç tesislerinde, tesis bileşenlerindeki tersinmezlikleri azaltmak, ısı güç tesisleriyle elektrik üretiminde sistemin verimini arttırmaya olanak sağlar. Isıl güç tesislerindeki çevrimlerin düzenlenmesi, her bir tesisin kuruluş amacına ve kendisine özgü koşullara bağlı olarak farklılıklar taşımaktadır. Konunun ilerleyen bölümlerinde ekserji analizi ile ilgili teorik bilgiler, ısı güç tesislerinde ve alt bileşenlerinde ekserji hesabının yapılabilmesi için gerekli türetimler yapılacaktır.

Termodinamiğin Birinci Yasası, kavram olarak evrende enerjinin yok edilemeyeceği, form değiştirerek veya transfer edilerek korunacağı ilkesini ortaya koyar. Diğer yandan, yok edilebilir bir büyüklük ile çalışmak fikri de kolay anlaşılabilir olması açısından yararlıdır. Bu fikir enerjiye değil Termodinamiğin İkinci Yasası kavramı olan ve kütle, enerji ve entropi dengesi eşitlikleriyle geliştirilen ekserjiye uygulanabilir. Enerji ve ekserji analizlerinde üç temel prensip kullanılır. Bunlar; kütle korunumu, enerjinin korunumu (Termodinamiğin Birinci Yasası) ve entropinin korunmazlığıdır (Termodinamiğin İkinci Yasası). Sürekli halde gerçekleşen bir proseste, kütle, ısı ve iş etkileşimlerinin yüzeyde ve ayrı olarak gerçekleştiği bir kontrol hacmi düşünülürse, böyle bir kontrol hacmi temsili olarak Şekil 4.1'deki gibi gösterilebilir.



**şekil 4.1** : Bir kontrol hacmi.

Bir ısıl güç tesisinde farklı ünitelerin giriş ve çıkışlarındaki akışkan üzerinde birim zamandaki enerji ve ekserji akışının hesaplanmasında kullanılan bazı eşitlikler ile bu ünitelerdeki yararlı iş, tersinir iş, tersinmezlikler ve bunların türetimleri aşağıda ayrıntılı bir şekilde sunulmuştur [10].

#### 4.1 Isıl Güç Tesislerinin Enerji Analizi

Isıl güç tesislerinin enerji analizi, "bir sistemin hal değişimi esnasında çevresi ile etkileşimlerinin sadece iş veya ısı geçişi şeklinde olabileceği ve bu etkileşmelerin net etkisinin ise enerji olarak isimlendirilen bir termodinamik özeliğin değışimi olduğu" ifadelerinden elde edilen ve sistemin hal değışimi için Termodinamiğin Birinci Yasası olarak isimlendirilen enerjinin korunumu ilkesine dayanır.

Birden fazla giriş ve çıkışı olan bir kontrol hacminde daimi (sürekli) akışta hal değışimi için Termodinamiğin Birinci Yasası, birim zamandaki enerji dengesi göz önüne alınarak;

$$\dot{Q} - \dot{W}_{kh} = \sum_{\dot{\zeta}} \dot{m}_{\dot{\zeta}} \left( h_{\dot{\zeta}} + V_{\dot{\zeta}}^2 / 2 + gz_{\dot{\zeta}} \right) - \sum_g \dot{m}_g \left( h_g + V_g^2 / 2 + gz_g \right) \quad (4.1)$$

şeklinde ifade edilir. Eşitlik (4.1)'de yer alan  $\dot{Q}$  birim zamandaki net ısı geçişi,  $\dot{W}_{kh}$  kontrol hacmi için birim zamandaki net iş geçişi,  $\dot{m}$  kütleli debi,  $h$  entalpi,  $V$  akış hızı,  $g$  yerçekimi ivmesi ve  $z$  yüksekliktir.  $\dot{\zeta}$  ve  $g$  alt indisleri ise sistemin çıkışı ve girişi anlamına kullanılmaktadır [10].

## 4.2 Isıl Güç Tesislerinin Ekserji Analizi

Birden fazla giriş ve çıkışı olan bir kontrol hacmi ile  $P_0$  basıncı ve  $T_0$  sıcaklığındaki bir rezervuar (ısı ve iş alışverişiyle basıncı ve sıcaklığı değişmeyen depo) gibi davranan çevresi arasında, daimi akışta bir hal değişimi esnasında ısı geçişi söz konusu olabilir. Böyle bir kontrol hacmi için ekserji analizi ile ilişkili denklemler aşağıdaki gibi elde edilebilir.

Böyle bir hal değişimi için Termodinamiğin İkinci Yasası,

$$\dot{S}_{üre} = \sum_{\zeta} \dot{m}_{\zeta} s_{\zeta} - \sum_g \dot{m}_g s_g + \dot{Q}_{\zeta ev} / T_0 \quad (4.2)$$

şeklinde yazılabilir. Eşitlik (4.2)'de bulunan  $\dot{S}_{üre}$  terimi kontrol hacmi içinde hal değişimi esnasında tersinmezlikler nedeniyle birim zamandaki entropi üretimi,  $\sum_g \dot{m}_g s_g$  ve  $\sum_{\zeta} \dot{m}_{\zeta} s_{\zeta}$  terimleri sırasıyla kütle giriş çıkışıyla kontrol hacmine giren ve kontrol hacminden çıkan entropi,  $\dot{Q}_{\zeta ev} = -\dot{Q}$  terimi ani sıcaklığı  $T_0$  olan sistem sınırında birim zamandaki ısı geçişi,  $\dot{Q}_{\zeta ev} / T_0$  terimi ise ısı geçişi nedeniyle olan entropi transferidir. Eşitlik (4.1) ve (4.2)'deki ısı geçişi terimleri yok edilerek ve akışkamanın potansiyel ve kinetik enerji değişimleri ihmal edilerek

$$\dot{W}_{kh} = \dot{W}_y \cong \sum_g \dot{m}_g (h_g - T_0 s_g) - \sum_{\zeta} \dot{m}_{\zeta} (h_{\zeta} - T_0 s_{\zeta}) - T_0 \dot{S}_{üre} \quad (4.3)$$

elde edilebilir ki bu, hal değişimi esnasında birim zamanda yapılan gerçek iştir. Daimi akışta hal değişimi söz konusu olan üniteler için seçilen kontrol hacimlerinin sınırlarının bu ünitelerin gerçek fiziksel sınırlarına eşit kabul edilmesi, böylece sistem sınırının değişmez olması, sistem ile çevresi arasında ayrıca bir iş etkileşiminin olmaması nedenleriyle,  $\dot{W}_y$  aynı zamanda birim zamanda yararlanılabilir iş olur.

Maksimum yararlanılabilir iş olan tersinir iş ise,  $\dot{S}_{üre}$  entropi üretimi terimini sıfıra eşitleyerek

$$\dot{W}_{ter} = \dot{W}_{y,maks} = \sum_g \dot{m}_g (h_g - T_0 s_g) - \sum_{\zeta} \dot{m}_{\zeta} (h_{\zeta} - T_0 s_{\zeta}) \quad (4.4)$$

şeklinde elde edilir. Eğer daimi akışta hal değişimi söz konusu olan üniteye akışkan için bir giriş ve bir çıkış varsa bu durumda bu kontrol hacmi için birim zamandaki tersinir iş

$$\dot{W}_{y,maks} = \dot{m} [(h_g - h_{\zeta}) - T_0 (s_g - s_{\zeta})] \quad (4.5)$$

olur. Bu durumda tersinir iş birim kütle için yazılırsa

$$w_{y,maks} = (h_g - h_{\zeta}) - T_0 (s_g - s_{\zeta}). \quad (4.6)$$

olarak elde edilir.

Sistemin basıncı, sıcaklığı, bileşimi, hızı ve yüksekliği çevreninkilerden farklı ise bu sistemden iş elde etme fırsatı söz konusu olur. Hal değişimi esnasında sistemin bu parametreleri çevreninkilere yaklaştıkça yani sistemin hali çevrenin haline yaklaştıkça bu fırsat azalır. Sistem ve çevresi birbirlerine nazaran durağan hale geldiklerinde aralarında bir denge oluşur. Sistemin bu haline ölü hal denir. Ölü halde sistem ve çevresi arasında mekanik, ısıl ve kimyasal dengeler tesis edilmiş olur, sistemin sırasıyla basınç, sıcaklık ve kimyasal potansiyelleri çevreninkilere eşit olur. Buna ek olarak çevrenin koordinatlarına nazaran sistem sıfır hıza ve yüksekliğe sahip olur. Bu koşullar altında, sistem ve çevresi arasında bir etkileşme ve değişim olasılığı kalmaz.

Ayrıca, bir sistem çevresinde referans olarak seçilen koordinatlara nazaran sıfır hızda ve sıfır yükseklikte iken bileşimi farklı olan çevresi ile sadece ısıl ve mekanik denge koşullarında ise sistemin sınırlı ölü halde olduğu söylenir.

Nükleer, manyetik, elektriksel ve yüzey gerilme etkilerinin olmaması durumunda ekserji, fiziksel, kinetik, potansiyel ve kimyasal ekserji bileşenlerinden oluşur. Bir sistemin makroskopik formda çevresine nazaran sahip olduğu kinetik ve potansiyel enerjileri, ilke olarak, sistemin çevresine nazaran durağan hale gelmesine kadar tamamen işe çevrilebilirler ve bu nedenle, bunlar kinetik ve potansiyel ekserjilere karşılık gelirler. Bir sistem çevresinde referans olarak seçilen koordinatlara nazaran durağan varsayılabilirken, sistemin bir başlangıç halinden sınırlı ölü hale geçmesi esnasında elde edilen maksimum teorik yararlanılabilir iş fiziksel ekserji olarak

adlandırılır. Bir sistem sınırlı ölü halden ölü hale yani tamamen denge durumuna geçerken elde edilen maksimum teorik iş ise kimyasal ekserji olarak adlandırılır.

Fiziksel, kinetik ve potansiyel ekserjilerin toplamı ısı-mekanik ekserji (yararlanılabilirlik) olarak adlandırılır ve  $ex$  ile gösterilir. Sistemin çevresine nazaran durağan olması, yani kinetik ve potansiyel ekserjilerin ihmal edilebilir düzeyde veya sıfır olmaları durumunda ısı-mekanik ekserji, fiziksel ekserjiye eşit olur ve bir akışkan akımı için giriş hali yerine mevcut olan hal (alt indis kullanılmaksızın) ve çıkış hali yerine ise sınırlı ölü hal ("0" alt indisi ile) seçilerek Eşitlik (4.6)'dan

$$ex \cong (h - h_0) - T_0(s - s_0). \quad (4.7)$$

şeklinde elde edilebilir.

Isıl güç sistemlerinde yer alan ve ideal olduğu varsayılan birçok ünite için açık sistem belirli bir halden sınırlı ölü hale geçiyorken analiz yapılabilir. Bu durumda, bir akışkan akımı için toplam ısı-mekanik ekserji akış hızı, kinetik ve potansiyel ekserji akış hızlarının ihmal ile toplam fiziksel ekserji akış hızına eşit olarak, Eşitlik (4.7) yardımıyla

$$\dot{Ex} \cong \dot{m} [(h - h_0) - T_0(s - s_0)]. \quad (4.8)$$

şeklinde tanımlanabilir. Eşitlik (4.8)'deki  $T_0$ ,  $h_0$  ve  $s_0$  sırasıyla referans hal için sıcaklık, entalpi ve entropidir. Sonuç olarak, bir üniteye daimi akışlı hal değişiminde birim zamandaki tersinir iş bir akışkan akımının ekserji akış hızı terimleriyle, kinetik ve potansiyel enerji değişimlerinin ihmal varsayımıyla

$$\dot{W}_{y,maks} = \sum_g \dot{m}_g ex_g - \sum_{\zeta} \dot{m}_{\zeta} ex_{\zeta} = \sum_g \dot{Ex}_g - \sum_{\zeta} \dot{Ex}_{\zeta} \quad (4.9)$$

şeklinde tanımlanabilir. Ayrıca, akışkan akımının birim kütle başına enerjisi ve toplam enerji akış hızı da sırasıyla

$$e \cong h - h_0 \quad (4.10)$$

$$\dot{E} \cong \dot{m} (h - h_0) \quad (4.11)$$

olarak tanımlanabilir. Aşağıdaki bölümde, toplam fiziksel ekserji akış hızı yerine basitlik olması açısından toplam ekserji akış hızı terimi kullanılmaktadır. Ekserji akış hızının yararlılığı, Eşitlik (4.9)'un kontrol hacminin bir hal değişimi esnasında

kontrol hacmi veya ünite için maksimum yararlanılabilir işi vermesi gerçeğinden kaynaklanmaktadır. Kontrol hacminde veya ünite de daimi akışlı hal değişiminde birim zamandaki tersinmez güç (kaybedilen yararlanılabilir güç)  $\dot{I}$  ise tersinir güç ile yararlanılabilir güç arasındaki farktan

$$\dot{I} = \dot{W}_{y,maks} - \dot{W}_y = T_0 \dot{S}_{üre} \quad (4.12)$$

şeklinde elde edilir ki bu da gerçek hal değişimleri esnasındaki ekserji yıkımına veya kaybına eşdeğerdir.

Akışkan akımı üzerindeki potansiyel ve kinetik enerji ve ekserji değişimleriyle ünitelerdeki ısı kayıplarının ihmal edilebilir olduğu varsayımı ile, bir ısı güç tesisinde bulunabilecek kazan, nükleer reaktör, türbinler, pompalar, eşanjörler, buhar üreteçleri, ısıtıcılar, soğutucular ve yoğunlaştırucular gibi daimi akış üniteleri için enerji ve ekserji denge eşitlikleri ve bunlarla ilgili birim zamandaki tersinmezlikler aşağıdaki gibi yazılabilirler.

#### 4.2.1 Kazanda yanma ve ısı transferi

Güç santrali, kömür, doğalgaz, fuel-oil gibi fosil yakıtların yanmasıyla elde edilen ısı gücü elektriğe dönüştüren nitelikte bir santral ise bu alt bölümde anlatıldığı gibi kazanda yanma reaksiyonu sonucunda yanma ürünlerinin sıcaklığı ve dolayısıyla ısı ekserjileri artar. Daha sonra ısı geçişi ile iş gören akışkanın sıcaklığı ve ısı ekserjisi arttırılır. Yanma sonunda açığa çıkan enerjinin tamamen iş gören akışkana transfer edildiği varsayılır ise adyabatik, şekil değiştirmeyen, kinetik ve potansiyel enerji değişimleri ihmal edilebilir varsayılan kazanda (kontrol hacminde) yanma sonucunda birim zamanda açığa çıkan enerji, Termodinamiğin Birinci Yasası'nın uygulanmasından

$$\left( \dot{W}_{y,maks} \right)_{yan} \cong \dot{m}_a (h_\zeta - h_g) = \dot{E}_\zeta - \dot{E}_g \quad (4.13)$$

olarak elde edilir. Aynı varsayım ile iş gören akışkandan elde edilebilecek maksimum yararlanılabilir güç ise Termodinamiğin İkinci Yasası'nın uygulanmasından

$$\left( \dot{W}_{y,maks} \right)_a = \dot{m}_a \left[ (h_\zeta - h_g)_K - T_0 (s_\zeta - s_g)_K = \dot{E}x_\zeta - \dot{E}x_g \right] \quad (4.14)$$

olarak elde edilir. Eşitlik (4.12) ve (4.13)'deki *yan* ve *a* alt indisleri yanma

reaksiyonu ve iş gören akışkanı ifade etmektedir. Buradan,  $K$  alt indisi kazanı ifade etmek üzere kazandaki tersinmez güç

$$\dot{I}_K = (\dot{W}_{y,maks})_{yan} - (\dot{W}_{y,maks})_a = (\dot{E}_\zeta - \dot{E}_g) - (\dot{E}x_\zeta - \dot{E}x_g) = \dot{m}_a T_0 (s_\zeta - s_g) \quad (4.15)$$

olarak elde edilir.

#### 4.2.2 Nükleer reaktörde enerji dönüşümü ve transferi

Bir nükleer reaktörde, her fisyon ürününün fisyon sonrasında  $T_{fü}$  sıcaklığına karşı gelen  $\frac{3}{2} kT_{fü} \cong 84 \text{ MeV}$  kinetik enerjisi olduğu kabul edilebilir. Bu kabul fisyon ürünlerinin termodinamik denge halinde tek atomlu bir gaz olması varsayımıyla yapılır. Fisyon ürünü, teorik olarak tersinir bir proseste ve eğer bu proses fisyon ürününü çevresiyle dengeye getirirse azami iş üretir. Böylece, birim fisyon ürünü kütlesi başına üretilen azami iş,

$$w_{y,maks} = (h_{fü} - h_0) - T_0 (s_{fü} - s_0) \quad (4.16)$$

şeklinde ifade edilebilir.

Ancak,  $T_{fü} \gg T_0$  için bu ifade;

$$w_{y,maks} = (u_{fü} + P_{fü} v_{fü}) - (u_0 + P_0 v_0) - T_0 (s_{fü} - s_0) \quad (4.17)$$

$$w_{y,maks} = (c_v T_{fü} + P_{fü} v_{fü}) - (c_v T_0 + P_0 v_0) - T_0 (s_{fü} - s_0) \cong c_v T_{fü} \cong u_{fü} \quad (4.18)$$

şeklini alır.

Böylece, azami iş yaklaşık olarak fisyon enerjisine eşit olur. Bu ifadede, bütün fisyon enerjisinin işe çevrilebileceği varsayılır. Fisyon reaksiyonunun sonucu olarak ortaya çıkan azami yararlı güç  $(\dot{W}_{y,maks})_{fis}$ , fisyon gücüne eşittir ve sabit bir  $T_{yak,o}$  sıcaklığında olduğu kabul edilebilecek yakıt çubuklarına aktarılmaktadır. Bu sıcaklığın  $T_{fü}$  fisyon ürünü sıcaklığının çok altında  $T_{fü} \gg T_{yak,o}$  olmasından dolayı, yakıt ve zarf yüzeyi sıcaklıkları hesaplama kolaylığı açısından aynı alınabilir. Gücün, fisyon ürünlerinden yakıt çubuklarına transferi oldukça tersinmezdir, çünkü  $T_{fü} \gg T_{yak,o}$ 'dır. Sabit bir  $T_{yak,o}$  zarf yüzeyi sıcaklığına sahip olan bir yakıt çubuğundan elde edilebilecek azami güç

$$\left(\dot{W}_{y,maks}\right)_{yak} = \left(\dot{W}_{y,maks}\right)_{fis} \left(1 - \frac{T_0}{T_{yak,o}}\right) \quad (4.19)$$

şeklinde ifade edilebilir.

Buradan hareketle, fisyon ürünlerinden yakıt çubuklarına gücün transferinde kaybedilen tersinmez güç

$$\dot{I}_{yak} = \left(\dot{W}_{y,maks}\right)_{fis} - \left(\dot{W}_{y,maks}\right)_{yak} \quad (4.20)$$

şeklinde elde edilebilir.

Yakıt çubuklarından çekilen bütün fisyon gücünün soğutucu akışkana transfer edildiği varsayılabilir. Böylece, soğutucudan elde edilebilecek azami güç

$$\left(\dot{W}_{y,maks}\right)_{soğ} = \dot{m}_{soğ} \left[ (h_{\zeta} - h_g)_R - T_0 (s_{\zeta} - s_g)_R \right] = \dot{E}x_{\zeta} - \dot{E}x_g \quad (4.21)$$

şeklinde yazılabilir.

Nihayetinde, yakıt çubuklarından soğutucu akışkana ısı transferinde kaybedilen tersinmez güç

$$\dot{I}_{soğ} = \left(\dot{W}_{y,maks}\right)_{yak} - \left(\dot{W}_{y,maks}\right)_{soğ} \quad (4.22)$$

şeklinde yazılabilir.

Fisyon gücü; reaktör kontrol hacmine Termodinamiğin Birinci Yasa'nın uygulanmasıyla ve adyabatik, şaft işinin olmadığı, kinetik ve potansiyel değişimleri ve yüzey gerilmesi etkilerinin terimlerinin olmadığı kabulüyle,

$$\left(\dot{W}_{y,maks}\right)_{fis} \cong \dot{m}_{soğ} (h_{\zeta} - h_g) = \dot{E}_{\zeta} - \dot{E}_g \quad (4.23)$$

şeklinde ifade edilebilir.

Böylece, reaktördeki tersinmez güç

$$\dot{I}_R = \left(\dot{W}_{y,maks}\right)_{fis} - \left(\dot{W}_{y,maks}\right)_{soğ} = (\dot{E}_{\zeta} - \dot{E}_g) - (\dot{E}x_{\zeta} - \dot{E}x_g) = \dot{m}_{soğ} T_0 (s_{\zeta} - s_g)_R \quad (4.24)$$

olarak elde edilir.

### 4.2.3 Türbinlerde genişleme prosesi

Termodinamiğin Birinci Yasasının uygulanmasından,  $t$  alt indisi türbini ifade etmek üzere, bir adyabatik türbinde genişleme prosesi esnasındaki gerçek güç



$$\dot{W}_t = (\dot{W}_y)_t = \sum_g \dot{E}_g - \sum_{\zeta} \dot{E}_{\zeta} = \sum_g \dot{m}_g h_g - \sum_{\zeta} \dot{m}_{\zeta} h_{\zeta} \quad (4.25)$$

şeklinde elde edilir. Bu hal değişimi esnasındaki tersinir güç türbin girişindeki ve çıkışındaki toplam ekserji akış hızı farkına eşittir ve

$$(\dot{W}_{y,maks})_t = \sum_g \dot{E}x_g - \sum_{\zeta} \dot{E}x_{\zeta} \quad (4.26)$$

olur. Buna göre, türbindeki genişleme prosesi için birim zamanda kaybedilen tersinmez güç

$$\dot{I}_t = \sum_g \dot{E}x_g - \sum_{\zeta} \dot{E}x_{\zeta} - \dot{W}_t = T_0 \left( \sum_{\zeta} \dot{m}_{\zeta} s_{\zeta} - \sum_g \dot{m}_g s_g \right) \quad (4.27)$$

olur. Türbinin izentropik verimi

$$\eta_t = \frac{(\dot{W}_y)_t}{(\dot{W}_{y,maks})_t} = \frac{\dot{W}_t}{(\dot{W}_{y,maks})_t} \quad (4.28)$$

şeklinde tanımlanmıştır.

ve türbin için ekserji verimi olarak da adlandırılan Termodinamiğin İkinci Yasası verimi

$$\zeta_t = \frac{\dot{W}_t + \sum_{\zeta} \dot{E}x_{\zeta}}{\sum_g \dot{E}x_g} \quad (4.29)$$

şeklinde tanımlanabilir.

#### 4.2.4 Pompalardaki sıkıştırma prosesi

Termodinamiğin Birinci Yasasının uygulanmasından pompa gücü

$$\dot{W}_p = \dot{m}_g h_g - \dot{m}_{\zeta} h_{\zeta} \quad (4.30)$$

olarak elde edilir. Pompadaki sıkıştırma prosesi için birim zamanda kaybedilen tersinmez güç

$$\dot{I}_p = \sum_g \dot{E}x_g - \sum_{\zeta} \dot{E}x_{\zeta} - \dot{W}_p \quad (4.31)$$

olur. Pompanın izentropik verimi

$$\eta_p = \frac{(\dot{W}_{y,ter})_p}{(\dot{W}_y)_p} = \frac{(\dot{W}_{y,ter})_p}{\dot{W}_p} \quad (4.32)$$

şeklinde tanımlanmıştır.

Termodinamiğin İkinci Yasası verimi ise

$$\zeta_p = \frac{\sum_{\xi} \dot{E}x_{\xi}}{|\dot{W}_p| + \sum_g \dot{E}x_g} \quad (4.33)$$

şeklinde tanımlanabilir.

#### 4.2.5 Isı değıştiriciler, buhar üreteçleri, ısıtıcılar, soğutucular ve yoğunlaştırucularda ısı transferi prosesi

Isı geçişi etkileşimi esnasında varsayılan birim zamandaki tersinir iş eşanjörler, buhar üreteçleri, ısıtıcılar, soğutucular ve yoğunlaştırucularda birim zamanda kaybedilen tersinmez güce eşit olup,  $IG$  alt indisi ısı geçişini ifade etmek üzere

$$\dot{I}_{IG} = (\dot{W}_{ter})_{IG} - (\dot{W}_y)_{IG} = (\dot{W}_{ter})_{IG} = \sum_g \dot{E}x_g - \sum_{\xi} \dot{E}x_{\xi} \quad (4.34)$$

şeklinde elde edilebilir. Çünkü bu ünitelerdeki ısı geçişi esnasında üretilen yararlı güç yoktur  $[(\dot{W}_y)_{IG}=0]$ . Bu ünitelerdeki ısı geçişi etkileşimine ilişkin

Termodinamiğin İkinci Yasası verimi

$$\zeta_{IG} = \sum_{\xi} \dot{E}x_{\xi} / \sum_g \dot{E}x_g . \quad (4.35)$$

şeklinde tanımlanabilir.



## 5. CYCLE-TEMPO PROGRAMI

Cycle-Tempo Programı (CTP), Hollanda'da bulunan Delft University of Technology (DUT) tarafından geliştirilmiş olan ve soğutma sağlayan, buhar üreten ve elektrik enerjisi üreten ısı sistemlerinin termodinamik analizi ve optimizasyonunun yapılabileceği MS-WINDOWS tabanlı bir bilgisayar programıdır. [20]. CTP, kullanıcıya bir şekilsel kullanıcı arayüzü vasıtasıyla (Graphical User Interface-GUI) termodinamik sistemlerde kullanılan cihazların şekilsel olarak girdilenmesi, uygun bağlantılarla birbirlerine bağlanması ve sisteme has termodinamik özelliklerin her cihaza has bir şekilde girdilenmesi imkânını verir. CTP, bu veri girişi sonrasında sistemde bilinmeyenlerden bir sistem matrisi oluşturur ve bu matrisi sayısal analiz yöntemleri kullanarak çözer. CTP yaptığı çözüm sonrasında "View" menüsünden görülebilecek aşağıda listesi verilen çıktıları verir:

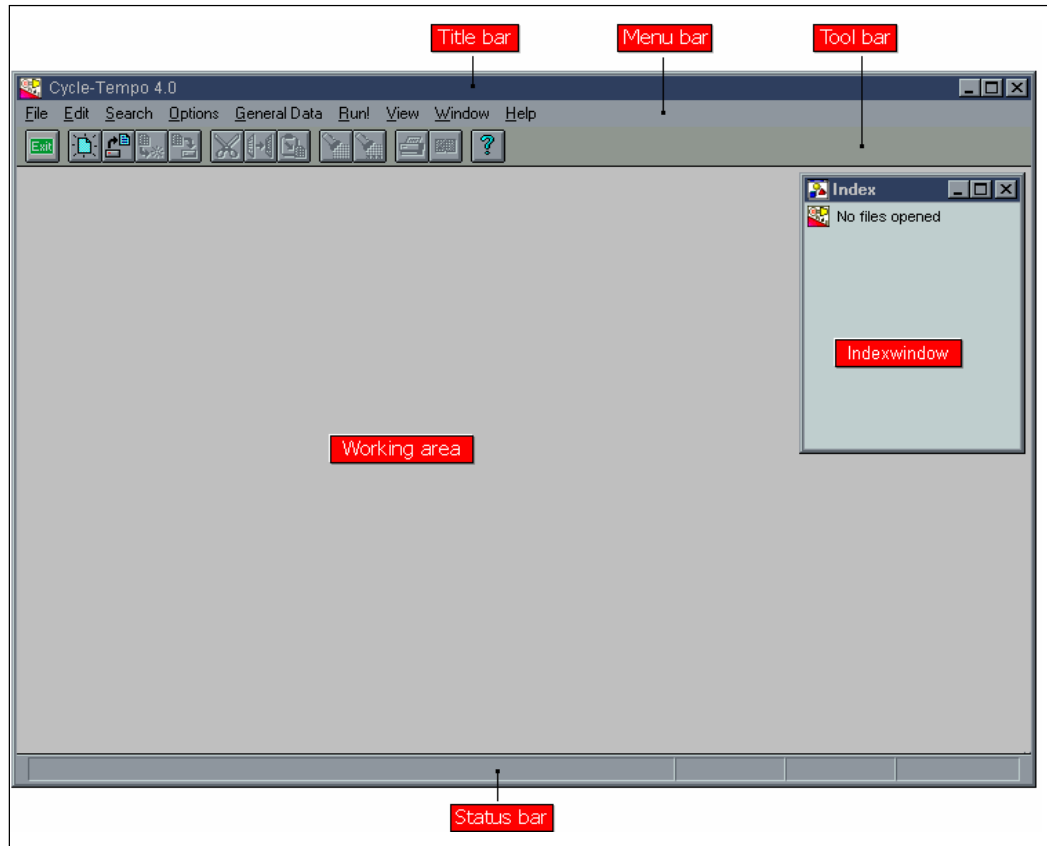
- Girdilene verilerin özeti
- Çıktı verilerinin dökümü
- Sistem verimleri
- Enerji balansı
- Bütün borular için veriler
- Borularda kayıplar
- Enerji ve ekserji akışları
- Sistemdeki ekserji değerleri
- Dönen cihazlar
- Motorlar ve jeneratörler
- Isı değiştiren cihazlar
- Sonuçların şekilsel gösterimi
- Hata ve uyarı mesajları

CTP verilen sistemi çözemediği durumlarda programı sonlandırır ve hata mesajı veya mesajları üreterek kullanıcıyı hatanın çözülmesi için yönlendirir. Ayrıca, CTP bazı durumlarda programı sonlandırmadan da uyarı mesajları üretebilir.

### 5.1 Cycle-Tempo Programının Kullanılışı

Bu tezde de kullanılan Cycle-Tempo Release 5.0 programı lisansı alındıktan sonra, FluidProp 2.3 programı ile birlikte kurulur. FluidProp 2.3 programı, CTP'nin sorunsuz çalışması için gerekli olan bir programdır.

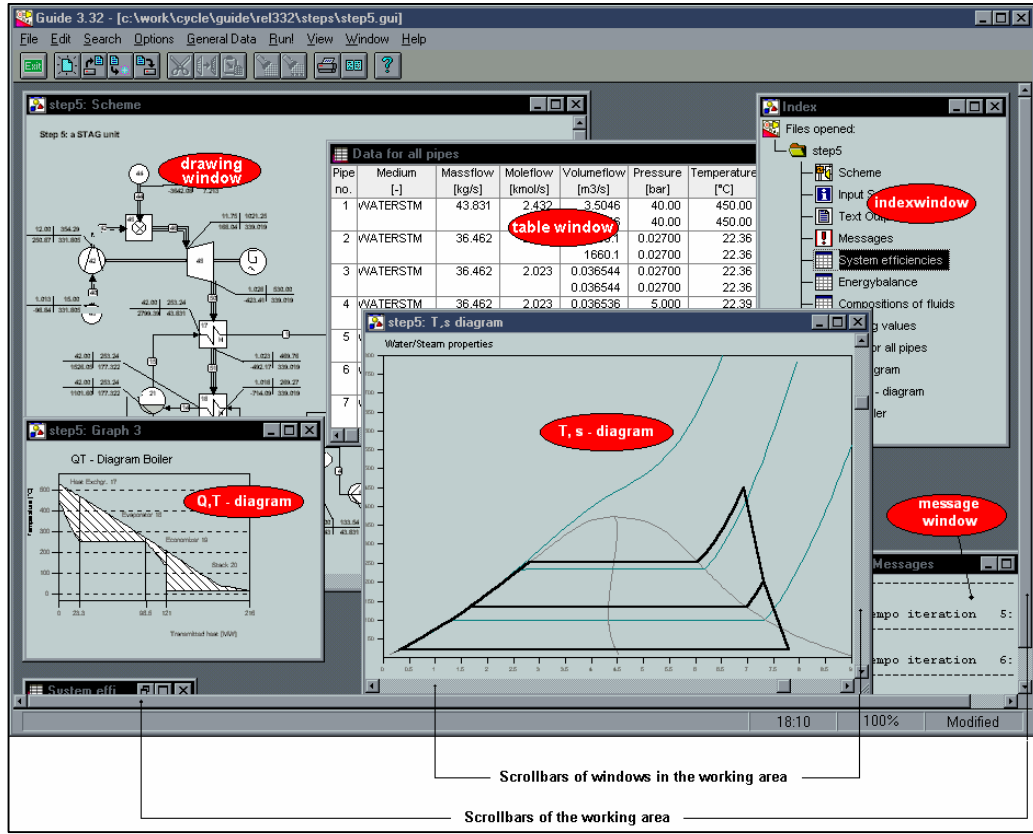
Programın kurulum aşaması tamamlandıktan sonra, masaüstünde oluşturulan kısayol tıklanarak program başlatılır. Programın başlangıç arayüzü Şekil 5.1'de görülmektedir.



Şekil 5.1 : CTP'nin ilk açılış ekranı [20].

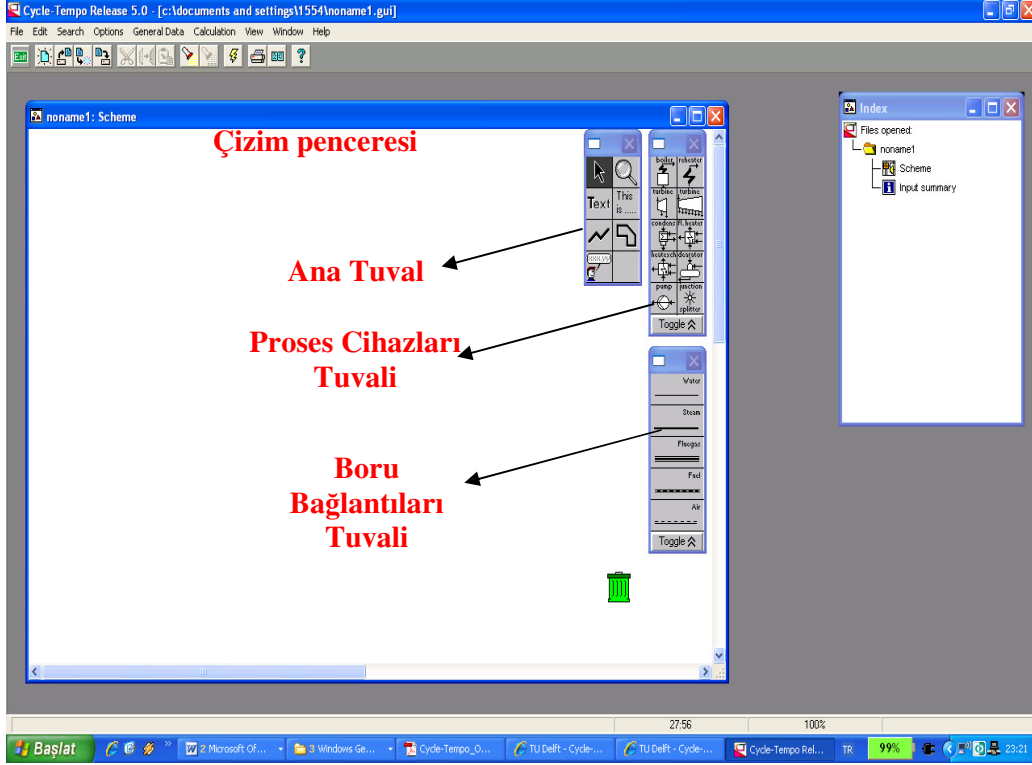
CTP ana ekranı, başlık çubuğu (title bar), içindekiler çubuğu (menu bar), araç çubuğu (tool bar), çalışma alanı (working area), içindekiler penceresi (index window) ve durum çubuğundan (status bar) oluşmaktadır.

Başlık çubuğu, çalışılmakta olan programın ismini verir. İçindekiler çubuğunda, programdaki bütün komutların verilebileceği seçenekler bulunur. Araç çubuğunda, içindekiler çubuğundan da verilebilecek bazı komutların kısa yolları bulunmaktadır. Çalışma alanında kısaca programın bütün girdileri ve bütün çıktıları görüntülenebilir ve bu arayüzde program kullanıcı ile doğrudan etkileşim halindedir. Çalışma alanında, indeks penceresi, çizim pencereleri, girdi özeti, çıktı özeti, mesaj penceresi, çizelge pencereleri ve şekil pencereleri görülebilir. Cycle- Tempo çalışma alanı Şekil 5.2’de gösterilmiştir. Durum çubuğunda ise programın tüm bilgisi izlenebilir.



Şekil 5.2 : CTP'nın çalışma alanı penceresi ve görüntülenebilecek alt pencereler [20].

Programdan boş çalışma alanı yaratmak için araç çubuğunda sol başta yer alan File sekmesi içinde New seçeneğine basılır. Böylece CTP içinde sistem oluşturmaya hazır bir çalışma alanı açılmıştır. Bu yeni açılan dosya yapılacak çalışmanın ismi verilerek kayıt edilir. Başlık kutusunda, programın kayıt edilen ismi görünür. Yukarıda anlatılan işlem yapıldıktan sonra çalışma sayfası Şekil 5.3’de gösterildiği gibi görünür.



Şekil 5.3 : CTP’de yeni dosya açıldığında karşılaşılan arayüz [20].

CTP’de sistem analizi yapmak için ilk önce modeli oluşturulacak sistemin bileşenleri birer birer sürükleyip bırak yöntemi ile çizim penceresine sürüklenmelidir. Bu işlemden sonra, bileşenler birbirlerine sistemin gerektirdiği şekilde ve akışkan türüne göre boru bağlantıları tuvalinden seçilecek bağlantılar ile bağlanmalıdır. Bileşenlerin birbirine bağlanmasında, bileşene girebilecek veya çıkabilecek en az ve en çok bağlantı sayısı ile bağlantı noktasının doğru olmasına dikkat edilmelidir. Tüm bağlantılar yapıldıktan sonra, CTP modeli kurulmuş olur. CTP modelinin oluşturulması, bileşenlere özel bilgilerin girilmesi ile tamamlanır ve çalıştır komutu verilerek sistem çalıştırılır.

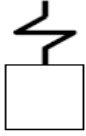

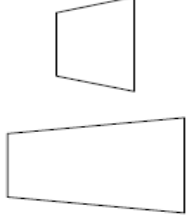






## 5.2 Cycle-Tempo Programında Kullanılan Ekipmanlar ve Özellikleri

CTP modelini oluşturabilmek için, doğru bileşenin kullanılması, doğru verilerin girilmesi ve sistem bileşenlerinin birbirlerine doğru bir şekilde bağlanması gereklidir. Bu amaçla, CTP’de mevcut bileşenler aşağıda ayrıntılı bir şekilde tanımlanmıştır.

CTP’de 28 farklı tipte ekipman kullanılabilir. Aşağıdaki çizelgede programda kullanılabilen bütün ekipmanlar gösterilmiştir. Sistem eşitliği sütununda










verilen M harfi ve önündeki sayı bileşenin sistem matrisine eklediği kütle denklemini, E harfi ve önündeki sayı ise bileşenin sistem matrisine eklediği enerji denklemini sayısını ifade etmektedir. CTP’de ekipman listesi, sistem eşitliği ve ekipman sembolleri Çizelge 5.1’de gösterilmiştir.

**Çizelge 5.1 :** CTP ekipman listesi, sistem eşitliği ve semboller [20].

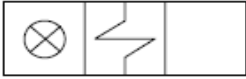

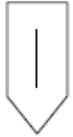



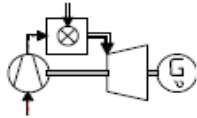


Tip	İsim	Sistem Eşitliği	Sembol
1	Kazan	1M	
2	Ara Kızdırma	1M	
3	Türbin	1M	
4	Yoğuşturucu	2M / 2M + 1E (EEQCOD = 2; tip 6) (EEQCOD = 1; tip 12)	
5	Besi Suyu Isıtıcısı	2M + 1E	
6,12	Isı Değiştirgeci	2M/ 2M + 1P (EEQCOD = 2; tip 6) (EEQCOD = 1; tip 12)	
7	Gazsızlaştırma Ünitesi	1M + 1E	
8	Pompa	1M	
9,11	Nokta	1M/ 1M + 1E (EEQCOD = 2; tip 9) (EEQCOD = 1; tip 11)	



**Çizelge 5.1 :** (Devam) CTP ekipman listesi, sistem eşitliği ve semboller [20].

Tip	İsim	Sistem Eşitliği	Sembol
10	Kaynak / Kuyu	1M	
10	Isı Kuyusu	1M	
10	Baca	1M	
13	Yanma Odası	1M/ (EEQCOD = 2) 2M/ (EEQCOD = 1, or EEQCOD = 2)	
14	Vana	2M	
15	Drum	1M+1E	
20	Dönüştürücü	2M/ (EEQCOD = 2) 2M + 1E (EEQCOD = 1)	
21	Yakıt Hücresi	2M/ (EEQCOD = 2) 2M + 1E (EEQCOD = 1)	
22	Nem Seperatörü	2M/ (EEQCOD = 2) 2M + 1E (EEQCOD = 1)	

**Çizelge 5.1 :** (Devam) CTP ekipman listesi, sistem eşitliği ve semboller [20].

Tip	İsim	Sistem Eşitliği	Sembol
23	Gazlaştırıcı	2 M / (EEQCOD = 2) 2 M + 1E (EEQCOD = 1)	
2	Gaz Temizleyici	2M	
26	Seperatör	2M	
27	Reaktör	1M	
28	Saturator	2M	
29	Kompresör	1M	
30	Gas Türbini	1M	
G	Jeneratör	-	
M	Elektrik Motoru	-	

Cycle-Tempo’da bulunan ekipmanlardan yapılan analizde sıkça kullanılanlar ilerleyen bölümlerde ayrıntılı olarak tanıtılmaktadır. Kullanılan bütün ekipmanlarda

aşağıda verilen termodinamik veriler standart olarak bulunmaktadır, fakat cihazın özelliğine göre özel bazı verilerde girilebilir.

- PIN = Giriş basıncı [bar]
- POUT = Çıkış basıncı [bar]
- DELP = Basıncı düşümü [bar]
- TIN = Giriş sıcaklığı [°C]
- TOUT = Çıkış sıcaklığı [°C]
- DELT = Sıcaklık farkı [°C]

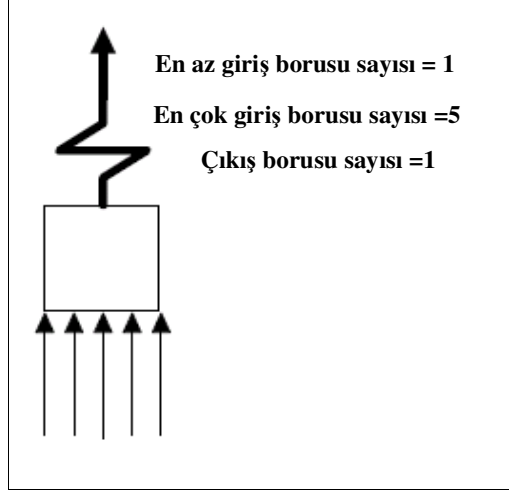
Örneğin bir Cycle-Tempo ekipmanı olan Kazan'ın veri giriş penceresi Şekil 5.4'de gösterilmiştir.

Parameter	Unit
PIN	bar
POUT	bar
DELP	bar
TIN	°C
TOUT	°C
DELT	°C
DELE	kW
ESTMAS	kg/s
ETHAB	-
LHV	kJ/kg
EXFUEL	kJ/kg

Şekil 5.4 : Kazan tipi Cycle-Tempo ekipmanının veri giriş penceresi [20].

### 5.2.1 Kazan (Tip 1)

CTP modelinde kapalı çevrimlerde kazan olarak kullanılan bu ekipman, yalnızca çevrime ısı veren bir ekipman olarak düşünülmelidir. Baca gazı çıkışı hesaba katılmaz. Kazan; ekonomizer, evaporatör ve kızdırıcıdan oluşmaktadır. Ara kızdırma ayrıca modellenmelidir. Bu ekipman sistem matrisine 1 kütle denklemi ilave eder.



**Şekil 5.5 :** Kazan için giren-çıkan boru bağlantıları [20].

### 5.2.1.1 Kazan için veri girdileri

PIN, POUT, DELP, TIN, TOUT, DELT standart veri girdileridir. Bu verilerin standart veri girdileri olması bütün bu verilerin girilmesinin mutlaka gerekli olduğu anlamına gelmez, sadece analizi yapılacak sistem için gerekli olan veriler girdilenmelidir.

DELE, kazandan kW cinsinden bırakılan ısıyı gösterir. Varsayılan değeri BİLİNMIYOR (UNKNOWN)'dur.

ESTMAS, kazandaki kütleli debiyi kg/s cinsinden gösterir. Varsayılan değeri BİLİNMIYOR (UNKNOWN)'dur.

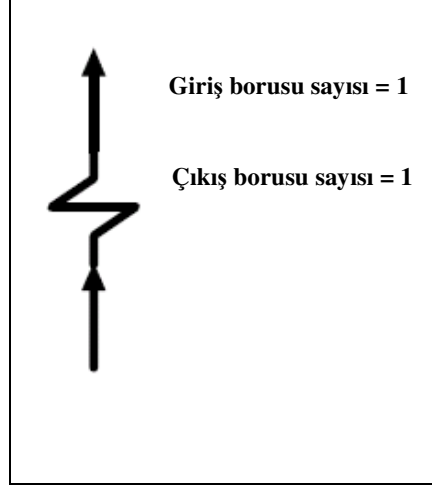
ETHAB, kazanın termal verimini gösterir. Varsayılan değeri 1'dir.

LHV, kazanda kullanılan yakıtın alt ısıtma değerini kJ/ kg cinsinden gösterir. Varsayılan değeri BİLİNMIYOR (UNKNOWN)'dur. LHV sadece ekserji hesaplamaları için önemlidir.

EXFUEL, yakıtın ekserjisinin kJ/ kg cinsinden ifadesidir. Varsayılan değeri BİLİNMIYOR (UNKNOWN)'dur. Kazan ekipmanı için giren-çıkan boru bağlantıları Şekil 5.5'de gösterilmiştir.

### 5.2.2 Ara kızdırma (Tip 2)

Bu ekipman da kazan gibi kapalı çevrimlerde modelleme amacıyla kullanılır. Baca gazı sistemi hesaba alınmaz. Bu ekipman sistem matrisine 1 kütle denklemi ilave eder.



Şekil 5.6 : Ara kızdırma için giren-çıkan boru bağlantıları [20].

### 5.2.2.1 Ara kızdırma için veri girdileri

PIN, POUT, DELP, TIN, TOUT, DELT standart veri girdileridir. Bu verilerin standart veri girdileri olması bütün bu verilerin girilmesinin mutlaka gerekli olduğu anlamına gelmez, sadece analizi yapılacak sistem için gerekli olan veriler girdilenmelidir.

DELE, kazandan kW cinsinden bırakılan ısıyı gösterir. Varsayılan değeri BİLİNMIYOR (UNKNOWN)'dur.

ESTMAS, kazandaki kütleli debiyi kg/s cinsinden gösterir. Varsayılan değeri BİLİNMIYOR (UNKNOWN)'dur.

ETHAB, kazanın termal verimini gösterir. Varsayılan değeri 1'dir.

LHV, kazanda kullanılan yakıtın alt ısıtma değerini kJ/ kg cinsinden gösterir. Varsayılan değeri BİLİNMIYOR (UNKNOWN)'dur. LHV sadece ekserji hesaplamaları için önemlidir.

EXFUEL, yakıtın ekserjisinin kJ/ kg cinsinden ifadesidir. Varsayılan değeri BİLİNMIYOR (UNKNOWN)'dur.

Ara kızdırma için giren-çıkan boru bağlantıları Şekil 5.6'da gösterilmiştir.

### 5.2.3 Türbin (Tip 3)

Türbin ekipmanı genel olarak birçok türbinin modellenmesinde kullanılabilir. Giriş ve çıkış bağlantıları hariç bir türbinde 8 adet ara buhar çekilme noktası olabilir. Programdaki genel türbin tipi TUCODE = 0 tipi türbindir. Bu türbin tipi, çevrimlerde, gaz türbini veya buhar türbinlerinin genel olarak modellenmesinde kullanılabilir. Ayrıca türbin içyapısı ile ilgili bilgilerin girilmesini de zorunlu kılan ve

TUCODE = 1 ve TUCODE = 9 arası türbin modelleri de mevcuttur. Bunlarla her tip ve ebatta türbin modellenebilir. Türbin modeli için iki farklı sembol mevcuttur ve bunlar programda küçük sembol ve büyük sembol olarak adlandırılır.

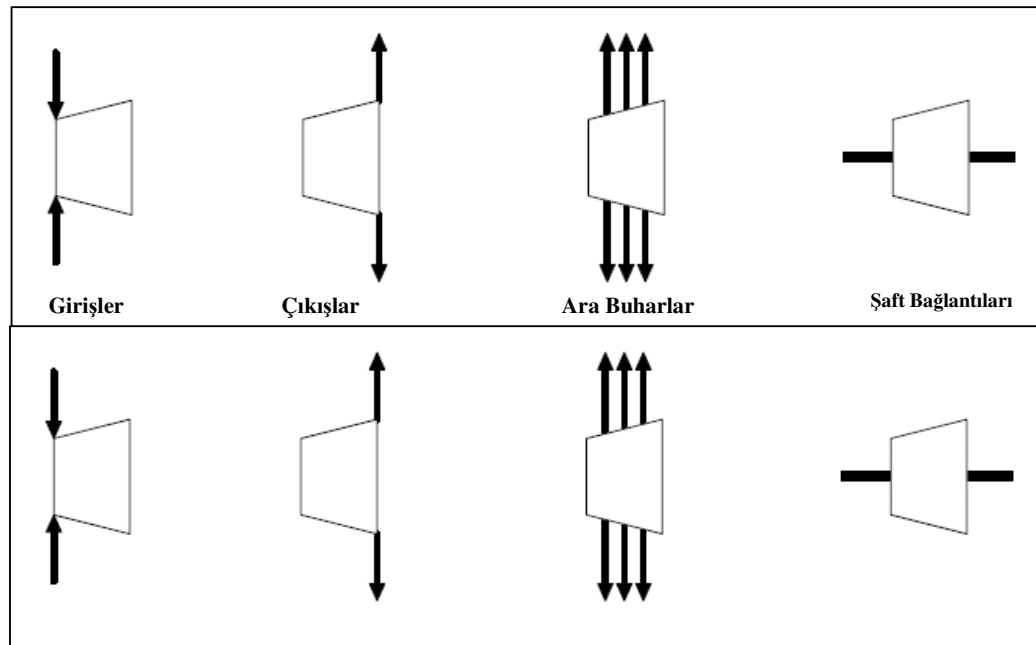
Türbin modeli için simgeler ve giriş-çıkış bilgileri Şekil 5.7’de gösterilmiştir.

**Giriş borusu sayısı = 1**

**Çıkış borusu sayısı = 1**

**En çok ara buhar borusu sayısı = 10**

**En çok şaft sayısı = 2**



**Şekil 5.7 :** Türbin modeli için simgeler ve giriş-çıkış bilgileri [20].

### 5.2.3.1 Türbin için veri girdileri

PIN, TIN, TOUT, DELT standart veri girdileridir. POUT ve DELP'nin belirlenmesi mümkün değildir. Ara buharlara veya çıkışa ilişkin termodinamik veriler ya boru üzerinde ya da bağlı olan diğer ekipman üzerinde tanımlanabilir. Türbin sistem matrisine 1 kütle denklemi ekler.

TUCODE, 5 haneli türbin kodudur. Türbin kodunun 1. hanesi türbin tipini belirler. Türbin kodları ile ilgili ayrıntılı bilgi kullanıcı kitaplarında bulunabilir Varsayılan değeri 0'dır.

GDCODE, türbinde idare eden safhanın var olup olmadığını gösterir. Var ise GDCODE = 2, yok ise GDCODE = 1 olmalıdır. Varsayılan değeri 1'dir.

ETHAI, türbinin izentropik verimini gösterir. TUCODE = 0 için varsayılan değeri BİLİNMIYOR (UNKNOWN)'dur.

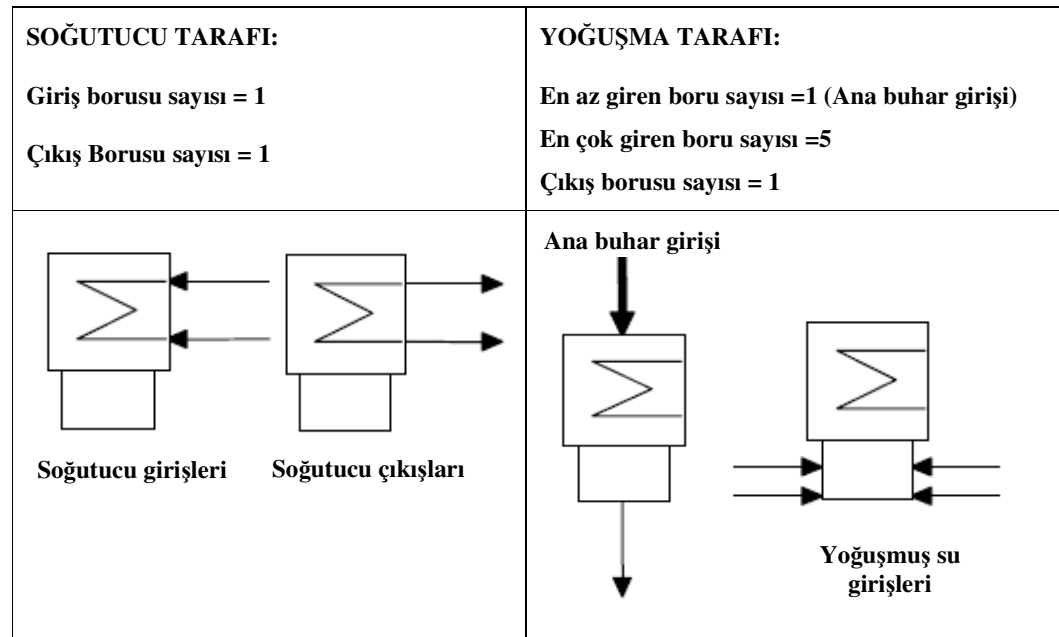
ETHAM, türbinin mekanik verimidir. Varsayılan değeri 1'dir.

Ayrıca türbinin içyapısı ile ilgili bilgilerde girilebilir, bu verilerle ilgili ayrıntılı bilgiler kullanma kitaplarında mevcuttur.

#### 5.2.4 Yoğuşturucu (Tip 4)

Yoğuşturucu modeli, buhar çevrimlerinde, yoğuşturucu hesaplarında kullanılır. Yoğuşma için gerekli olan soğutma suyu girişleri mevcuttur. . Yoğuşturucu, sistem matrisine 2 kütle denklemi ekler. EEQCOD (Energy EQUation CODE) parametresi ile enerji denkleminin bir kütle akışını veya bir entalpi değerini hesaplaması sağlanabilir. EEQCOD = 1 ile enerji denkleminde bir kütle akışı hesaplanır ve enerji denklemi sistem matrisine eklenir. EEQCOD = 2 ile giriş veya çıkışta bir entalpi değeri hesaplanır ve enerji denklemi sistem matrisine eklenemez. EEQCOD için varsayılan değer 1'dir.

Yoğuşturucu modeli için simgeler ve giriş-çıkış bilgileri Şekil 5.8'de gösterilmiştir.



Şekil 5.8 : Yoğuşturucu modeli için simgeler ve giriş-çıkış bilgileri [20].

#### **5.2.4.1 Yoğuşturucu için veri girdileri**

PIN1, POUT1, DELP1, TIN1, TOUT1, DELT1 soğutucu tarafı için standart veri girdileridir. PIN2, POUT2, DELP2, TIN2, TOUT2, DELT2 ise yoğuşma tarafı için standart veri girdileridir.

SATCOD, 0 olması halinde yoğuşma tarafındaki çıkışın doymuş olduğunu gösteren parametredir.

RPSM, soğutucu ve yoğuşma tarafı arasındaki kütleli debi oranının ilk tahmini ifade eden değerdir. Varsayılan değeri 65'dir. Bu parametre EEQCOD =2 olduğunda geçerlidir.

DELTH, yoğuşma tarafının yoğuşma sıcaklığı ile soğutucu tarafının çıkış sıcaklığı arasındaki farktır. Varsayılan değeri BİLİNMIYOR (UNKNOWN)'dur.

DELTL, yoğuşma tarafının çıkış sıcaklığı ile soğutucu tarafının giriş sıcaklığı arasındaki farktır. Varsayılan değeri BİLİNMIYOR (UNKNOWN)'dur.

DTSUBC, yoğuşma tarafının çıkış sıcaklığı ile yoğuşma tarafının yoğuşma sıcaklığı arasındaki farktır. Varsayılan değeri BİLİNMIYOR (UNKNOWN)'dur.

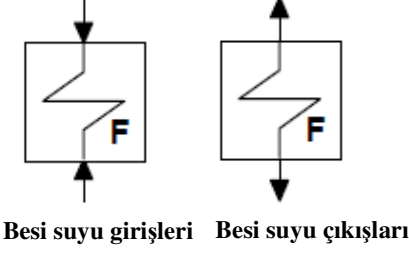
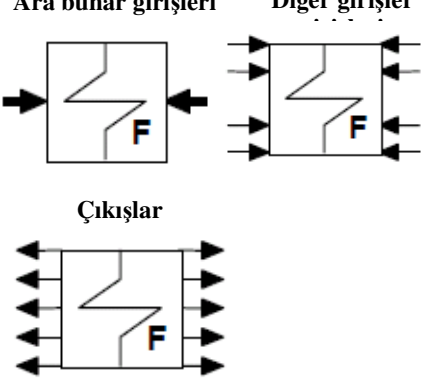
DELE, çevreye enerji akışıdır. Varsayılan değeri 0'dır. DELE artı değer alıyorsa sistemden çevreye ısı aktarımı var demektir.

#### **5.2.5 Besi suyu ısıtıcısı (Tip 5)**

Normalde türbinden çekilen ara buharlar vasıtasıyla besi suyunun ısıtılmasında kullanılır. Enerji balansı kütleli debi hesabında kullanılır ve otomatik olarak sistem matrisine eklenir. Bu ekipman sistem matrisine 2 kütle ve 1 enerji denklemi ekler. Hesaplama buhar tarafı için yoğuşmuş hal kabul edilir.

Besi suyu ısıtıcısı için simgeler ve giriş-çıkış bilgileri Şekil 5.9'da gösterilmiştir.



<p><b>BESİ SUYU TARAFI:</b></p> <p>Giriş borusu sayısı = 1</p> <p>Çıkış Borusu sayısı = 1</p>	<p><b>ARA BUHAR GİRİŞİ TARAFI:</b></p> <p>En az giren boru sayısı =1 (Ana buhar girişi)</p> <p>En çok giren boru sayısı =5</p> <p>Çıkış borusu sayısı = 1</p>
 <p>Besi suyu girişleri Besi suyu çıkışları</p>	<p>Ara buhar girişleri Diğer girişler</p>  <p>Çıkışlar</p>

**Şekil 5.9 :** Besi suyu ısıtıcısı için simgeler ve giriş-çıkış bilgileri [20].

PIN1, POUT1, DELP1, TIN1, TOUT1, DELT1 besi suyu tarafı için standart veri girdileridir. PIN2, POUT2, DELP2, TIN2, TOUT2, DELT2 ise buhar tarafı için standart veri girdileridir.

SATCOD, 0 olması halinde buhar tarafındaki çıkışın doymuş olduğunu gösteren parametredir.

DELTH, buhar tarafının yoğuşma sıcaklığı ile besi suyu tarafının çıkış sıcaklığı arasındaki farktır. Varsayılan değeri BİLİNMIYOR (UNKNOWN)'dur.

DELTL, buhar tarafının çıkış sıcaklığı ile besi suyu tarafının giriş sıcaklığı arasındaki farktır. Varsayılan değeri BİLİNMIYOR (UNKNOWN)'dur.

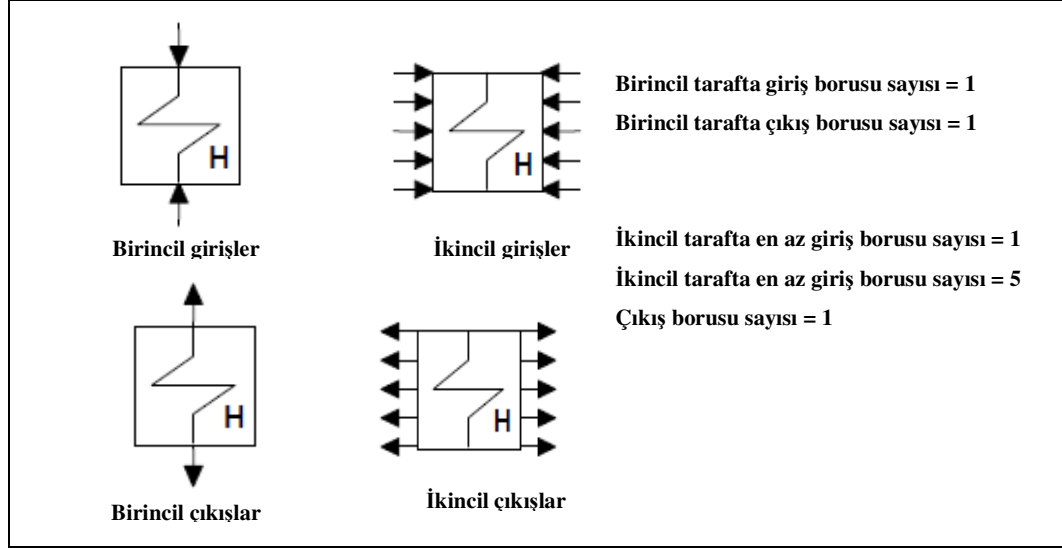
DELE, çevreye enerji akışıdır. Varsayılan değeri 0'dır. DELE artı değer alıyorsa sistemden çevreye ısı aktarımı var demektir.

### 5.2.6 Isı değıştirici (Tip 6,12)

Bu ekipman, genel ısı değıştirici, buharlaştırıcı veya fırın olarak kullanılabilir. Hangi amaçla kullanılacağı kullanıcı arayüzünden seçilebilir. EEQCOD parametresi ile enerji denkleminin bir kütle akışını veya bir entalpi değerini hesaplaması sağlanabilir. EEQCOD =1 ile enerji denkleminde bir kütle akışı hesaplanır ve enerji denklemini sistem matrisine eklenir. EEQCOD =2 ile giriş veya çıkışta bir entalpi

değeri hesaplanır ve enerji denklemi sistem matrisine eklenemez. EEQCOD için varsayılan değer 2'dir.

Isı değiştirici için simgeler ve giriş-çıkış bilgileri Şekil 5.10'da gösterilmiştir.



Şekil 5.10 : Isı değiştirici için simgeler ve giriş-çıkış bilgileri [20].

### 5.2.6.1 Isı değiştirici için veri girdileri

PIN1, POUT1, DELP1, TIN1, TOUT1, DELT1 ile PIN2, POUT2, DELP2, TIN2, TOUT2, DELT2 standart veri girdileridir.

DELTH, yüksek sıcaklık ucu sıcaklık farkıdır. Varsayılan değeri BİLİNMIYOR (UNKNOWN)'dur.

DELTL, düşük sıcaklık ucu sıcaklık farkıdır. Varsayılan değeri BİLİNMIYOR (UNKNOWN)'dur.

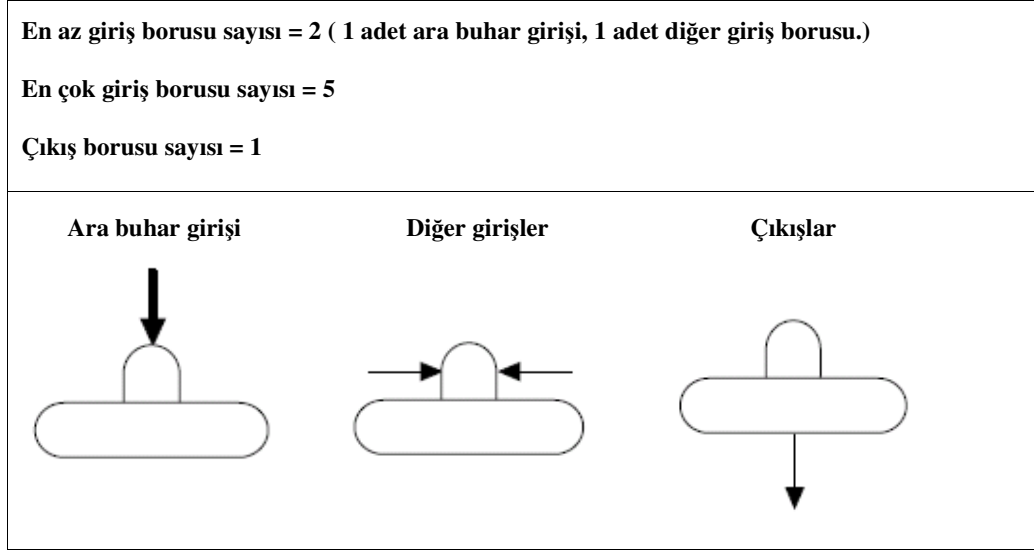
RPSM, birinci ve ikinci taraf arasındaki kütleli debi oranının ilk tahmini ifade eden değerdir. Bu parametre EEQCOD =2 olduğunda geçerlidir.

DELE, çevreye enerji akışıdır. Varsayılan değeri 0'dır. DELE artı değer alıyorsa sistemden çevreye ısı aktarımı var demektir.

### 5.2.7 Gazsızlaştırma ünitesi (Tip 7)

Bu ekipman, çıkışında doymuş sıvı olduğu varsayımıyla hesap yapılan genel maksatlı bir ısıtıcıdır. Türbinin ara kademelerinden çekilen buhar üniteye alınarak gaz alma işleminde kullanılır. Gazsızlaştırma ünitesi sistem matrisine 1 kütle denklemi 1 de enerji denklemi ekler.

Gazsızlaştırma ünitesi için simgeler ve giriş-çıkış bilgileri Şekil 5.11’de gösterilmiştir.



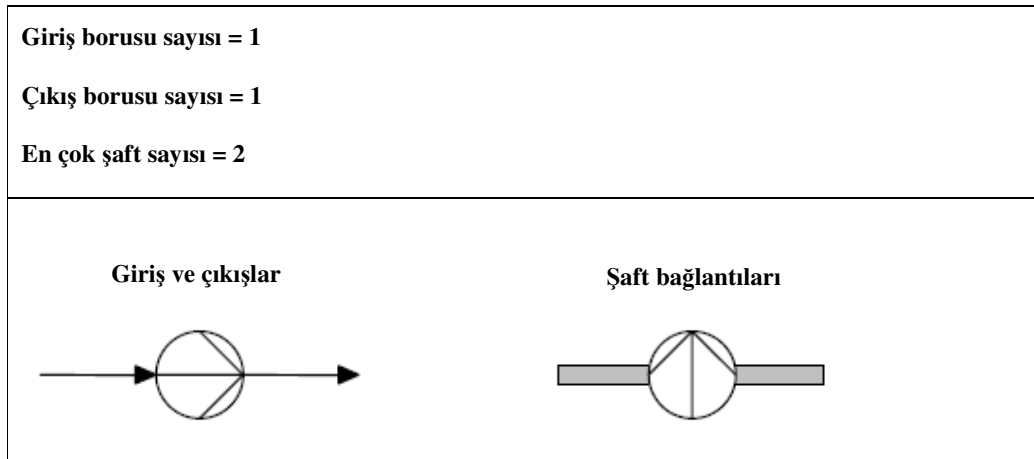
**Şekil 5.11 :** Gazsızlaştırma ünitesi için simgeler ve giriş-çıkış bilgileri [20].

Gazsızlaştırma ünitesi için: PIN, POUT, DELP, TIN ve TOUT standart olarak CTP’ye girdilenebilir. Bunlara ek olarak ekipmandaki enerji kaybı da (DELE) kW olarak girdilenebilir.

### 5.2.8 Pompa (Tip 8)

Pompa ekipmanı CTP’de sistemlerde mevcut pompaların modellenmesinde kullanılır. Pompa ekipmanının giriş ve çıkış bağlantı yönleri ekipman üzerine sağ tıklanarak değiştirilebilir.

Pompa ünitesi için simgeler ve giriş-çıkış bilgileri Şekil 5.12’de gösterilmiştir.



**Şekil 5.12 :** Pompa ünitesi için simgeler ve giriş-çıkış bilgileri [20].

### 5.2.8.1 Pompa için veri girdileri

PIN, POUT, DELP, TIN, TOUT ve DELT standart veri girdileridir. Aşağıda ifade edilen verim değerleri de pompaya girdilenebilir.

ETHAI, pompanın izentropik verimini ifade eder.

ETHAM, pompanın mekanik verimini ifade eder.

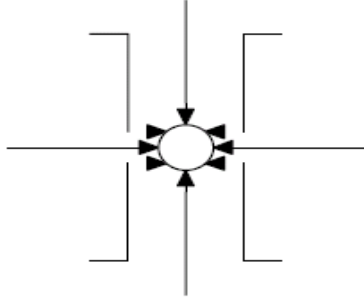
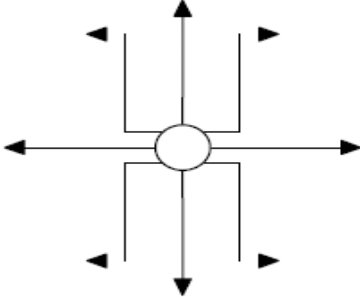
ETHAE, pompanın mekanik verimini ifade eder.

### 5.2.9 Nokta (karıştırıcı ve ayırıcı) (Tip 9-11)

Nokta ekipmanı akışın birleştirilmesi veya ayrıştırılması için kullanılır. Enerji denkleminin kullanımında EEQCOD'a bağlı olarak iki farklı kullanım yolu vardır.

<u>AYIRICI</u>	<u>KARIŞTIRICI</u>
Giriş borusu sayısı = 1	Çıkış borusu sayısı = 1
En az çıkış borusu sayısı = 1	En az giriş borusu sayısı = 1
En çok çıkış borusu sayısı = 5	En çok giriş borusu sayısı = 5

Girişler	Çıkışlar
	

Şekil 5.13 : Nokta ünitesi için simgeler ve giriş-çıkış bilgileri [20].

EEQCOD = 1 (tip 11) ise enerji denklemini kütle debisinin oranını hesaplamak için kullanılır ve doğrudan sistem matrisine eklenir.

EEQCOD = 2 (tip 9) ise enerji denklemini bilinmeyen entalpileri hesaplamak için kullanılır. EEQCOD'un varsayılan değeri 2'dir. Nokta ekipmanı sistem matrisine 1 kütle denklemini ekler.

Nokta ünitesi için simgeler ve giriş-çıkış bilgileri Şekil 5.13'de gösterilmiştir.

### 5.2.9.1 Nokta için veri girdileri

DELP, nokta ekipmanı üzerinde meydana gelen basınç kaybını ifade eder. Varsayılan değeri BİLİNMIYOR (UNKNOWN)'dur. DELP parametresine değer verilmesi halinde bütün giriş veya bütün çıkış basınçları aynı olur, değer verilmemesi halinde giriş veya çıkış basınçları farklı olur.

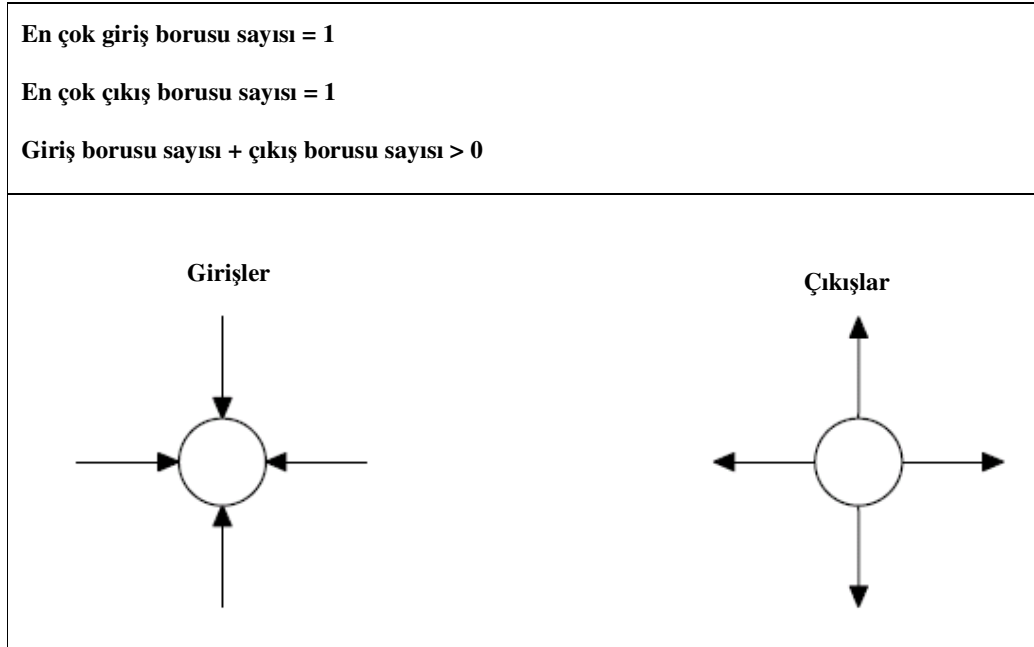
DELE, nokta ekipmanında olan ısı kaybını ifade eden parametredir.

RMASS 1-6, sadece nokatnın karıştırıcı olması durumunda işe yarayan ve noktaya giren ve çıkan borulardaki kütleli debinin birbirlerine oranı hakkında ilk tahmini ifade eden bir parametredir.

### 5.2.10 Kaynak/Kuyu (Tip 10)

Kaynak/Kuyu modeli, kütle giriş-çıkışları, enerji giriş-çıkışı, basınç düşümü (genişleme valfi), sıcaklık tahmini, akışkan bileşiminin değiştirilmesi durumlarında kullanılabilir.

Kaynak / Kuyu ünitesi için simgeler ve giriş-çıkış bilgileri Şekil 5.14'de gösterilmiştir.



Şekil 5.14 : Kaynak / Kuyu ünitesi için simgeler ve giriş-çıkış bilgileri [20].

Kaynak/Kuyu ekipmanının içerisindeki DELM ifadesine kütle (kg/s) olarak girdi olduğu zaman, program sürekli olarak girilen miktar kütleli prosese sokup veya

çıkıyor olarak algılayarak hatalı işlem yapar. Çevrimde sürekli kütle giriş-çıkışı olmayan noktalarda Kaynak/Kuyu içerisine kütle değeri yazılmamalıdır.

#### **5.2.10.1 Kaynak / Kuyu için veri girdileri**

Kaynak ekipmanı için PIN, POUT, DELT, TIN, TOUT ve DELT standart veri girdileridir.

HIN, girişteki özgül entalpiyi ifade eder. Varsayılan değeri BİLİNMIYOR (UNKNOWN)'dur.

HOUT, çıkıştaki özgül entalpiyi ifade eder. Varsayılan değeri BİLİNMIYOR (UNKNOWN)'dur.

DELH, giriş ve çıkış arasındaki özgül entalpi farkını ifade eder. Ekipmanın bir basınç düşürücü olarak modellenmesi için DELH = 0 olmalıdır.

XIN, girişteki buhar oranını ifade eder. Varsayılan değeri BİLİNMIYOR (UNKNOWN)'dur.

XOUT, çıkıştaki buhar oranını ifade eder. Varsayılan değeri BİLİNMIYOR (UNKNOWN)'dur.

DELM, cihaza veya cihaz dışına kütle akışını ifade eder. Varsayılan değeri BİLİNMIYOR (UNKNOWN)'dur.

DELV, cihaza veya cihaz dışına hacimsel akışı ifade eder. Varsayılan değeri BİLİNMIYOR (UNKNOWN)'dur.

DELVN, cihaza veya cihaz dışına normal şartlar altında (0 °C, 1 atm) kütle akışını ifade eder. Varsayılan değeri BİLİNMIYOR (UNKNOWN)'dur.

PIPE, eğer girdilenmişse DELM, DELV, DELVN verilen boru numarasıyla ilişkilendirilir.

DELE, cihaza enerji girişi veya çıkışını ifade eder. DELE > 0 ise çevreden sisteme, DELE < 0 ise sistemden çevreye ısı akışı vardır.

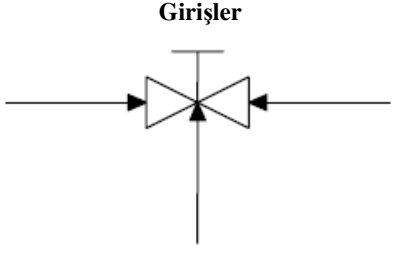
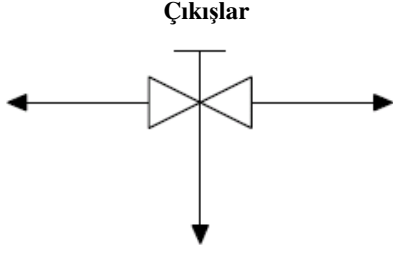
ESTMAS, kütleli debi için tahmini bir değerdir.

SUBTYP, cihazın kaynak veya kuyu olduğunu belirlemek için kullanılır. Varsayılan değeri BİLİNMIYOR (UNKNOWN)'dur. Değerinin 0 olması halinde genel tip, 1 olması halinde kuyu, 2 olması halinde cihaz yakıt kaynağı olur.

### 5.2.11 Vana (Tip 14)

Vana CTP’de hem ayırıcı hem de karıştırıcı olarak kullanılabilir. Bu ekipman ile kendisine bağlı borulardan birinde kütle ve hacimsel debi belirlenebilir. Seçilen yöndeki boru için hem debi hem de o yönde oluşan basınç kaybı ekipman içerisine girdilenebilir. CTP’ye kütle tanımlanması suretiyle modelin tümünün kütle dengesi oluşturulabilir.

Kaynak / Kuyu ünitesi için simgeler ve giriş-çıkış bilgileri Şekil 5.15’de gösterilmiştir.

<b><u>AYIRICI:</u></b> Giriş borusu sayısı = 1 En az çıkış borusu sayısı = 1 En çok çıkış borusu sayısı = 4	<b><u>KARİŞTİRİCİ:</u></b> Çıkış borusu sayısı = 1 En az giriş borusu sayısı = 1 En çok giriş borusu sayısı = 4
	

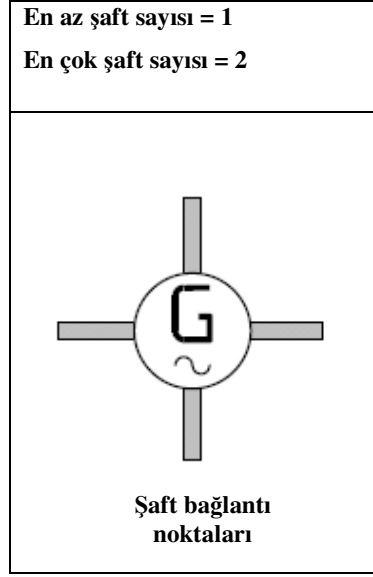
Şekil 5.15 : Vana için simgeler ve giriş-çıkış bilgileri [20].

Bağlantılı olduğu borular arasında çalışacağı bir yön seçilmelidir ve ona göre veriler girdilenmelidir. Vana üçüncü bağlantı olmaksızın da kullanılabilir. Bu durumda bağlı olduğu boru üzerindeki basınç düşümü ve debi değerleriyle çevrimin kütle dengesini değiştirir. Debi mutlak olarak girilebileceği gibi, bağıl olarak da girdilenebilir. Ayrıca karıştırıcı ve ayırıcıdan (*nokta*) farklı olarak sistem matrisine iki kütle denklemi ekler.

### 5.2.12 Jeneratör (Tip G)

CTP’de jeneratör ekipmanı ile kast edilen mekanik enerjinin elektrik enerjisine dönüştürüldüğü bir ekipmandır. Jeneratör mutlaka en az bir türbine bağlı olmalıdır. Jeneratöre girdilen verim değeri üretilen gücü etkilemektedir. Bunun haricinde çevrimde kullanma zorunluluğu yoktur.

Jeneratör için simgeler ve giriş-çıkış bilgileri Şekil 5.16’da gösterilmiştir.



**Şekil 5.16 :** Jeneratör için simgeler ve giriş-çıkış bilgileri [20].

#### **5.2.12.1 Jeneratör için veri girdileri**

ETAGEN, jeneratör verimine karşılık gelen ifadedir. Varsayılan değeri BİLİNMIYOR (UNKNOWN)’dur. ETAGEN sisteme girdilenmişse, COSPHI, GENMVA, KTURB, KGEN, CPRATI parametreleri girdilenemez.

COSPHI, jeneratörün kosinüs  $\Phi$  değerini ifade eder. Varsayılan değeri BİLİNMIYOR (UNKNOWN)’dur.

GENMVA, jeneratörün kapasitesini ifade eder. Varsayılan değeri BİLİNMIYOR (UNKNOWN)’dur.

KTURB, türbin kodunu ifade eder.

KGEN, jeneratör kodunu ifade eder.

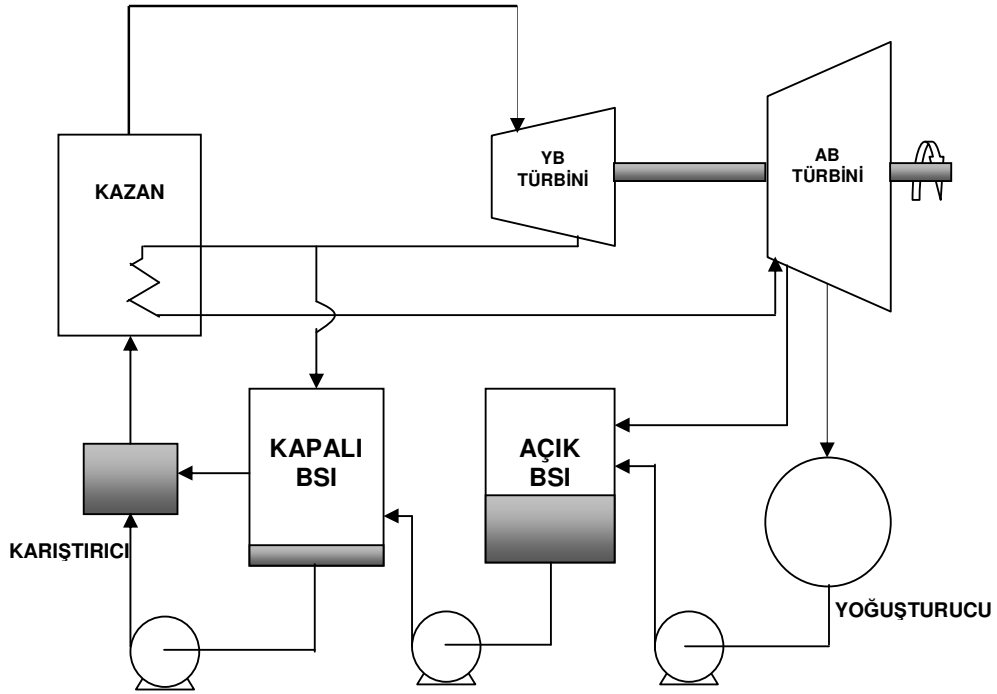
CPRATI, kapasite-güç oranını ifade eder.

### **5.3 Cycle-Tempo Programı İle Analiz Edilen Basit Bir Buhar Çevrimi**

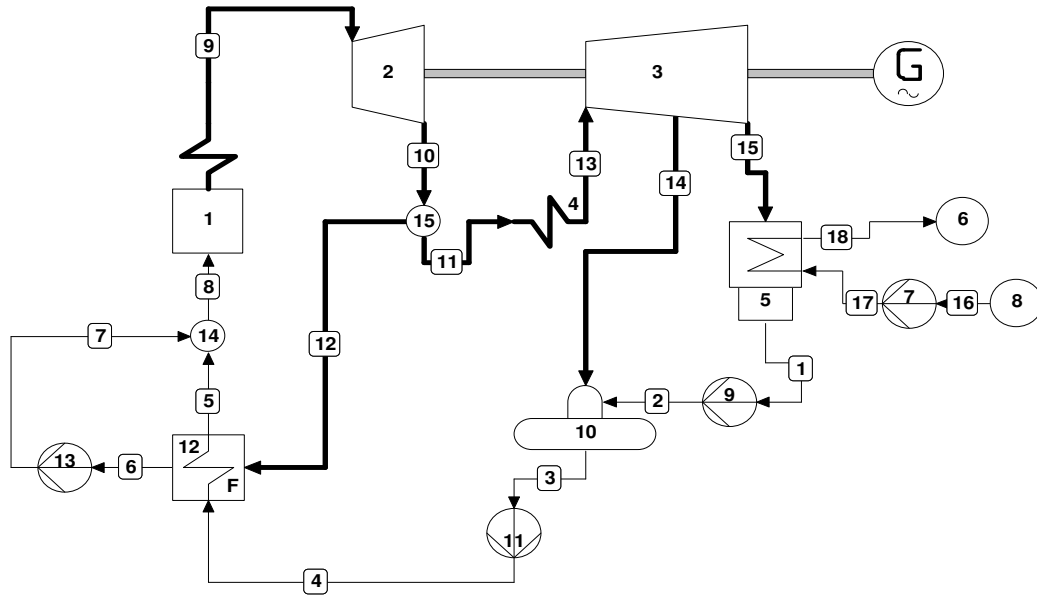
Cycle-Tempo programının daha iyi anlaşılabilmesi ve Cycle-Tempo ile analizi yapılacak CANDU 6 NGS’ne temel oluşturması için basit bir Rankine çevrimi modellenmiştir. Analizi yapılan basit Rankine çevrimi Yunus A. ÇENGEL ve Michael A. BOLES isimli yazarların yazmış oldukları “ Thermodynamics, An Engineering Approach, 2<sup>nd</sup> Edition” kitabının 9. bölümünde bulunan 9.6 numaralı



örnektir. Bu örneğin akış şeması Şekil 5.17’de gösterilmekte olup, Cycle-Tempo modeli ise Şekil 5.18’de görüldüğü gibi oluşturulmuştur.



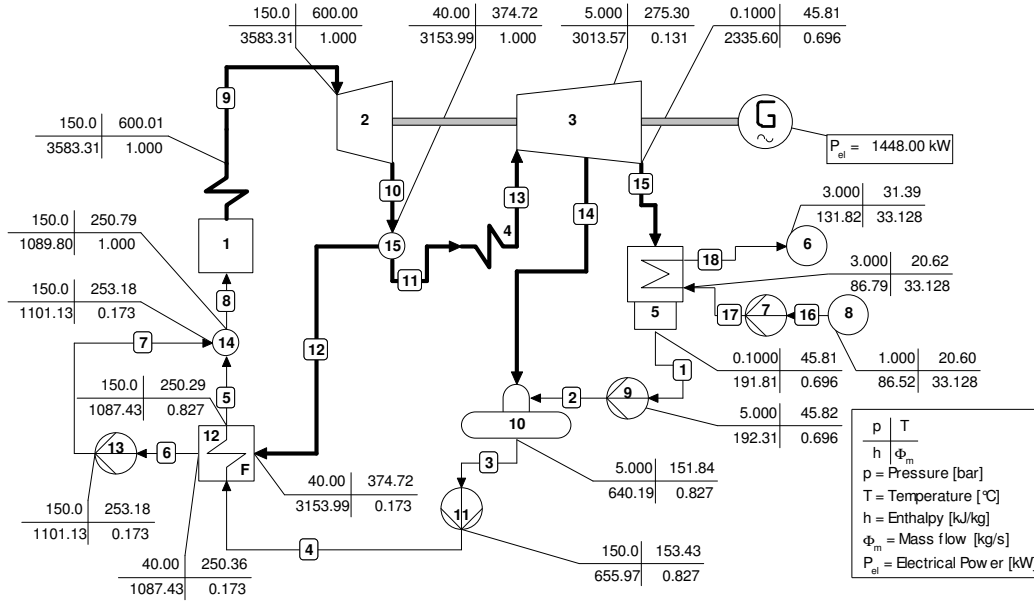
Şekil 5.17 : Basit Rankine çevriminin akış şeması.



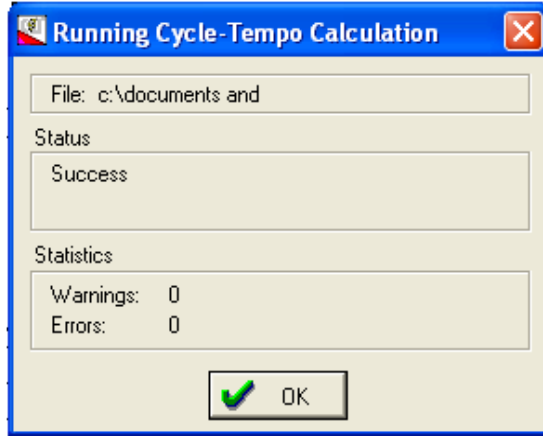
Şekil 5.18 : Basit Rankine çevriminin Cycle-Tempo modeli.

**Çizelge 5.2 :** Basit Rankine çevriminde hesaplama için başlangıç değerleri.

<b>Ekipman adları</b>	<b>Parametreler</b>	<b>Değerler</b>
Kazan (1)	Basınç düşmesi	0 bar
Alçak basınç türbini (2)	Giriş basıncı Giriş sıcaklığı ETHAI izantropik verim	150 bar 600°C 1
Yüksek basınç türbini (3)	Giriş basıncı Giriş sıcaklığı ETHAI izantropik verim	40 bar 600°C 1
Ara kızdırıcı (4)	Basınç düşmesi	0 bar
Yoğuşturucu (5)	DELP1 soğutucu taraf basınç düşmesi DELT1 soğutucu taraf basınç düşmesi POUT2 yoğuşan taraf çıkış basıncı DELP2 yoğuşan taraf basınç düşmesi SATCOD	0 bar 10,77°C 0,1 bar 0 bar 0
Kuyu (6)	Giriş basıncı	1 bar
Pompa (7)	Çıkış basıncı ETHAI izantropik verim	3 bar 0,75
Kaynak (8)	Çıkış basıncı Çıkış sıcaklığı	0 bar 20,6°C
Pompa (9)	Çıkış basıncı ETHAI izantropik verim	5 bar 1
Gazsızlaştırma Ünitesi (10)	Giriş basıncı Basınç düşmesi	5 bar 0 bar
Pompa (11)	ETHAI izantropik verim	1
Besi suyu ısıtıcısı (12)	PIN1 ısınan taraf basıncı DELP1 ısınan taraf basınç düşmesi SATCOD PIN2 ara buhar tarafı giriş basıncı DELP2 ara buhar tarafı basınç düşmesi	150 bar 0 bar 0 40 bar 0 bar 0 bar
Pompa (13)	Çıkış basıncı ETHAI izantropik verim	150 bar 1
Karıştırıcı (14)	Basınç düşmesi	0 bar
Ayırıcı (15)	Basınç düşmesi	0 bar



Şekil 5.19 : Cycle-Tempo örnek modelinin çalıştırdıktan sonra sonuçların ekranda görünüşü.



Şekil 5.20 : Modelin sorunsuz çalıştığını gösteren pencere.

### 5.3.1 Basit Cycle-Tempo Modelinin Sonuçları

Çizelge 5.2’de gösterilen başlangıç değerlerinin modele girdilenmesinden sonra Cycle-Tempo modeli çalıştırılmış ve Şekil 5.20’de gösterilen pencere çıkmıştır. Bundan sonra CTP araç kutularından Şekil 5.21’de gösterilen araç seçildikten sonra her bir borunun giriş ve çıkışlarına sol fare tuşu tıklanarak borulardaki termodinamik özellikler ve ekipmanlara sol fare tuşu ile tıklanarak da ekipman özellikleri görülebilir. Sonuçlar bu şekilde Şekil 5.19’da gösterilmiştir. Şekil 5.19’da gösterilen termodinamik özellikler, Şekil 5.19’un sağ tarafında görülen anahtar vasıtasıyla

okunabilir. Bu anahtarda gösterilen semboller SEMBOL LİSTESİ Bölümünde açıklanmıştır.



**Şekil 5.21 :** CTP’de sonuçların boru giriş ve çıkışları ile ekipmanlar üzerinde görüntülenmesi için kullanılan araç.

CTP’de sonuçlar yukarıda anlatıldığı şekilde doğrudan model üzerinde görüntülenebileceği gibi, CTP’nın “View” menüsünden açılan alt menülerden de görüntülemek mümkündür. Bu alt menülerde sonuçlar çizelgeler halinde verilmektedir. Basit Rankine çevrimi için bu çizelgelerden elde edilen sonuçlar Çizelge 5.3 ve Çizelge 5.4’de sunulmaktadır. Bulunan sonuçların örnek için verilen çözüme uygun olduğu görülmüştür.

**Çizelge 5.3 :** Basit Rankine çevrimi için ünite giriş ve çıkışlarında termodinamik özellikler.

Boru No.	Akış debisi $\dot{m}$ (kg/s)	Basınç $P$ (bar)	Sıcaklık $T$ (°C)	Kuruluk derecesi $x$	Entalpi $h$ (kJ/kg)	Entropi $s$ (kJ/kg K)	Enerji $E$ (kJ/kg)	Ekserji $e_x$ (kJ/kg)	Toplam Enerji Akış Hızı $\dot{E}$ (kW)	Toplam Ekserji Akış Hızı $\dot{e}_x$ (kW)
1	0,696	0,1	45,81	Doymuş sıvı	191,81	0,6492	105,27	4,19	73,27	2,91
2 <sub>i</sub>	0,696	5,0	45,82	Sıkıştırılmış sıvı	192,31	0,6492	105,76	4,68	73,61	3,26
3	0,827	5,0	151,84	Doymuş sıvı	640,19	1,8606	553,77	96,72	457,97	80,00
4	0,827	150,0	153,43	Sıkıştırılmış sıvı	655,97	1,8606	569,55	112,50	471,02	93,06
5	0,827	150,0	250,29	Sıkıştırılmış sıvı	1087,43	2,7705	1001,10	276,67	827,91	228,85
6	0,173	40,0	250,36	Doymuş sıvı	1087,43	2,7967	999,13	268,99	172,85	46,45
7	0,173	150,0	253,18	Sıkıştırılmış sıvı	1101,13	2,7967	1012,83	282,70	175,22	48,82
8	1,000	150,0	250,79	Sıkıştırılmış sıvı	1089,80	2,7751	1003,13	277,76	1003,13	277,66
9	1,000	150,0	600,00	Kızgın buhar	3583,31	6,6798	3496,27	1624,21	3496,27	1623,97
10	1,000	40,0	374,72	Kızgın buhar	3153,99	6,6798	3067,02	1194,90	3067,02	1194,72
11	0,827	40,0	374,72	Kızgın buhar	3153,99	6,6798	3068,05	1194,90	2537,28	988,37
12	0,173	40,0	374,72	Kızgın buhar	3153,99	6,6798	3062,08	1194,90	529,74	206,35
13	0,827	40,0	600,00	Kızgın buhar	3674,85	7,3704	3589,00	1512,86	2968,11	1251,38
14	0,131	5,0	275,30	Kızgın buhar	3013,57	7,3704	2934,04	851,59	384,36	111,82
15	0,696	0,1	45,81	0,8962	2335,60	7,3704	2248,57	173,61	1565,01	120,81
16	33,128	1,0	20,60	Sıkıştırılmış sıvı	86,52	0,3050	0,00	0,00	0,00	0,00
17	33,128	3,0	20,62	Sıkıştırılmış sıvı	86,79	0,3053	0,267	0,20	8,85	6,64
18	33,128	3,0	31,39	Sıkıştırılmış sıvı	131,82	0,4558	45,29	1,01	1500,59	33,42

**Çizelge 5.4 :** Basit Rankine çevrimi için Termodinamiğin Birinci ve İkinci Yasası analizlerinin sonuçları.

Üniteler		Hesaplama sonuçları	Birimi
Kazan+ara kızdırıcı ısı gücü	$\dot{Q}_K$	2923,98	kW
Turbin gücü	$\dot{W}_t$	1447,99	kW
Pompa gücü (9+11+13)	$\dot{W}_p$	-0,35 -13,05 <u>-2,37</u> -15,77	kW
Yoğuşturucu ile transfer edilen ısı gücü	$\dot{Q}_{yoğ}$	-1492,07	kW
Besi suyuna giren net ısı gücü	$\dot{Q}_K + \dot{Q}_{yoğ}$	1431,91	kW
Net gücü	$\dot{W}_t + \dot{W}_p$	1432,22	kW
Yaklaşık toplam ısı kayıpları	$\dot{Q}_K + \dot{Q}_{yoğ} - (\dot{W}_t + \dot{W}_p)$	-0,31	kW
Toplam tersinmez gücü	$\sum \dot{I}$	1491,75	kW
Toplam tersinmez gücü + net gücü	$\sum \dot{I} + \dot{W}_t + \dot{W}_p$	2923,97	kW
Toplam hata = Kazan ısı gücü – (Toplam tersinmez gücü + net gücü)	$\dot{Q}_K - (\sum \dot{I} + \dot{W}_t + \dot{W}_p)$	0,01	kW
Toplam hata oranı	$0,01 / \dot{Q}_K$	0,0003	%
Toplam tersinmezlik oranı	$\sum \dot{I} / \dot{Q}_K$	51,01	%
Tesisin ısı verimi	$(\dot{W}_t + \dot{W}_p) / \dot{Q}_K$	48,98	%



## **6. CANDU 6 NÜKLEER GÜÇ SANTRALİNİN CYCLE-TEMPO PROGRAMINDA MODELLENMESİ**

CTP'de CANDU 6 NGS'nin BITS ve İÇ bölümleri modellenmiştir. Tesisin CTP'de modellenmesindeki amaç enerji ve ekserji analizlerinin yapılmasıdır. Tesisin modellenmesi adım adım yapılmış ve her yeni ünite eklenmesi sonrasında model çalıştırılarak hatalar elenmiştir. Modellemede kullanılan termodinamik veriler, tesise ait akış şemalarından ve teknik dokümanlardan elde edilmiştir. Elde edilemeyen veriler ise hesaplama yoluyla veya öngörü ile modele girdilenmiştir. Cycle-Tempo Modeli'ne (CTM'ye) girdilene bu veriler, "View" menüsündeki "Input summary" alt menüsünden tam döküm olarak görülebilir. CTM'ye veri girdileri Ek A.1'deki çizelgede sunulmuştur. CANDU 6 NGS'nin teknik verileri Çizelge 6.1'de gösterilmiştir [2-5].



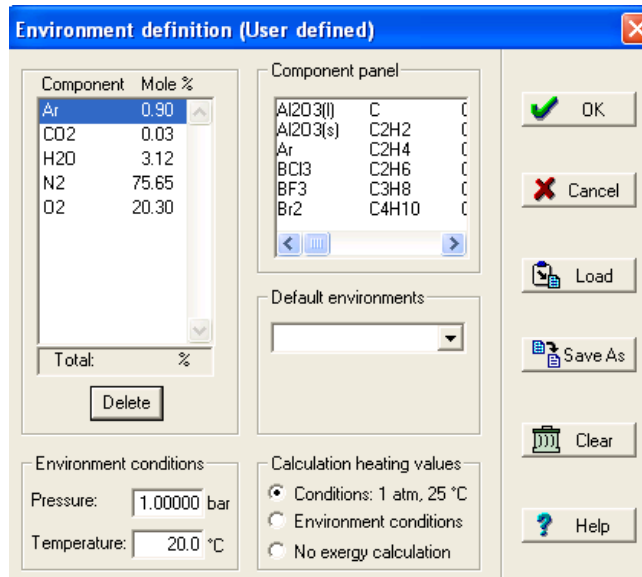
**Çizelge 6.1 : CANDU 6 NGS'nin teknik verileri [2-5].**

			CTM' de boru numarası
Reaktör kalbi ısı güç üretimi	2163,400	MW <sub>th</sub>	–
Yavaşlatıcı çevrimine transfer edilen (kayıp) ısı güç	100,000	MW <sub>th</sub>	–
Reaktörden soğutucu akışkana aktarılan toplam ısı güç	2063,400	MW <sub>th</sub>	–
Soğutucu akışkanın debisi (4 buhar üretici için toplam)	8824,740	kg/s	–
Buhar üreticilerinin ısı gücü (4 buhar üretici için toplam)	2075,370	MW <sub>th</sub>	–
RSP gücü	26,480	MW <sub>th</sub>	–
Kollektörlerde kaybedilen ısı	14,510	MW <sub>th</sub>	–
Soğutucu akışkanın reaktöre giriş basıncı	11,080	MPa	1
Soğutucu akışkanın reaktörden çıkış basıncı	9,990	MPa	2
Soğutucu akışkanın reaktöre giriş sıcaklığı	266,10	°C	1
Soğutucu akışkanın reaktörden çıkış sıcaklığı	309,30	°C	2
Soğutucu akışkanın RSP'ye giriş basıncı	9,800	MPa	5
Soğutucu akışkanın RSP'den çıkış basıncı	11,080	MPa	1
Yavaşlatıcının reaktör tankına giriş sıcaklığı	75,00	°C	6
Yavaşlatıcının reaktör tankından çıkış sıcaklığı	52,00	°C	9
İkinci çevrimde buharın buharın üreticiden çıkış basıncı	4,537	MPa	12
İkinci çevrimde buharın buharın üreticiden çıkış sıcaklığı	257,90	°C	12
İkinci çevrimde buharın buharın üreticiden çıkış kuruluk derecesi	99,68	%	12
İkinci çevrimde buharın YBT'ye giriş basıncı	4,537	MPa	15
İkinci çevrimde buharın ABT'ye giriş basıncı	0,533	MPa	40

**Çizelge 6.1 :** (Devam) CANDU 6 NGS'nin teknik verileri [2-5].

			CTM'de boru numarası
İkinci çevrimde çürük buharın yoğuşturucuya giriş basıncı	5,3	kPa	46
İkinci çevrimde besi suyunun yoğuşturucudan çıkış basıncı	5,3	kPa	59
İkinci çevrimde soğutma suyunun yoğuşturucuya giriş sıcaklığı	20,02	°C	65
İkinci çevrimde soğutma suyunun yoğuşturucudan çıkış sıcaklığı	29,84	°C	66
Yoğuşturucuda soğutma suyu debisi	33 366	kg/s	–
Buhar üreticine besi suyu giriş sıcaklığı	187,10	°C	94

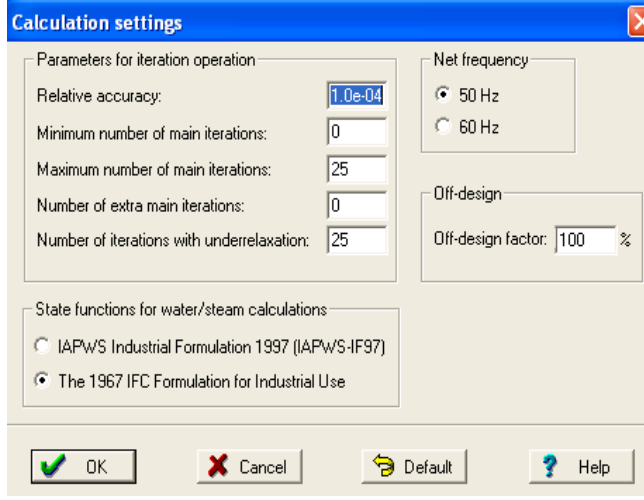
CANDU 6 NGS'nin CTM'si için seçilen çevre koşulları 20°C sıcaklık ve 1 bar basınçtır. Sıcaklığın 20°C seçilmesinin nedeni yoğuşturucuya giren soğutma suyu sıcaklığının 20°C olmasıdır. 1 bar basınç ise ortalama atmosferik basınç olarak öngörülmüştür. Seçilen bu çevre koşulları CTM'ye “General data” menüsünün “Environment definition” alt menüsünden Şekil 6.1'de gösterilen arayüz vasıtasıyla girdilenmiştir.



**Şekil 6.1 :** CTM'de seçilen çevre modelinin CTP arayüzü.

CTM'de modelin koşulları öncesinde “General data” menüsünün “Calculation settings” alt menüsünden hesaplama ayarları yapılmıştır. Bunun için “The 1967 IFC Formulation for Industrial Use” seçeneğinin seçilmesi haricinde diğer ayarlar için

varsayılan ayarlar kullanılmıştır. CTM’de hesaplama ayarları arayüzü Şekil 6.2’de gösterilmiştir.



Şekil 6.2 : CTM’de hesaplama ayarları.

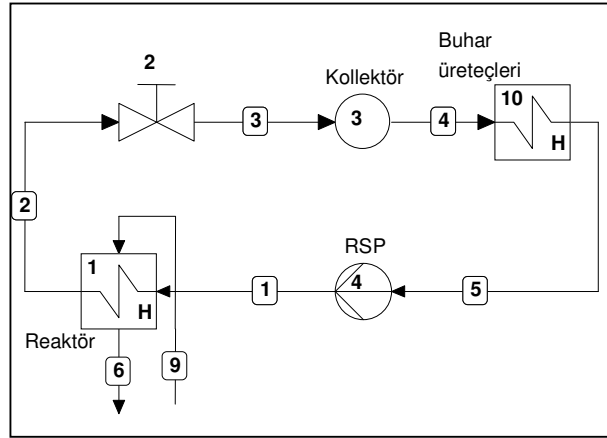
## 6.1 Birincil Isı Transport Sisteminin Modellenmesi

BITS’nin CTP’de modellenmesinde, reaktör, reaktör çıkış kollektörü, buhar üreteçleri, RSP ve yavaşlatıcı çevrimi göz önüne alınmıştır. CTP içerisinde ağır suyun termodinamik özelliklerinin bulunmaması sebebiyle, BITS modellenmesinde hafif su kullanılmıştır. Böylece BITS modelinde soğutucu akışkan ve yavaşlatıcı debileri ile termodinamik özellikler ağır suya göre belirlenmiş debiler ve termodinamik özelliklerden bir miktar farklı olmuştur. Ancak BITS’de, reaktör fisyon gücü, buhar üreteçlerine aktarılan ısı, yavaşlatıcı çevrimine aktarılan ısı ve pompa güçleri korunmuştur. Bunun için, reaktöre dış bir kaynaktan reaktörün gerçekte ürettiği güç kadar ısı girişi olması şeklinde modelleme yapılmıştır. Ayrıca, buhar üreteçlerine aktarılan ısının ve reaktör soğutma pompası gücünün işletme koşullarında olduğu gibi olabilmesi için, bu çevrimlerde dolaştırılan hafif su miktarı vanalar vasıtasıyla sabitlenmiştir.

### 6.1.1 Reaktör, reaktör soğutma pompası ve kollektörlerin modellenmesi

CTM’de reaktör ısı değiştirici olarak modellenmiştir. Reaktör, RSP ve kollektörün Cycle-Tempo modeli Şekil 6.3’de gösterilmiştir. Bu modelde 1 numaralı boru reaktöre soğutucu akışkan girişini, 2 numaralı boru soğutucu akışkan çıkışını göstermektedir. Soğutucu akışkanın reaktöre giriş basıncı 11,08 MPa ve çıkış basıncı

9,99 MPa, giriş sıcaklığı 266,1°C çıkış sıcaklığında 309,31°C'dir. Ayrıca 6 numaralı boru yavaşlatıcı çıkışını, 9 numaralı boru da yavaşlatıcı girişini göstermektedir. Reaktörün Cycle-Tempo modelinde soğutucu akışkana ve yavaşlatıcıya aktarılan toplam ısı, sanki dış bir kaynaktan sürekli olarak sağlanıyormuş gibi modellenmiştir. Reaktör CTM'de ısı değiştirici olarak modellenmesi CTP'de, soğutucunun yavaşlatıcı ile ısı değiştirmesi şeklinde algılanmıştır. Ancak, hesaplama açısından bu durumun bir sakınca yaratmadığı görülmüştür. Bu sistemin CTM'de vana, debinin sabitlenmesi amacıyla konulmuştur ve vanada herhangi bir basınç düşümü girdilenmemiştir. CANDU 6 NGS'de reaktör tankındaki yakıt kanallarından çıkan soğutucu akışkanın toplandığı kollektör ünitesi CTP'deki kuyu ekipmanı kullanılarak modellenmiştir; çünkü kollektörde soğutucu akışkanın basıncı ve sıcaklığı azalmaktadır ve ısı kaybı olmaktadır. Ancak buhar üreteçlerinden geri dönen soğutucu akışkanın toplandığı giriş kollektörü ünitesi CTP'de modellenmemiştir. Bunun nedeni, gerçek sisteme ait termodinamik özelliklerden, bu kollektörde herhangi bir basınç veya sıcaklık azalmasının görülememesidir. CANDU 6 NGS'de 4 adet buhar üretici için herbirinin yaklaşık gücü 6,6 MW olan toplam 4 adet RSP bulunmaktadır. 4 adet RSP CTM'de 1 adet pompa ekipmanı olarak modellenmiştir.



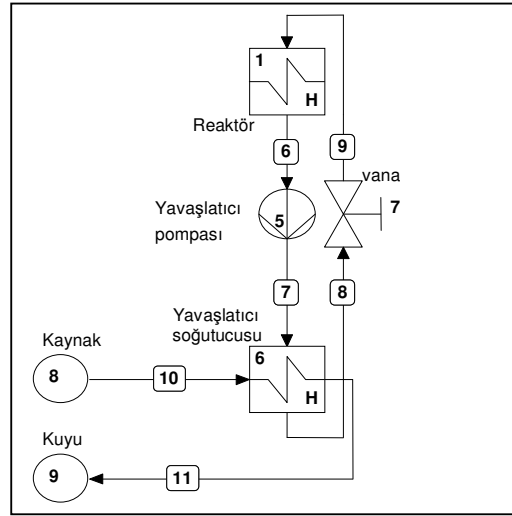
Şekil 6.3 : CTM'de reaktör, RSP ve kollektörün modellenmesi.

### 6.1.2 Yavaşlatıcı çevriminin modellenmesi

Yavaşlatıcı sistemi, reaktör kalbinde fisyon sonucunda ısınan yavaşlatıcının, soğutulduğu, reaktivite kontrolü için içine sıvı zehir ilavesinin yapıldığı, saflaştırıldığı ve reaktör işletmesi ile ilgili diğer bazı işlemlerin yapıldığı bir sistemdir. CANDU 6 NGS CTP'de modellenirken bu sistemin ana bileşeni olan yavaşlatıcının soğutulduğu ve tekrar reaktör kalbine basıldığı ana sistem göz önüne

alınmıştır. Bu modellemede ana bileşenler, soğutma için ısı değiştirici, ve basınçlandırma için de pompa olmuştur. Bu sistemin ısı transfer kapasitesi 100 MW'dır. Yavaşlatıcının reaktör tankı çıkış sıcaklığı 75°C, reaktör tankı geri dönüş sıcaklığı 52°C'dir. Yavaşlatıcı soğutucusunun soğutma suyu giriş sıcaklığı 35°C, çıkış sıcaklığı da 52°C'dir. Yavaşlatıcının reaktör tankı içinde basıncını ayarlayan, yavaşlatıcı kafa tankı ve diğer sistemler göz önüne alınmamıştır. Diğer sistemlerin göz önüne alınmamasının nedeni, bu sistemlerin düşük debilere ve kapasitelere sahip olmaları nedeniyle ekserji kayıplarının araştırılmasına önemli bir katkılarının olmamasındandır. Sistemin detaylı akış şeması Şekil 3.6'da gösterilmiştir.

CANDU NGS'de %50 kapasite ile çalışan 2 adet olan ısı değiştiriciler, CTM'de %100 kapasite ile çalışan 1 adet ısı değiştirici olarak modellenmiştir. Ayrıca yavaşlatıcı pompası da %100 kapasiteye sahip 1 adet pompa olarak modellenmiştir. Yavaşlatıcı çevriminde CTP'de ağır suyun termodinamik özelliklerinin bulunmaması sebebiyle hafif su kullanılmıştır. Çevrimdeki yavaşlatıcı debisi vana vasıtasıyla sabitlenerek ve gerçek sistemdeki sıcaklıklar korunarak, çevrimde aktarılan ısı miktarı da gerçek sistemdeki gibi olmuştur. Çevrimin Cycle-Tempo modeli Şekil 6.4'de gösterilmiştir.



Şekil 6.4 : CTM'de yavaşlatıcı çevriminin modellenmesi.

### **6.1.3 Buhar üreteçlerinin modellenmesi**

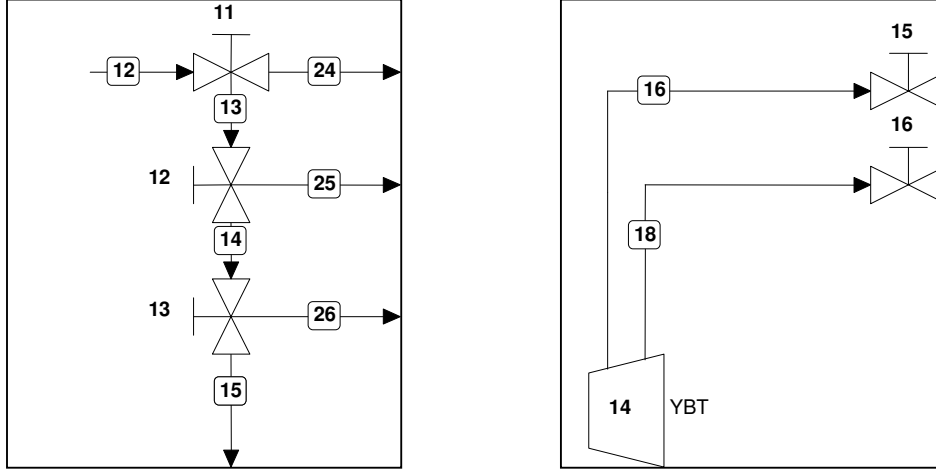
BITS'den İÇ'e ısı aktarımı buhar üreteçlerinde gerçekleşir. Gerçek sistemde 4 adet olan buhar üreteçleri kolaylık olması açısından debileri ve termodinamik özellikleri korunarak bir adet olarak modellenmiştir. Buhar üreteçleri için modelde kullanılan CTP ekipmanı ısı değiştiricidir. Soğutucu akışkanın buhar üretecine giriş sıcaklığı 309°C ve çıkış sıcaklığı 265,4°C'dir. Ayrıca soğutucu akışkan tarafında yaklaşık 0,5 MPa basınç kaybı olmaktadır. Buhar üretecine gelen besi suyu, ön ısıtma sisteminden gelmektedir ve sıcaklığı 187,1°C'dir. Ayrıca ara kızdırıcıdan da yaklaşık 257°C'de besi suyu girişi olmaktadır.

## **6.2 İkinci Çevrimin Modellenmesi**

CANDU 6 NGS'nin İkinci Çevrimi, Güç Üretimi Bölümü, Yoğuşturucu Bölümü ve Ön Isıtma Bölümleri'nden oluşur. Bu bölümler CTP'de aşağıda açıklandığı şekilde modellenmiştir.

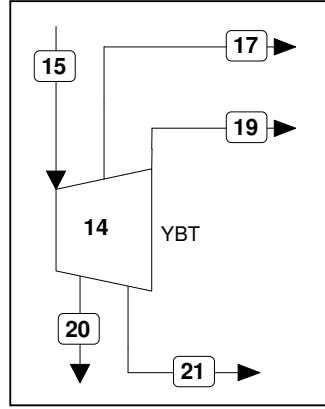
### **6.2.1 Güç üretimi bölümünün modellenmesi**

Isı aktarımı neticesinde buhar üreteçlerinde 4,537 MPa basıncında, 257,9°C sıcaklıkta ve %99,68 kuruluk derecesine sahip su-buhar karışımı üretilir. Bu karışımın bir kısmı 2 numaralı ara kızdırıcıya, büyük bir kısmı da YBT'ye iletilir. Bu buharın çok az bir kısmı da tıkaç buharı olarak YBT'de kullanılır. Ayrıca NGS İÇ akış şemasında ana buhar hattı YBT'ye girmeden önce gösterilen çok düşük debili buhar hatlarının, CTM'de vanalar vasıtasıyla debileri sabitlenmiş ve ana buhar hattı YBT'ye girmeden önce ayrılmışlardır. Tıkaç buharı hatları ise YBT ana buhar hattında gösterilmiş ve YBT'den ara buhar çıkışı gibi gösterilmiştir. Bu hatların da debileri vanalar ile sabitlenmiştir. CTM'nin bu şekilde oluşturulması neticesinde NGS ile uyumluluk açısından bir farklılık gözlenmemiştir. Ayrıca 2 numaralı ara kızdırıcıya gönderilen ve yoğuşarak buhar üretecine dönen taze buhar hattının debisi de vana ekipmanı ile sabitlenmiştir. Taze buhardan alınan bu hatlar ve türbinden tıkaç buharı hatlarının çıkışları Şekil 6.5'de gösterilmektedir.



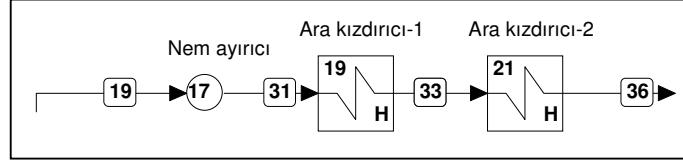
**Şekil 6.5 :** CTM'de taze buhardan alınan hatlar ve türbinden tıkaç buharı çıkışları.

CTM'de 17, 20 ve 21 numaralı borular YBT'den ara buhar alınan boruları göstermektedir. Bunlardan 17 numaralı boru 1 numaralı ara kızdırıcıya, 20 numaralı boru 6 numaralı ön ısıtıcıya ve 21 numaralı boru da gazsızlaştırma ünitesine gider. YBT'den çıkan ana hat 19 numaralı boru ile nem ayırıcı ekipmanına gider. YBT'ye buhar giriş ve çıkışları ile ara buhar çıkışları Şekil 6.6'da gösterilmiştir.



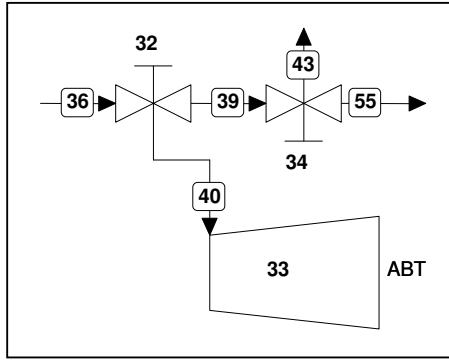
**Şekil 6.6 :** CTM'de YBT'ye buhar giriş ve çıkışları ile ara buhar çıkışları.

Nem ayırıcı ünitesi CTP'de nokta ekipmanı ile modellenmiştir. Nem ayırıcı ekipmanı YBT'den çıkan buharın kuruluk derecesini %87'den %99,75'e çıkarır. Nem ayırıcıdan ayrılan su, pompa ile 4 ve 5 numaralı ön ısıtıcılar arasından besi suyuna basılır. Yüksek oranda nemi alınan buhar, 1 ve 2 numaralı ara kızdırıcılarda sırasıyla YBT'den gelen ara buhar ve buhar üreticinden gelen taze buhar ile kademeli olarak kızdırılır. 1 numaralı ara kızdırıcı çıkışında sıcaklık 195,9°C, 2 numaralı ara kızdırıcı çıkışında sıcaklık 242,9°C olur. Nem ayırıcı ve ara kızdırıcı grubunun CTM'si Şekil 6.7'de gösterilmiştir.



**Şekil 6.7 :** CTM’de nem ayırıcı ve ara kızdırıcı modelleri.

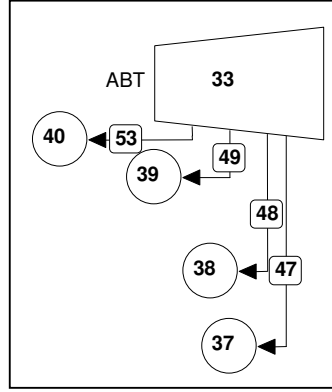
2 numaralı ara kızdırıcıdan alınan kızgın buhar, Alçak Basınç Türbinine (ABT)’ne iletilir. Ancak bu buharın küçük bir kısmı YBT’den çıkan tıkaç buharları ile birleştirilerek tıkaç buharı yoğunlaştırıcısına, bir kısımda 3 numaralı ön ısıtıcıya gönderilir. Bu buhar hatlarının debileri vanalar ile sabitlenmiştir. ABT’ye buhar girişi, tıkaç buharı ve ön ısıtıcıya gönderilen buhar boruları Şekil 6.8’de gösterilmiştir.



**Şekil 6.8 :** CTM’de ABT’ye buhar girişi, tıkaç buharı ve ön ısıtıcıya gönderilen buhar boruları modelleri.

NGS’de 3 adet ABT bulunmaktadır fakat bunlar CTM’de üçünü temsil edecek şekilde 1 adet türbin olarak modellenmiştir. ABT’den değişik basınç ve sıcaklıklarda toplam dört adet ara buhar çekilir ve sırasıyla 1, 2, 3, 4 numaralı ön ısıtıcılarında besi suyunun ısıtılmasında kullanılır. Ara buhar çıkışlarının ön ısıtıcılara iletilmesinde oluşan basınç ve sıcaklık kayıpları kuyu ekipmanları ile modellenmiştir. ABT’den ana buhar çıkışı yoğunlaştırucuya gönderilir. Çekilen ara buharlar Şekil 6.9’da gösterilmiştir.



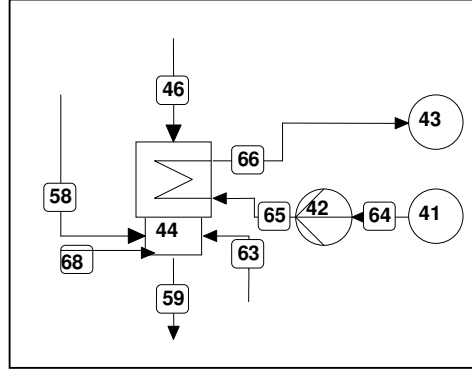


**Şekil 6.9 :** CTM'de ABT'den ara buhar çıkışları.

Güç üretimi bölümü için yukarıda anlatıldığı şekilde oluşturulan CTM'de YBT ve ABT şaft ile birbirine ve ABT'ye de jeneratör ekipmanı bağlanarak mekanik enerji elektrik enerjisine dönüştürülmüştür. Jeneratör için CTM'de %98 verim değeri alınmıştır.

### 6.2.2 Yoğuşturucu bölümünün modellenmesi

ABT'nin ana buhar çıkışı, yoğuşturucu ünitesinde vakum altında yoğuşturularak ısıtılacağı besi suyu ısıtma sistemine yoğuşmuş su pompaları vasıtasıyla basılır. Yoğuşturucunun çalışma basıncı 5,3 kPa'dır. Ayrıca yoğuşturucuya tıkaç buharı yoğuşturucusunun yoğuştuğu 63 numaralı boru ile, sızıntı suları soğutucudan gelen hat 68 numaralı boru ile ve tıkaç buharlarının bir kısmı da 58 numaralı boru ile girer. Yoğuşturucu soğutma suyu, 20°C sıcaklık ve 1 bar basınçta olan çevre koşullarında CTM'de kaynak olarak modellenmiş ekipmandan girer. Kaynak ekipmanından sonra yerleştirilen pompa ekipmanı soğutma suyunun sıcaklığını 20,02°C'ye çıkarmaktadır. Soğutma suyundaki sıcaklık artışı 9,82°C olarak girdilenmiştir. Soğutma suyu debisi 33366 kg/s olarak bulunmuştur. Yoğuşturucu bölümünün CTM'i Şekil 6.10'da gösterilmiştir.



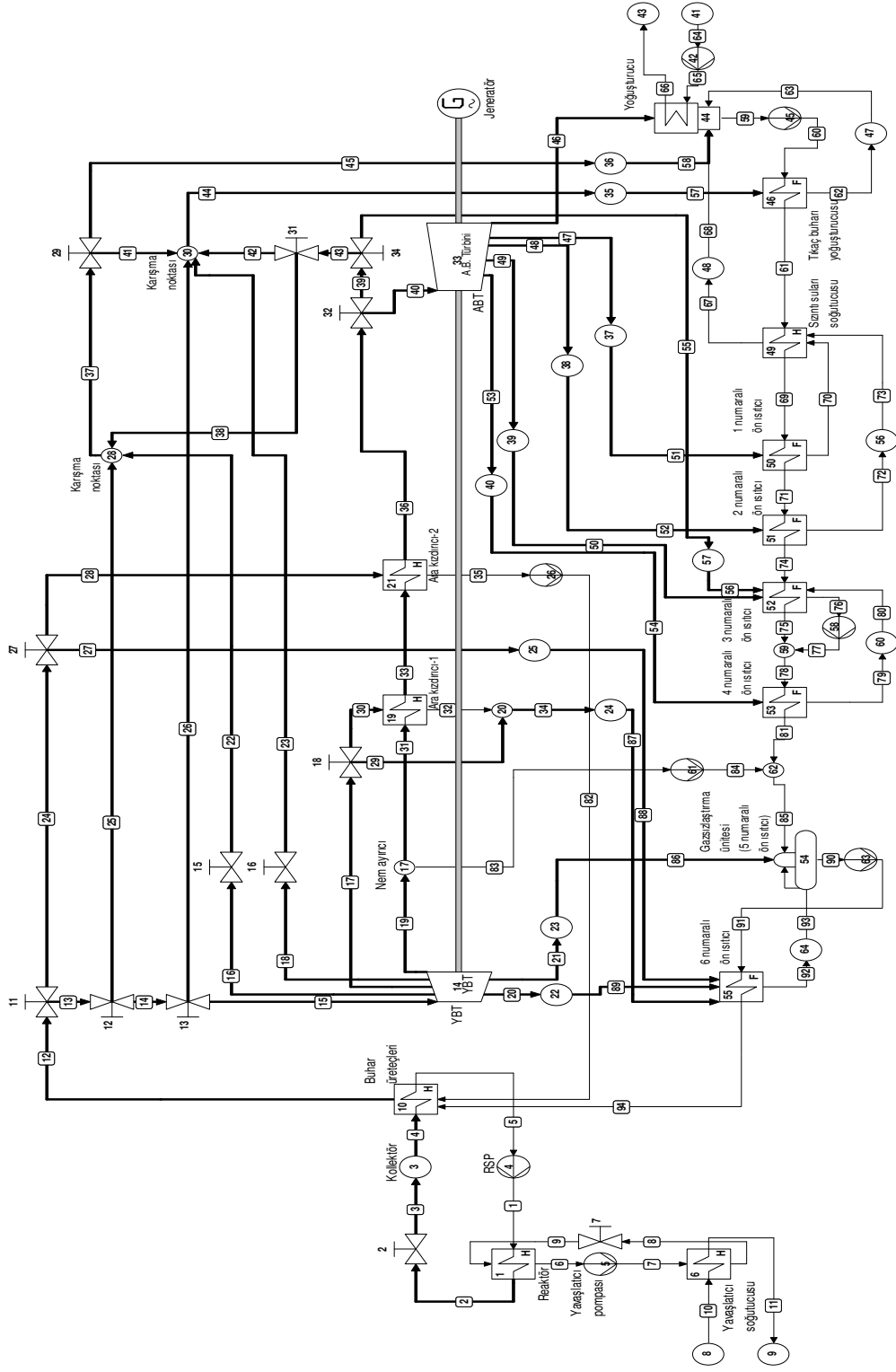
Şekil 6.10 : CTM’de yoğuşturucu bölümünün modeli.

### 6.2.3 Ön ısıtma bölümünün modellenmesi

Ön ısıtma sisteminin ilk iki ünitesi tıkaç buharı yoğuşturucusu ve 1 ve 2 numaralı ön ısıtıcıları sızıntı suları soğutucusudur. Bu üniteler sırasıyla 96,4 kPa ve 26,2 kPa basınçlarda çalışmaktadırlar. Bu ünitelerde besi suyunu ısıtarak soğuyan su yoğuşturucuya geri iletilir. 1 ve 2 numaralı ön ısıtıcılar sırasıyla 26,2 kPa ve 69,1 kPa basınçlarda çalışmaktadırlar. 3 ve 4 numaralı ön ısıtıcılar sırasıyla 142 kPa ve 277 kPa basınçlarda çalışmaktadırlar. 5 ve 6 numaralı ön ısıtıcıları ise sırasıyla 5,37 MPa ve 12,55 MPa basınçlarda çalışmaktadırlar. 5 numaralı ön ısıtıcısındaki besi suyu, besi suyu pompaları vasıtasıyla 6 numaralı ön ısıtıcıya basılır ve YBT’den gelen ara buhar ile daha fazla ısıtılarak buhar üreticine iletilir.

CANDU 6 NGS CTP’de bölümler yukarıda anlatıldığı şekilde modellendikten sonra CTM Şekil 6.12’de gösterildiği şekilde olmuştur. Modellemeye temel teşkil eden CANDU 6 NGS’nin BITS, İÇ ve Yavaşlatıcı Çevrimi’ni gösteren akış şeması Şekil 6.11’de sunulmaktadır. Şekil 6.11’deki akış şeması [4] numaralı kaynaktan yararlanılarak çizilmiştir.





Şekil 6.12 : CANDU 6 NGS' nin CTP modeli.

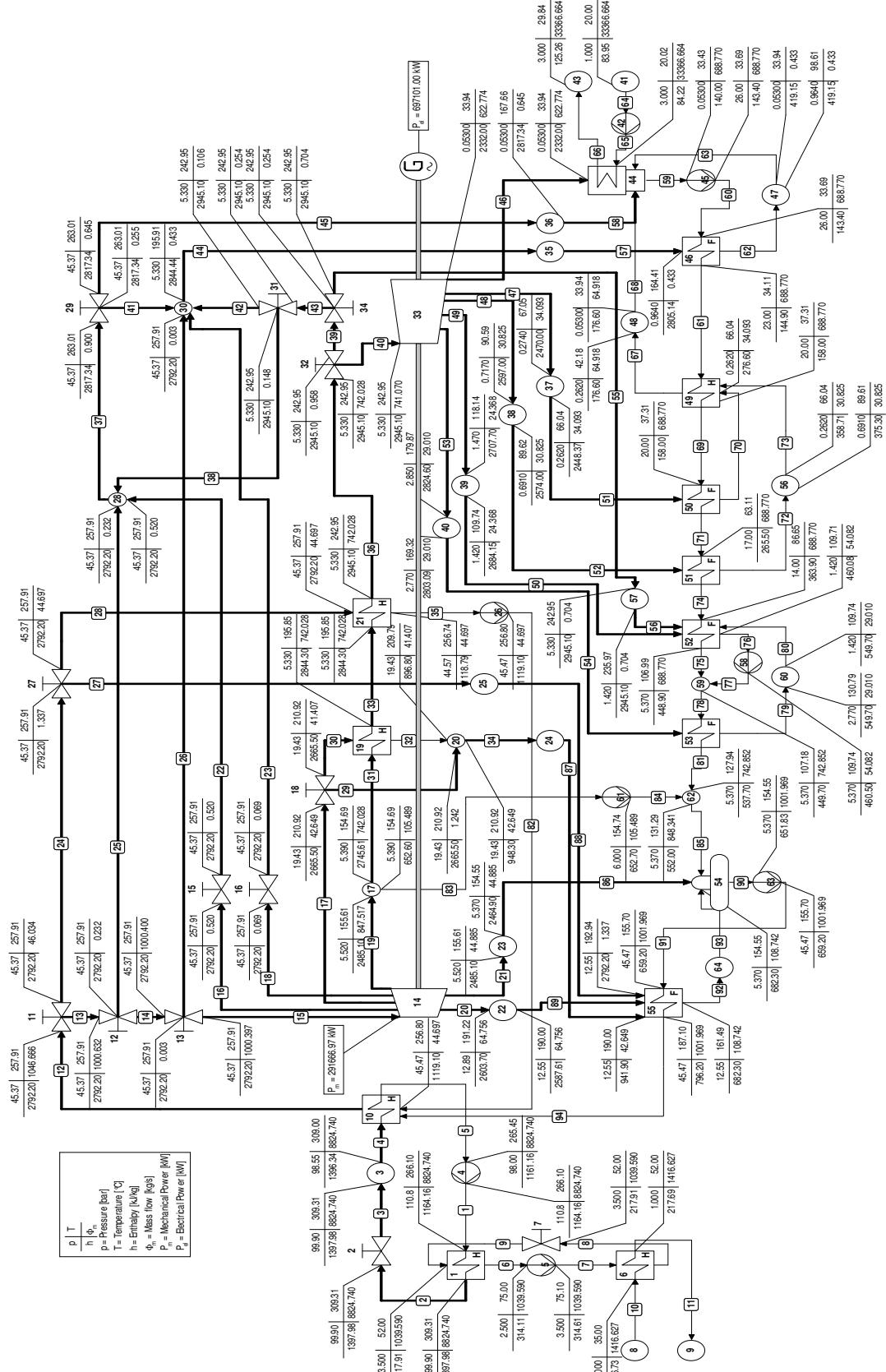


## 7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

6. Bölümde anlatıldığı gibi modellenen CANDU NGS'nin CTP modeli çalıştırıldıktan sonra, Bölüm 5.3.1'de açıklanan ekipmanlarda ve boru giriş ve çıkışlarındaki termodinamik özellikler CTM üzerinde Şekil 7.1'de görüldüğü gibi elde edilmiştir. Şekil 7.1'de gösterilen termodinamik özellikler Çizelge 7.1'de gösterildiği gibi okunabilir.

**Çizelge 7.1 :** CTM'de termodinamik özelliklerin okunması için anahtar.

p	T
h	$\Phi_m$
p = Basınç [bar]	
T = Sıcaklık [°C]	
h = Entalpi [kJ/kg]	
$\Phi_m$ = Kütleli debi [kg/s]	
$P_m$ = Mekanik güç [kW]	
$P_{el}$ = Elektrik gücü [kW]	



Şekil 7.1 : CANDU 6 NGS'de borulardaki termodinamik özelliklerini gösteren CTP modeli.

CANDU 6 NGS'nin CTP'de yapılan analizinden elde edilen veriler ve girdilene değerler, çizelgeler halinde tezin EKLER bölümünde Çizelge A1-A7'de sunulmuştur.

Çizelge A.1'de CANDU 6 NGS'nin CTP modelindeki her bir ekipman, boru ve çevre için basınç, sıcaklık, debi ve benzeri termodinamik özellikler ile bazı ortamları oluşturan maddelerin niteliklerinin nasıl girdilendiği özetle listelenmiştir. Bu liste, CTP modelindeki "View" menüsünden girilen "Input summary" çizelgesinden faydalanılarak hazırlanmıştır.

Çizelge A.2'de CANDU 6 NGS'nin CTP modelinde tüm borulardaki akışkanların kütleli debileri, termodinamik özellikleri ile birim kütle başına ekserji değerleri listelenmektedir. Bu çizelgede her bir boru numarası iki satır halinde gösterilmekte ve bunlardan ilk satır boru girişini, ikinci satır ise boru çıkışını ifade etmektedir. Bu liste, CTP modelindeki "View" menüsünden girilen "Data for all pipes" çizelgesinden faydalanılarak hazırlanmıştır.

Çizelge A.3'de CANDU 6 NGS'nin CTP modelinde tüm borulardaki toplam enerji ve ekserji akış hızları listelenmektedir. Bu çizelgede her bir boru numarası iki satır halinde gösterilmekte ve bunlardan ilk satır boru girişini, ikinci satır ise boru çıkışını ifade etmektedir. Bu liste, CTP modelindeki "View" menüsünden girilen "Energy and exergy flows" çizelgesinden faydalanılarak hazırlanmıştır.

Çizelge A.4'de CANDU 6 NGS'nin CTP modelindeki her bir ekipman için ekipman no, ekipman adı ve ekipman tipi verilerek, Toplam Ekserji Akış Değeri sütununda, ekipman kontrol hacminden geçen net toplam ekserji akış değeri, Güç/Isı sütununda, ekipmanda güç veya ısıya dönüştürülen ekserji akış değeri, Kayıplar sütununda ise, Toplam ve Güç/Isı sütunları arasındaki fark gösterilmektedir. Bu liste, CTP modelindeki "View" menüsünden girilen "Exergy values in the system" çizelgesinden faydalanılarak hazırlanmıştır.

Çizelge A.5'de CANDU 6 NGS'nin CTP modeliindeki ekipmanlarda enerji kayıpları ve dolayısıyla enerji denklemleri ile birlikte listelenmektedir. Bu listede, ekipman no, ekipman adı ve ekipman tipi verilerek, ekipmanlardaki enerji kayıplarının entalpiye göre hesaplanmış değerleri sütunlar halinde verilmektedir. Çizelgedeki eksi değerler enerji kazancını ifade etmektedir. Bu



liste, CTP modelindeki “View” menüsünden girilen “Energy balance” çizelgesinden faydalanılarak hazırlanmıştır.

Çizelge A.6’da CANDU NGS’nin CTP modelindeki tüm sistem için brüt güç üretimi, güç tüketimi ve net güç üretimi değerleri ilgili ekipmanlar için listelenmektedir. Bu liste, CTP modelindeki “View” menüsünden girilen “System efficiencies” çizelgesinden faydalanılarak hazırlanmıştır.

Çizelge A.7’de CANDU NGS’nin CTP modelindeki ısı değiştiren ekipmanlar için ekipman no, ekipman adı, ekipman tipi, soğuyan taraftaki sıcaklık farkı, ısınan taraftaki sıcaklık farkı ve ekipmanda transfer edilen ısı miktarları gösterilmektedir. Bu çizelge, CTP modelindeki “View” menüsünden girilen “Heat exchanging equipment” çizelgesinden faydalanılarak hazırlanmıştır.

EKLER Bölümünde yer alan çizelgelerdeki CANDU 6 NGS’nin CTP’de yapılan analizinden elde edilen veriler ve girdilene değerler kullanılarak oluşturulan aşağıdaki Çizelge 7.2, 7.3 ve Şekil 7.2-7.4’de, bu tez çalışmasında elde edilen analiz sonuçları özetlenerek sunulmaktadır.

Çizelge 7.2’de, CANDU 6 NGS için Termodinamiğin İkinci Yasası analizi sonuçları; Buhar Üretimi Bölümü, Güç Üretimi Bölümü, Yoğuşturucu Bölümü ve Ön Isıtma Bölümü’nde toplam olarak ve bu bölümleri oluşturan her bir ekipman için ayrı ayrı gerçek güçler, tersinir güçler, tersinmez güçler ve tersinmez gücün reaktörden elde edilen tersinir güce oranı (tersinmezlik oranı) halinde sunulmaktadır. Çizelge 7.2’de NGS için yapılan İkinci Yasa analizi sonuçları bir bilanço şeklinde sunulmaktadır. NGS’deki toplam tersinmez güç  $1489,801 \text{ MW}_{th}$ , ikinci çevrimde net güç üretimi  $699,928 \text{ MW}_{th}$  bulunmuştur. Toplam tersinmez güç ve ikinci çevrimdeki net güç üretimi değerlerinin toplamından RSP gücünün çıkarılmasıyla ve  $0,159 \text{ MW}_{th}$  hesaplama hatasının ilavesiyle, reaktördeki tersinir güç olan  $2163,400 \text{ MW}_{th}$  değerine ulaşılmıştır. Böylece NGS için bilanço denkleştirilmiş olur. CANDU 6 NGS’de  $1489,801 \text{ MW}_{th}$  birim zamandaki toplam tersinmezliğin,  $1273,945 \text{ MW}_{th}$ ’lik kısmı Buhar Üretimi Bölümü’nde,  $134,744 \text{ MW}_{th}$ ’lik kısmı Güç Üretimi Bölümü’nde,  $62,187 \text{ MW}_{th}$ ’lik kısmı Yoğuşturucu Bölümü’nde ve  $18,925 \text{ MW}_{th}$ ’lik kısmı da Ön Isıtma Bölümü’nde meydana gelmektedir. Aynı şekilde bu bölümlerde, tersinmez gücün reaktörden elde edilen tersinir güce oranı sırasıyla, %58,886, %6,228, %2,874 ve 0,874 olarak bulunmuştur.

**Çizelge 7.2 : CANDU 6 NGS için Termodinamiğin İkinci Yasası analizi sonuçları.**

SİSTEM	Gerçek güç (MW <sub>th</sub> )	Tersinir güç (MW <sub>th</sub> )	Tersinmez güç (MW <sub>th</sub> )	Tersinmez gücün reaktörden elde edilen tersinir güce oranı (%)
<b>Buhar Üretimi Bölümü (Toplam)</b>			<b>1273,945</b>	<b>58,886</b>
* Reaktör	991,757	<b>2163,400</b>	1171,643	54,157
* Buhar üreteçleri	0,000	74,367	74,367	3,438
* Birincil ısı transport sistemi pomparları	-26,488	-19,938	6,550	0,303
* Kollektörler			8,067	0,373
* Yavaşlatıcı soğutucusu	0,000	5,664	5,664	0,262
* Yavaşlatıcı soğutucusu soğutma suyunda kaybedilen ekserji			7,306	0,338
* Yavaşlatıcı pompası	-0,520	-0,172	0,348	0,016
<b>Güç Üretimi Bölümü (Toplam)</b>			<b>134,744</b>	<b>6,228</b>
* YB Türbini	291,667	335,703	44,036	2,036
* AB Türbinleri	418,032	495,595	77,563	3,585
* Nem ayırıcı	0,000	2,273	2,273	0,105
* Nem ayırıcı pompası	-0,011	-0,008	0,003	0,0001
* Ara kızdırıcı-1	0,000	4,790	4,790	0,221
* Ara kızdırıcı-2	0,000	3,281	3,281	0,151
* Ara kızdırıcı pompası	-0,014	-0,009	0,005	0,0002
* Karışma noktaları			0,086	0,004
* Borular ve vanalar			3,385	0,156
<b>Yoğuşturucu Bölümü (Toplam)</b>			<b>62,187</b>	<b>2,874</b>
* Yoğuşturucu	0,000	39,669	39,669	1,833
* Yoğuşturucu soğutma suyunda kaybedilen ekserji			22,518	1,350
<b>Ön Isıtma Bölümü (Toplam)</b>			<b>18,925</b>	<b>0,874</b>
* Tıkaç buharı yoğuşturucusu	0,000	0,373	0,373	0,017
* Sızıntı suları soğutucusu	0,000	0,758	0,758	0,035
* Ön ısıtıcı-1	0,000	3,356	3,356	0,155
* Ön ısıtıcı-2	0,000	2,517	2,517	0,116
* Ön ısıtıcı-3	0,000	2,082	2,082	0,096
* Ön ısıtıcı-4	0,000	1,699	1,699	0,078
* Ön ısıtıcı-5	0,000	1,633	1,633	0,075
* Ön ısıtıcı-6	0,000	3,384	3,384	0,156
* Yoğuşmuş su pomparları	-2,342	-1,820	0,522	0,024
* Besi suyu pomparları	-7,381	-5,341	2,040	0,094
* Karışma noktaları			0,262	0,012
* Ön ısıtıcı pompası	-0,0229	-0,0225	0,004	0,0001
* Borular-vanalar			0,295	0,013
<b>Sistemlerde birim zamandaki toplam tersinmezlik</b>			<b>1489,801</b>	<b>68,864</b>
<b>NGS'de net güç üretimi</b>			<b>699,928</b>	<b>32,353</b>
<b>Birinci ısı transport sistemi pompasının gücü</b>			<b>-26,488</b>	<b>-1,224</b>
<b>Hesaplama hatası</b>			<b>0,159</b>	<b>0,007</b>
<b>Toplam</b>			<b>2163,400</b>	<b>100,000</b>

Çizelge 7.3’de, CANDU 6 NGS için hesaplama sonuçları ile tesisin termodinamik ve ısı verim değerleri özetlenerek sunulmaktadır.

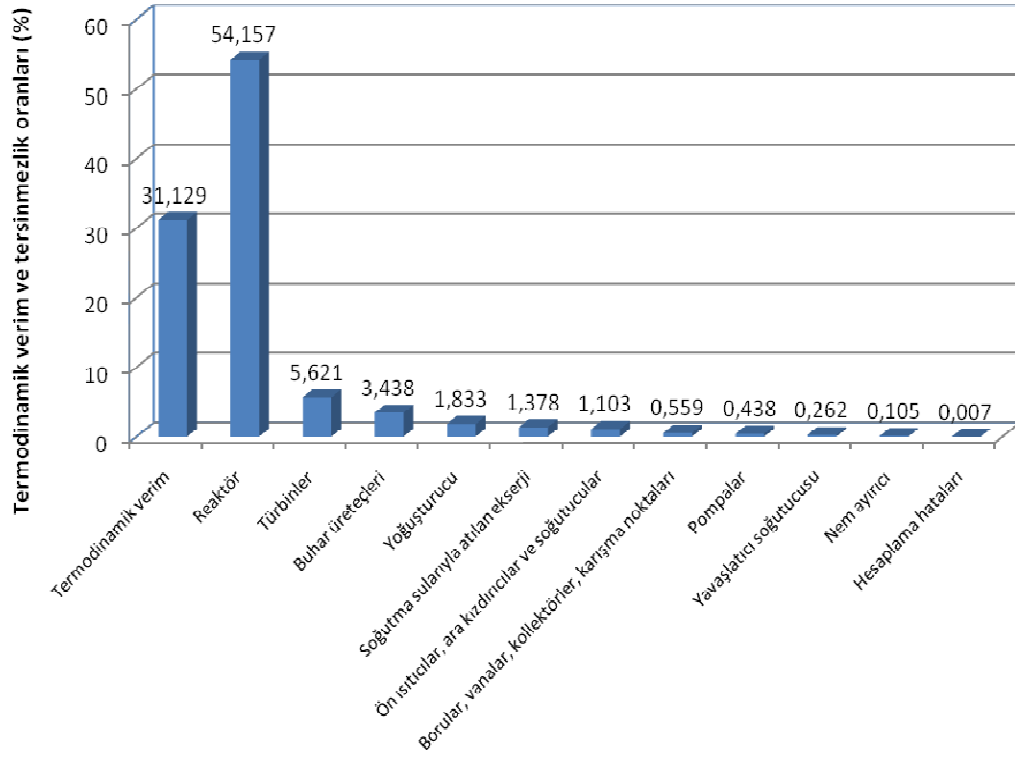
**Çizelge 7.3 :** CANDU 6 NGS için hesaplanan güç dağılımı ve verim sonuçları.

		Hesaplama sonuçları	[4] no.lu kaynaktan alınan sonuçlar	
Reaktör ısı gücü	$\dot{Q}_R$	2163,400	2163,400	MW <sub>th</sub>
Yavaşlatıcıya transfer edilen ısı gücü	$\dot{Q}_{yav}$	100,007	100,000	MW <sub>th</sub>
Türbin gücü	$\dot{W}_t$	709,699	—	MW <sub>th</sub>
İkinci çevrimde pompa güçleri	$\dot{W}_p$	-9,771	—	MW <sub>th</sub>
Birincil ısı transport sistemi pompaları gücü	$\dot{W}_{RSP}$	-26,488	—	MW <sub>th</sub>
Buhar üreteçlerinin ısı gücü	$\dot{Q}_{BÜ} = \dot{Q}_R - \dot{Q}_{yav} +  \dot{W}_{RSP}  - KAYIPLAR$	2075,378	—	MW <sub>th</sub>
Yoğuşturucudan atılan ısı gücü	$\dot{Q}_{yoğ}$	-1369,440	—	MW <sub>th</sub>
Besi suyuna giren net ısı gücü	$\dot{Q}_{BÜ} + \dot{Q}_{yoğ}$	705,938	—	MW <sub>th</sub>
İkinci çevrimde net güç üretimi	$\dot{W}_t + \dot{W}_p$	699,928	—	MW <sub>th</sub>
İkinci çevrimde yaklaşık ısı gücü kayıpları	$\dot{Q}_{BÜ} + \dot{Q}_{yoğ} - (\dot{W}_t + \dot{W}_p)$	6,010	—	MW <sub>th</sub>
Jeneratör’de brüt elektrik üretimi	—	—	697,000	MW <sub>e</sub>
NGS’de harcanan güç	—	—	≈58,000	MW <sub>e</sub>
NGS’den net elektrik üretimi	—	—	≈639,000	MW <sub>e</sub>
Birim zamandaki toplam tersinmezlik	$\sum \dot{I}$	1489,801	—	MW <sub>th</sub>
Birim zamandaki toplam tersinmezlik + İÇ’de net güç üretimi	$\sum (\dot{I} + \dot{W}_t + \dot{W}_p)$	2189,729	—	MW <sub>th</sub>
Toplam hata= Reaktör kalbinde ısı gücü üretimi-(Toplam tersinmezlik hızı+ İÇ’de net güç üretimi)	$\dot{Q}_R - (\sum \dot{I} + \dot{W}_t + \dot{W}_p + \dot{W}_{RSP})$	0,159	—	MW <sub>th</sub>
Toplam hata oranı	$\sum HATA / \dot{Q}_R$	0,007	—	%
Toplam tersinmezlik oranı	$\sum \dot{I} / \dot{Q}_R$	68,864	—	%
NGS’nin toplam termodinamik verimi	$(\dot{W}_t + \dot{W}_p + \dot{W}_{RSP}) / \dot{Q}_R$	31,129	—	%
İkinci çevrim için ısı verim	$(\dot{W}_t + \dot{W}_p) / \dot{Q}_{BÜ}$	33,725	—	%

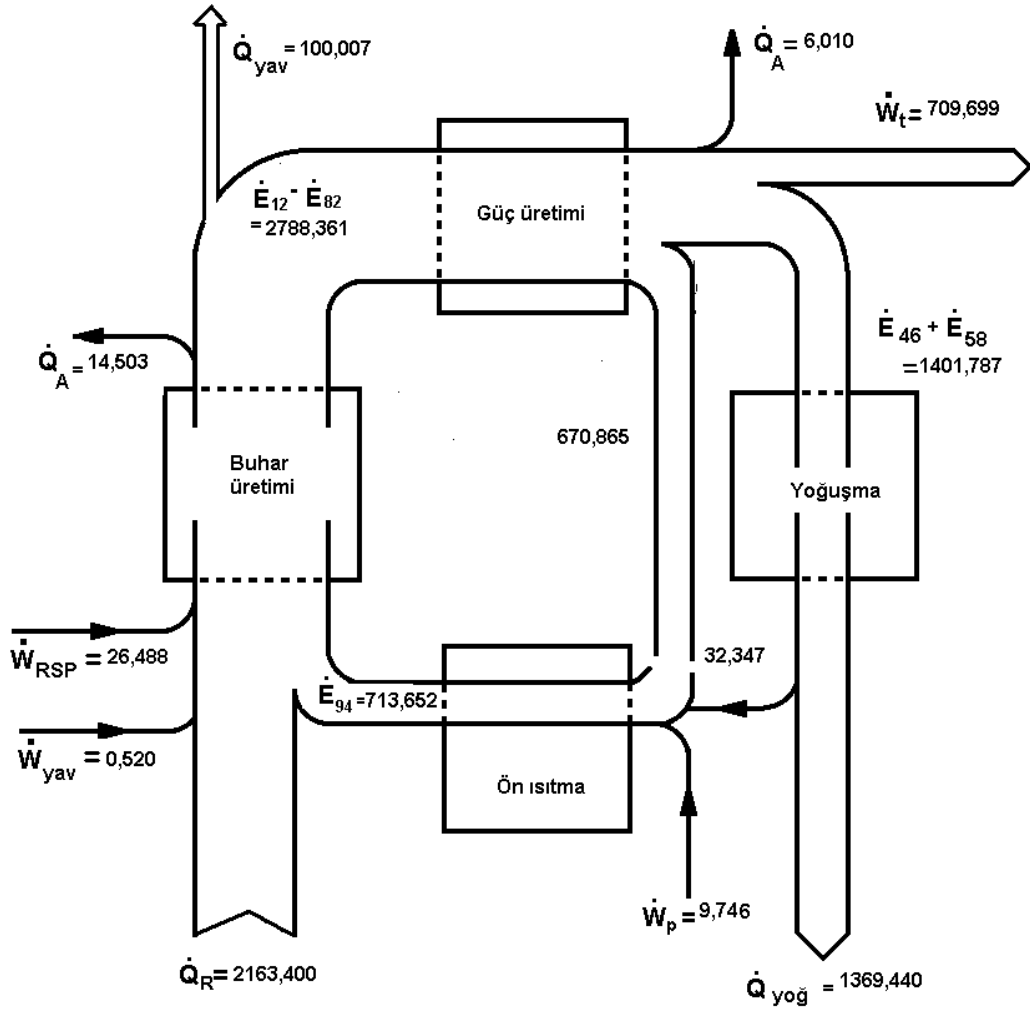
Çizelge 7.3’de görüldüğü gibi CANDU 6 NGS’nin toplam termodinamik verimi %31,129 bulunmuştur. Bu değer literatürde Pickering NGS için verilen % 29,835’lik değer üzerinde [6]. Termodinamik verim değeri, 1140 MW<sub>e</sub> gücüne sahip BWR tipi LaSalle County Nuclear Station için %34,400 verilmişken [9], PWR tipi 1568 MW<sub>e</sub> gücüne sahip Power Generation Group of Siemens’e ait nükleer güç santrali için %36,493 verilmiştir [8].

Şekil 7.2’de, CANDU 6 NGS için termodinamik verim ile birlikte farklı sistemlerdeki tersinmezlik oranı dağılımı çubuk grafik halinde sunulmaktadır. Bu grafikten NGS’deki toplam tersinmezliklerin %54,157’sinin reaktörden kaynaklandığı görülmektedir. Bu değer, Pickering NGS için %55,002 [6] iken, BWR tipi LaSalle County Nuclear Station için %52,900 [9], Power Generation Group of Siemens’e ait PWR için %50,541 verilmiştir [8]. CANDU 6 NGS, Pickering NGS ve Siemens PWR için reaktörden sonra en fazla tersinmezlik olan ekipmanlar, türbinler, buhar üreteçleri ve yoğuşturucular olarak sıralanırken, sadece BWR tipi LaSalle County Nuclear Station için bu sıralamanın, yoğuşturucu ve türbinler şeklinde olduğu görülmüştür. BWR’da buhar üretici olmaması sebebiyle bu durum normaldir, ayrıca yoğuşturucu ve türbin ünitelerinin tersinmezlik oranları da birbirine yakındır [9].

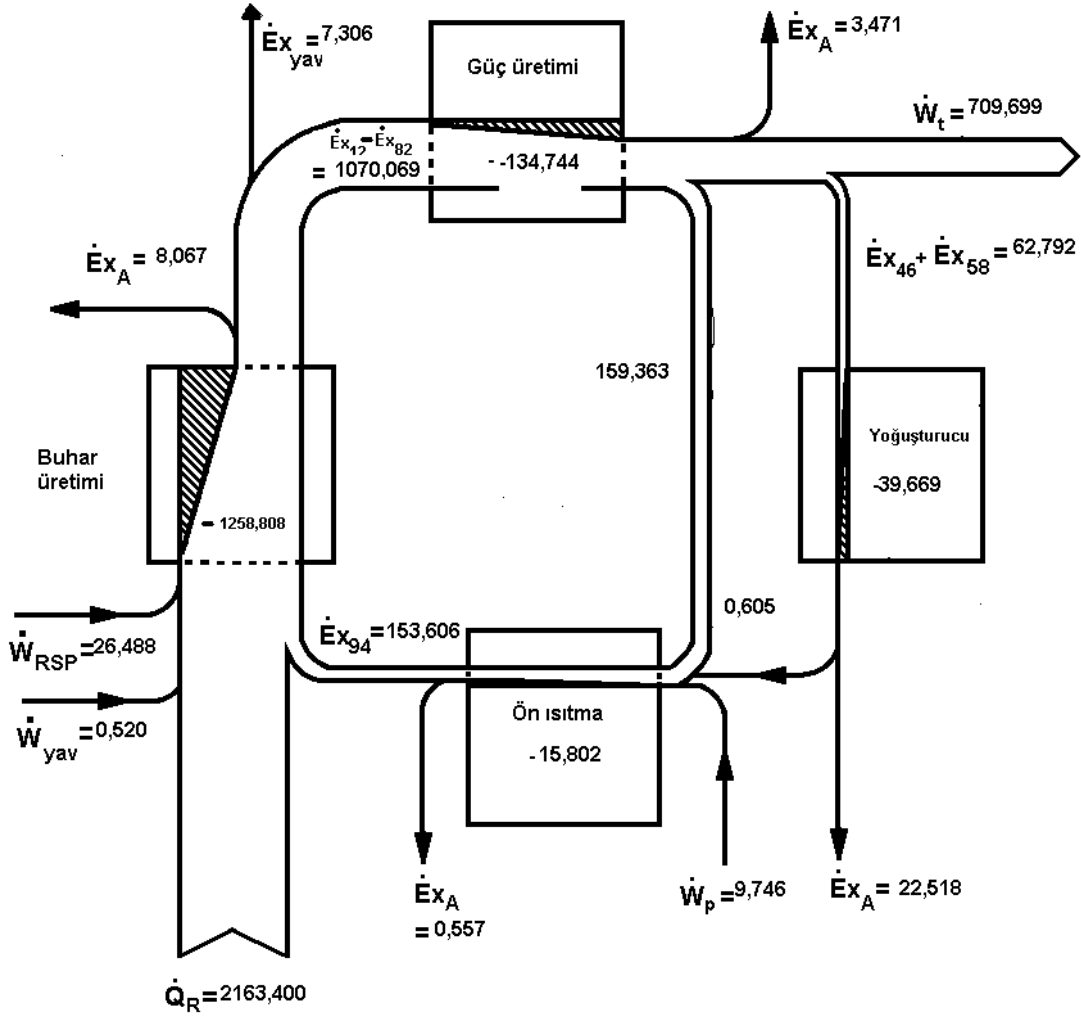
Şekil 7.3’de CANDU 6 NGS için basitleştirilmiş enerji balansı, Şekil 7.4’de ise CANDU 6 NGS için basitleştirilmiş ekserji balansı diyagramları (Sankey diyagramı) halinde sunulmaktadır. Şekil 7.3 ve Şekil 7.4’de, çizimin kalınlığı enerji veya ekserji akışının miktarını göstermektedir. Ayrıca Şekil 7.4’de ekserji yıkımları negatif sayılarla ifade edilmiş ve ilgili olduğu bölümün içinde miktarına göre taranmıştır.



**Şekil 7.2 :** CANDU 6 NGS için termodinamik verim ve tersinmezlik oranları dağılımı.



Şekil 7.3 : CANDU 6 NGS için basitleştirilmiş enerji balansı (MW<sub>th</sub>)

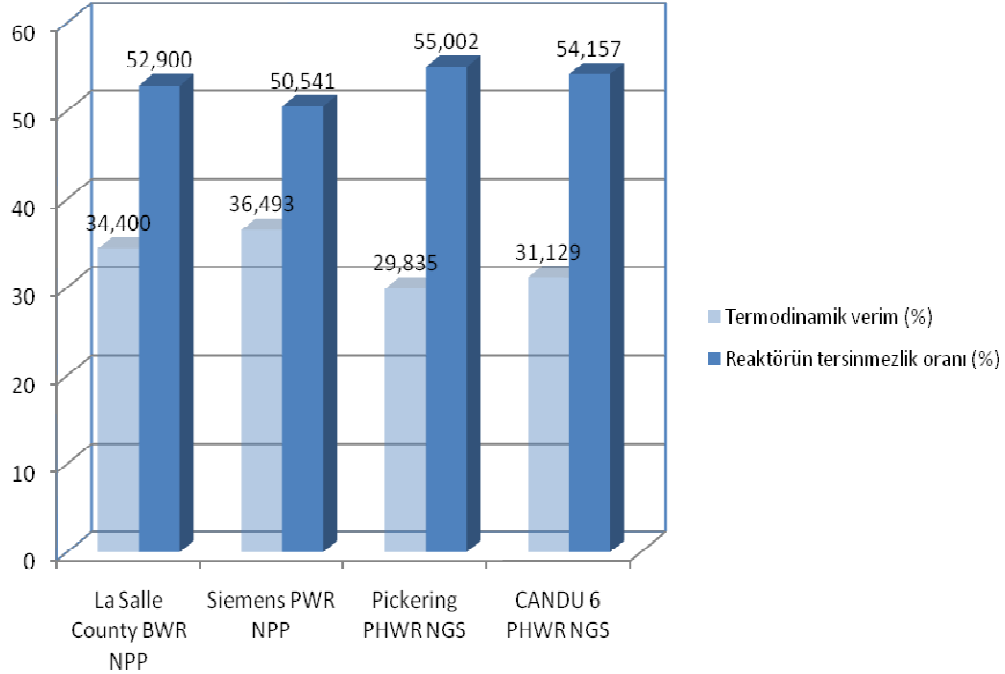


Şekil 7.4 : CANDU 6 NGS için basitleştirilmiş ekserji balansı ( $MW_{th}$ )

Elektrik üretmek amacıyla kurulmuş ısı gücü tesislerinin performanslarının araştırılmasında, enerji ve ekserji analizlerinin sistem performansı hakkında farklı bir bakış açısı sunması açısından birlikte uygulanmasının faydalı olduğu görülmüştür. Tasarım ve işletme aşamasında enerji analizi ile birlikte ekserji analizinin de kullanılmasının sağlayacağı yararlar açıktır.

Analiz sonucunda tesis performansının geliştirilmesinde en fazla potansiyele sahip ekipmanın nükleer reaktör olduğu, yoğuşturucuda atılan ısının miktar olarak fazla (enerji analizine göre), düşük sıcaklıklı olması nedeniyle enerji kalitesinin az (ekserji analizine göre) olduğu belirlenmiştir.

Yukarıdaki paragraflarda anlatılan sebeplerle nükleer santral tasarımında ve geliştirilmesinde ekserji analizinin mutlaka uygulanmasının gerekli olduğu sonucuna varılmıştır.



**Şekil 7.5 :** Kaynakça listesinde [6, 8, 9] numaralı yayınlardaki değişik tiplerdeki NGS'ler ile ekserji analizi yapılan CANDU 6 NGS'nin verimleri ve reaktörlerindeki tersinmezlik oranlarının karşılaştırılması.

Sonuç olarak, LaSalle County BWR NPP'nin, Siemens Power Generation Group PWR NPP'nin, Pickering PHWR NGS'nin ve CANDU 6 NGS'nin termodinamik verimleri ve sadece reaktörlerindeki tersinmezlik oranları karşılaştırmalı olarak Şekil 7.5'de sunulmuştur. Şekil 7.5'de, CANDU 6 NGS'nin termodinamik verim ve sadece reaktördeki tersinmezlik oranı açısından Pickering PHWR NGS'den daha iyi olduğu görülmektedir. Ancak her iki PHWR NGS'ninde termodinamik verim açısından BWR NPP ve PWR NPP'nin altında kaldığı görülmektedir. Ayrıca her iki PHWR NGS'nin reaktörlerinde ekserji yıkımının oransal olarak BWR NPP ve PWR NPP'ye göre daha fazla olduğu görülmektedir. Buradan çıkarılabilecek diğer bir sonuç da, bütün NGS tiplerinde reaktörün en verimsiz ünite olmasıdır. Bunun nedeni nükleer yakıt ile ilgili güvenlik sınırlamaları nedeniyle reaktörde yüksek sıcaklık ve basınçlara çıkılmıyor olmasıdır. NGS'lerin termodinamik verimlerinin artırılmasının bir yolu üretilen buharın fosil yakıt ile ısıtılarak kızgın buhar elde edilmesidir.



NGS'lerde fosil yakıt ile kızgın buhar elde edilmesiyle güç üretiminde, toplam tesis veriminde önemli artışlar sağlanabilir, elektrik üretim maliyeti azaltılabilir ve bu suretle NGS'ler de KS'ler kadar verimli hale getirilebilir [12].

## KAYNAKLAR

- [1] <<http://www.aecl.ca/Assets/Publications/C6-Technical-Summary.pdf?method=1>, alındığı tarih 18.12.2009.
- [2] **CANDU 6 Technical Description Part I**, 1983: Nuclear Steam Plant, Vol. 4a, AECL.
- [3] **CANDU 6 Technical Description Part I**, 1983: Nuclear Steam Plant, Vol. 4b, AECL.
- [4] **CANDU 6 Technical Description Part II**, 1983: Balance of Plant, Vol. 4c, AECL.
- [5] **CANDU 6 Technical Description Part II**, 1983: Balance of Plant, Vol. 4d, AECL,
- [6] **Rosen M.A., and Scott D.S.**, 1986: Energy and Exergy Analyses of a Nuclear Steam Power Plant, *7<sup>th</sup> Annual Conference 198, Canadian Nuclear Society*.
- [7] **Rosen M.A.**, 2001: Exergy and Exergy Based Comparison of Coal Fired and Nuclear Steam Power Plants, *Exergy, an International Journal*. 1(3), pp. 180-192.
- [8] **Durmayaz A., and Yavuz H.**, 2001: Exergy Analysis of a Pressurized-Water Reactor Nuclear Power Plant, *Applied Energy*, Vol:69 pp. 39-57.
- [9] **Dunbar, R.W., Moody, S.D., and Lior N.**, 1995: Exergy Analysis of an Operating Boiling Water Reactor Nuclear Power Station, *Energy Conversion and Management*. Vol.36, no:3, pp. 149-159.
- [10] **Durmayaz A.**, 2001: Elektrik Enerjisi Üretim Amaçlı Isıl Güç Tesislerinin Ekserji Analizi ve Önemi, *II. Çevre ve Enerji Kongresi, E/2001/289*.
- [11] **Cao J., Wang J., Yang X., and Yu S.**, 2005: Exergy Analysis of HTGR-GT, *18<sup>th</sup> Internatioanal Conference on Structural Mechanics in Reactor Technology, SMIRT 18-S05-07*.
- [12] **Lior N.**, 1997: Energy, Exergy and Thermo-economic Analysis of the Effects of Fossil-Fuel Superheating in Nuclear Power Plants, *Energy Conversion and Management*. Vol.38, no:15-17, pp. 1585-1593.
- [13] **Sayyaadi H., and Sabzaligol T.**, 2009: Various Approaches in Optimization of a Typical Pressurized Water Reactor Power Plant, *Applied Energy*, Vol: 86, pp. 1301-1310.
- [14] **Suresh M.V.J.J., Reddy K.S. and Kolar A.K.**, 2006: Termal güç tesislerinin ileri buhar parametrelerine dayanan enerji ve ekserji analizi” *First National Conference on Advances in Energy Research*.
- [15] <<http://www.aecl.ca/Reactors/>, alındığı tarih 18.12.2009.

- [16] <[http://wpcontent.answers.com/wikipedia/commons/thumb/4/4c/CANDU\\_at\\_Qinsha](http://wpcontent.answers.com/wikipedia/commons/thumb/4/4c/CANDU_at_Qinsha), alındığı tarih 18.12.2009.
- [17] <[http://wpcontent.answers.com/wikipedia/commons/thumb/5/5a/CANDU\\_Reactor](http://wpcontent.answers.com/wikipedia/commons/thumb/5/5a/CANDU_Reactor), alındığı tarih 18.12.2009.
- [18] <<http://www.nucleartourist.com/images>, alındığı tarih 18.12.2009.
- [19] **Çengel, Y. and Boles, M. A.**, 1994: Thermodynamics an engineering approach. Mc Graw Hill, 2<sup>nd</sup> Edition, Boston, USA.
- [20] **Cycle-Tempo release 5.0**, 2006: Delft University of Technology
- [21] **D.F., Torgerson**, 1999: Reducing the Cost of the CANDU System, CNS Climate Change Symposium Ottawa, Ontario.
- [22] <<http://canteach.candu.org/opg.html#SF-Heat>, alındığı tarih 18.12.2009.

## **EKLER**

**EK A.1:** CANDU 6 NGS'nin CTP modeline değer girişleri

**EK A.2:** CANDU 6 NGS'nin CTP modelinde tüm borulardaki akışkanların termodinamik zelikleri

**EK A.3:** CANDU 6 NGS'nin CTP modelinde tüm borulardaki enerji ve ekserji akış hızları

**EK A.4:** CANDU 6 NGS'de ekipmanlarda ekserji değerleri

**EK A.5:** CANDU 6 NGS'de ekipmanlarda enerji kayıpları

**EK A.6:** CANDU 6 NGS'de gc üretimi ve gc tüketimi.

**EK A.7:** CANDU 6 NGS'de ısı değiştiricilere ilişkin bilgiler

**Çizelge A.1 : CANDU 6 NGS'nin CTP modeline değer girişleri.**

Tür	Girdiler
Ekipman	NO=1, TYPE=6, APNAME='Heat Exchgr.', DELP1= 10.9, DELE=-2163400, POUT2= 2.5, TOUT2= 75
Ekipman	NO=2, TYPE=14, APNAME='Valve', DELP=0, PIPE= 3, FLOW= 8824.74 kg/s
Ekipman	NO=3, TYPE=10, APNAME='Sink/Source', POUT= 98.55, TOUT= 309
Ekipman	NO=4, TYPE=8, APNAME='Pump', POUT= 110.8, TOUT= 266.1
Ekipman	NO=5, TYPE=8, APNAME='Pump', POUT= 3.5, TOUT= 75.1
Ekipman	NO=6, TYPE=12, APNAME='Heat Exchgr.', DELP2=0, TOUT2= 52
Ekipman	NO=7, TYPE=14, APNAME='Valve', DELP=0, PIPE= 9, FLOW= 1039.59 kg/s
Ekipman	NO=8, TYPE=10, APNAME='Sink/Source', POUT= 2, TOUT= 35
Ekipman	NO=9, TYPE=10, APNAME='Sink/Source', PIN= 1, TIN= 52
Ekipman	NO=10, TYPE=6, APNAME='Heat Exchgr.', POUT1= 98, TOUT1= 265.45, DELP2=0.1
Ekipman	NO=11, TYPE=14, APNAME='Valve', DELP=0, PIPE= 24, FLOW= 46.034 kg/s
Ekipman	NO=12, TYPE=14, APNAME='Valve', DELP=0, PIPE= 25, FLOW=0.232 kg/s
Ekipman	NO=13, TYPE=14, APNAME='Valve', DELP=0, PIPE= 26, FLOW=0.003 kg/s
Ekipman	NO=14, TYPE=3, APNAME='Turbine'
Ekipman	NO=15, TYPE=14, APNAME='Valve', DELP=0, PIPE= 22, FLOW=0.52 kg/s
Ekipman	NO=16, TYPE=14, APNAME='Valve', DELP=0, PIPE= 23, FLOW=0.069 kg/s
Ekipman	NO=17, TYPE=11, APNAME='Node', DELP=0.13
Ekipman	NO=18, TYPE=14, APNAME='Valve', DELP=0, PIPE= 30, FLOW= 41.407 kg/s
Ekipman	NO=19, TYPE=6, APNAME='Heat Exchgr.', DELP1=0.06
Ekipman	NO=20, TYPE=11, APNAME='Node', DELP=0
Ekipman	NO=21, TYPE=6, APNAME='Heat Exchgr.', DELP1=0, DELP2=0.8
Ekipman	NO=22, TYPE=10, APNAME='Sink/Source', POUT= 12.55, HOUT= 2587.61
Ekipman	NO=23, TYPE=10, APNAME='Sink/Source', POUT= 5.37, HOUT= 2464.9
Ekipman	NO=24, TYPE=10, APNAME='Sink/Source', POUT= 12.55, HIN= 948.3, HOUT= 941.9
Ekipman	NO=25, TYPE=10, APNAME='Sink/Source', POUT= 12.55, DELH=0
Ekipman	NO=26, TYPE=8, APNAME='Pump'
Ekipman	NO=27, TYPE=14, APNAME='Valve', DELP=0, PIPE= 28, FLOW= 44.697 kg/s
Ekipman	NO=28, TYPE=9, APNAME='Node', DELP=0
Ekipman	NO=29, TYPE=14, APNAME='Valve', PIPE= 45, FLOW=0.645 kg/s
Ekipman	NO=30, TYPE=9, APNAME='Node'
Ekipman	NO=31, TYPE=14, APNAME='Valve', DELP=0, PIPE= 38, FLOW=0.148 kg/s
Ekipman	NO=32, TYPE=14, APNAME='Valve', DELP=0, PIPE= 40, FLOW= 741.07 kg/s
Ekipman	NO=33, TYPE=3, APNAME='Turbine', PIN= 5.33
Ekipman	NO=34, TYPE=14, APNAME='Valve', DELP=0, PIPE= 55, FLOW=0.704 kg/s
Ekipman	NO=35, TYPE=10, APNAME='Sink/Source', HOUT= 2805.14
Ekipman	NO=36, TYPE=10, APNAME='Sink/Source', DELH=0
Ekipman	NO=37, TYPE=10, APNAME='Sink/Source', POUT=0.262, HOUT= 2448.37
Ekipman	NO=38, TYPE=10, APNAME='Sink/Source', POUT=0.691, HOUT= 2574
Ekipman	NO=39, TYPE=10, APNAME='Sink/Source', POUT= 1.42, HOUT= 2684.15
Ekipman	NO=40, TYPE=10, APNAME='Sink/Source', POUT= 2.77, HOUT= 2803.09
Ekipman	NO=41, TYPE=10, APNAME='Sink/Source', POUT= 1, TOUT= 20
Ekipman	NO=42, TYPE=8, APNAME='Pump', POUT= 3, ETHAI=0.75
Ekipman	NO=43, TYPE=10, APNAME='Sink/Source', PIN= 3
Ekipman	NO=44, TYPE=4, APNAME='Condenser', DELP1=0, DELT1= 9.82, PIN2=0.053, DELP2=0
Ekipman	NO=45, TYPE=8, APNAME='Pump', PIN=0.053, POUT= 26

**Çizelge A.1 : (Devam) CANDU 6 NGS'nin CTP modeline değer girişleri.**

Tür	Girdiler
Ekipman	NO=46, TYPE=5, APNAME='Flash.Heater', DELP1= 3, PIN2=0.964, DELP2=0
Ekipman	NO=47, TYPE=10, APNAME='Sink/Source', POUT=0.053, DELH=0
Ekipman	NO=48, TYPE=10, APNAME='Sink/Source', POUT=0.053, DELH=0
Ekipman	NO=49, TYPE=6, APNAME='Heat Exchgr.', DELP1= 3, DELP2=0
Ekipman	NO=50, TYPE=5, APNAME='Flash.Heater', DELP1= 3, DELP2=0
Ekipman	NO=51, TYPE=5, APNAME='Flash.Heater', DELP1= 3, PIN2=0.691, DELP2=0
Ekipman	NO=52, TYPE=5, APNAME='Flash.Heater', DELP1= 8.63, DELP2=0
Ekipman	NO=53, TYPE=5, APNAME='Flash.Heater', DELP2=0
Ekipman	NO=54, TYPE=7, APNAME='Deaerator', PIN= 5.37
Ekipman	NO=55, TYPE=5, APNAME='Flash.Heater', DELP1=0, TOUT1= 187.099, DELP2=0
Ekipman	NO=56, TYPE=10, APNAME='Sink/Source', POUT=0.262
Ekipman	NO=57, TYPE=10, APNAME='Sink/Source', DELH=0
Ekipman	NO=58, TYPE=8, APNAME='Pump', PIN= 1.42, POUT= 5.37, ETHAI=0.98
Ekipman	NO=59, TYPE=9, APNAME='Node'
Ekipman	NO=60, TYPE=10, APNAME='Sink/Source', DELH=0
Ekipman	NO=61, TYPE=8, APNAME='Pump', POUT= 6
Ekipman	NO=62, TYPE=9, APNAME='Node'
Ekipman	NO=63, TYPE=8, APNAME='Pump'
Ekipman	NO=64, TYPE=10, APNAME='Sink/Source', POUT= 5.37, HOUT= 682.3
Jeneratör	NO=1, IGAPP=14,33, ETAGEN=0.98225
Ortam	Pipe No = 64, Type = 'WATERSTM'
Ortam	Pipe No = 10, Type = 'WATERSTM'
Ortam	Pipe No = 1, Type = 'WATERSTM'
Ortam	Pipe No = 6, Type = 'WATERSTM'
Ortam	Pipe No = 12, Type = 'WATERSTM'
Boru	NO=12, PINL = 45.37, HINL = 2792.2
Boru	NO=14, PINL = 45.37, HINL = 2792.2
Boru	NO=16, HINL = 2792.2
Boru	NO=17, PINL = 19.43, HINL = 2665.5
Boru	NO=18, HINL = 2792.2
Boru	NO=19, PINL = 5.52, HINL = 2485.1
Boru	NO=20, PINL = 12.89, HINL = 2603.7
Boru	NO=21, PINL = 5.52, HINL = 2485.1
Boru	NO=23, PINL = 45.37, POUTL = 45.37
Boru	NO=28, POUTL = 45.37, HOUTL = 2792.2
Boru	NO=29, PINL = 19.43, POUTL = 19.43, HINL = 2665.5, HOUTL = 2665.5
Boru	NO=30, POUTL = 19.43, HOUTL = 2665.5
Boru	NO=31, HINL = 2745.615
Boru	NO=32, HINL = 896.8
Boru	NO=33, HINL = 2844.3
Boru	NO=36, HINL = 2945.1
Boru	NO=43, POUTL = 5.33
Boru	NO=46, PINL =0.053, HINL = 2332
Boru	NO=47, PINL =0.274, HINL = 2470
Boru	NO=48, PINL =0.717, HINL = 2597
Boru	NO=49, PINL = 1.47, HINL = 2707.7
Boru	NO=53, PINL = 2.85, HINL = 2824.6
Boru	NO=59, HINL = 140
Boru	NO=60, HINL = 143.4

**Çizelge A.1 :** (Devam) CANDU 6 NGS'nin CTP modeline değer girişleri.

Tür	Girdiler
Boru	NO=61, HINL = 144.9
Boru	NO=62, HINL = 419.15
Boru	NO=67, HINL = 176.6
Boru	NO=69, HINL = 158
Boru	NO=70, HINL = 276.6
Boru	NO=71, HINL = 265.5
Boru	NO=72, HINL = 375.3
Boru	NO=74, HINL = 363.9
Boru	NO=75, HINL = 448.9
Boru	NO=77, HINL = 460.5, HOUTL = 460.5
Boru	NO=78, HINL = 449.7
Boru	NO=79, HINL = 549.7
Boru	NO=81, PINL = 5.37, POUTL = 5.37, HINL = 537.7
Boru	NO=82, HINL = 1119.1
Boru	NO=83, HINL = 652.6
Boru	NO=85, HINL = 552
Boru	NO=90, PINL = 5.37
Boru	NO=91, HINL = 659.2
Boru	NO=92, HINL = 682.3
Boru	NO=94, HINL = 796.2
Çevre	Kullanıcı tanımlı çevre Çevre koşulları: Türler = AR CO2 H2O N2 O2 % Mol = 0.9 0.03 3.12 75.65 20.3 Çevre basıncı: 1.00000 bar Çevre sıcaklığı: 20 °C Isıtma değerleri : 1 atm, 25 °C  Su/buhar için hal fonksiyonları: The 1967 IFC Formulation for Industrial Use

**Çizelge A.2 : CANDU 6 NGS'nin CTP modelinde tüm borulardaki akışkanların termodinamik özellikleri.**

Boru no.	Kütleli debi (kg/s)	Basınç (bar)	Sıcaklık (°C)	Entalpi (kJ/kg)	Entropi (kJ/kgK)	Ekserji (kJ/kg)	Kuruluk derecesi (%)
1	8824.740	110.80	266.10	1164.16	2.9241	309.85	0.00
		110.80	266.10	1164.16	2.9241	309.85	0.00
2	8824.740	99.90	309.31	1397.98	3.3433	420.79	0.00
		99.90	309.31	1397.98	3.3433	420.79	0.00
3	8824.740	99.90	309.31	1397.98	3.3433	420.79	0.00
		99.90	309.31	1397.98	3.3433	420.79	0.00
4	8824.740	98.55	309.00	1396.34	3.3408	419.87	0.00
		98.55	309.00	1396.34	3.3408	419.87	0.00
5	8824.740	98.00	265.45	1161.16	2.9216	307.59	0.00
		98.00	265.45	1161.16	2.9216	307.59	0.00
6	1039.590	2.50	75.00	314.11	1.0153	19.37	0.00
		2.50	75.00	314.11	1.0153	19.37	0.00
7	1039.590	3.50	75.10	314.61	1.0165	19.53	0.00
		3.50	75.10	314.61	1.0165	19.53	0.00
8	1039.590	3.50	52.00	217.91	0.7291	7.06	0.00
		3.50	52.00	217.91	0.7291	7.06	0.00
9	1039.590	3.50	52.00	217.91	0.7291	7.06	0.00
		3.50	52.00	217.91	0.7291	7.06	0.00
10	1416.627	2.00	35.00	146.73	0.5048	1.65	0.00
		2.00	35.00	146.73	0.5048	1.65	0.00
11	1416.627	1.00	52.00	217.69	0.7293	6.81	0.00
		1.00	52.00	217.69	0.7293	6.81	0.00
12	1046.666	45.37	257.91	2792.20	6.0057	1034.53	99.69
		45.37	257.91	2792.20	6.0057	1034.53	99.69
13	1000.632	45.37	257.91	2792.20	6.0057	1034.53	99.69
		45.37	257.91	2792.20	6.0057	1034.53	99.69
14	1000.400	45.37	257.91	2792.20	6.0057	1034.53	99.69
		45.37	257.91	2792.20	6.0057	1034.53	99.69
15	1000.397	45.37	257.91	2792.20	6.0057	1034.53	99.69
		45.37	257.91	2792.20	6.0057	1034.53	99.69
16	0.520	45.37	257.91	2792.20	6.0057	1034.53	99.69
		45.37	257.91	2792.20	6.0057	1034.53	99.69
17	42.649	19.43	210.92	2665.50	6.0764	887.10	93.08
		19.43	210.92	2665.50	6.0764	887.10	93.08
18	0.069	45.37	257.91	2792.20	6.0057	1034.53	99.69
		45.37	257.91	2792.20	6.0057	1034.53	99.69
19	847.517	5.52	155.61	2485.10	6.1636	681.14	87.27
		5.52	155.61	2485.10	6.1636	681.14	87.27
20	64.756	12.89	191.22	2603.70	6.1035	817.35	90.80
		12.89	191.22	2603.70	6.1035	817.35	90.80
21	44.885	5.52	155.61	2485.10	6.1636	681.14	87.27
		5.52	155.61	2485.10	6.1636	681.14	87.27
22	0.520	45.37	257.91	2792.20	6.0057	1034.53	99.69
		45.37	257.91	2792.20	6.0057	1034.53	99.69
23	0.069	45.37	257.91	2792.20	6.0057	1034.53	99.69
		45.37	257.91	2792.20	6.0057	1034.53	99.69
24	46.034	45.37	257.91	2792.20	6.0057	1034.53	99.69
		45.37	257.91	2792.20	6.0057	1034.53	99.69
25	0.232	45.37	257.91	2792.20	6.0057	1034.53	99.69
		45.37	257.91	2792.20	6.0057	1034.53	99.69
26	0.003	45.37	257.91	2792.20	6.0057	1034.53	99.69
		45.37	257.91	2792.20	6.0057	1034.53	99.69



**Çizelge A.2 :** (Devam) CANDU 6 NGS'nin CTP modelinde tüm borulardaki akışkanların termodinamik özellikleri.

Boru numarası	Kütleli debi (kg/s)	Basınç (bar)	Sıcaklık (°C)	Entalpi (kJ/kg)	Entropi (kJ/kgK)	Ekserji (kJ/kg)	Kuruluk derecesi (%)
27	1.337	45.37	257.91	2792.20	6.0057	1034.53	99.69
		45.37	257.91	2792.20	6.0057	1034.53	99.69
28	44.697	45.37	257.91	2792.20	6.0057	1034.53	99.69
		45.37	257.91	2792.20	6.0057	1034.53	99.69
29	1.242	19.43	210.92	2665.50	6.0764	887.10	93.08
		19.43	210.92	2665.50	6.0764	887.10	93.08
30	41.407	19.43	210.92	2665.50	6.0764	887.10	93.08
		19.43	210.92	2665.50	6.0764	887.10	93.08
31	742.028	5.39	154.69	2745.61	6.7817	760.47	99.75
		5.39	154.69	2745.61	6.7817	760.47	99.75
32	41.407	19.43	209.79	896.80	2.4227	189.50	0.00
		19.43	209.79	896.80	2.4227	189.50	0.00
33	742.028	5.33	195.85	2844.30	7.0075	792.94	100.00
		5.33	195.85	2844.30	7.0075	792.94	100.00
34	42.649	19.43	210.92	948.30	2.5291	209.81	2.45
		19.43	210.92	948.30	2.5291	209.81	2.45
35	44.697	44.57	256.74	1118.79	2.8550	284.74	0.00
		44.57	256.74	1118.79	2.8550	284.74	0.00
36	742.028	5.33	242.95	2945.10	7.2124	833.69	100.00
		5.33	242.95	2945.10	7.2124	833.69	100.00
37	0.900	45.37	263.01	2817.34	6.0529	1045.84	100.00
		45.37	263.01	2817.34	6.0529	1045.84	100.00
38	0.148	5.33	242.95	2945.10	7.2124	833.69	100.00
		5.33	242.95	2945.10	7.2124	833.69	100.00
39	0.958	5.33	242.95	2945.10	7.2124	833.69	100.00
		5.33	242.95	2945.10	7.2124	833.69	100.00
40	741.070	5.33	242.95	2945.10	7.2124	833.69	100.00
		5.33	242.95	2945.10	7.2124	833.69	100.00
41	0.255	45.37	263.01	2817.34	6.0529	1045.84	100.00
		45.37	263.01	2817.34	6.0529	1045.84	100.00
42	0.106	5.33	242.95	2945.10	7.2124	833.69	100.00
		5.33	242.95	2945.10	7.2124	833.69	100.00
43	0.254	5.33	242.95	2945.10	7.2124	833.69	100.00
		5.33	242.95	2945.10	7.2124	833.69	100.00
44	0.433	5.33	195.91	2844.44	7.0078	793.00	100.00
		5.33	195.91	2844.44	7.0078	793.00	100.00
45	0.645	45.37	263.01	2817.34	6.0529	1045.84	100.00
		45.37	263.01	2817.34	6.0529	1045.84	100.00
46	622.774	0.053	33.94	2332.00	7.6215	100.66	90.44
		0.053	33.94	2332.00	7.6215	100.66	90.44
47	34.093	0.274	67.05	2470.00	7.3542	317.01	93.51
		0.274	67.05	2470.00	7.3542	317.01	93.51
48	30.825	0.717	90.59	2597.00	7.2961	461.06	97.19
		0.717	90.59	2597.00	7.2961	461.06	97.19
49	24.368	1.47	118.14	2707.70	7.2695	579.55	100.00
		1.47	118.14	2707.70	7.2695	579.55	100.00
50	24.368	1.42	109.74	2684.15	7.2241	569.30	99.70
		1.42	109.74	2684.15	7.2241	569.30	99.70
51	34.093	0.262	66.04	2448.37	7.3097	308.44	92.67
		0.262	66.04	2448.37	7.3097	308.44	92.67

**Çizelge A.2 : (Devam) CANDU 6 NGS'nin CTP modelinde tüm borulardaki akışkanların termodinamik özellikleri.**

Boru numarası	Kütleli debi (kg/s)	Basınç (bar)	Sıcaklık (°C)	Entalpi (kJ/kg)	Entropi (kJ/kgK)	Ekserji (kJ/kg)	Kuruluk derecesi (%)
52	30.825	0.691	89.62	2574.00	7.2490	451.85	96.26
		0.691	89.62	2574.00	7.2490	451.85	96.26
53	29.010	2.85	179.87	2824.60	7.2469	703.09	100.00
		2.85	179.87	2824.60	7.2469	703.09	100.00
54	29.010	2.77	169.32	2803.09	7.2117	691.88	100.00
		2.77	169.32	2803.09	7.2117	691.88	100.00
55	0.704	5.33	242.95	2945.10	7.2124	833.69	100.00
		5.33	242.95	2945.10	7.2124	833.69	100.00
56	0.704	1.42	235.97	2945.10	7.8160	656.73	100.00
		1.42	235.97	2945.10	7.8160	656.73	100.00
57	0.433	0.964	164.41	2805.14	7.6975	551.52	100.00
		0.964	164.41	2805.14	7.6975	551.52	100.00
58	0.645	0.053	167.66	2817.34	9.0610	164.00	100.00
		0.053	167.66	2817.34	9.0610	164.00	100.00
59	688.770	0.053	33.43	140.00	0.4835	1.15	0.00
		0.053	33.43	140.00	0.4835	1.15	0.00
60	688.770	26.00	33.69	143.40	0.4861	3.80	0.00
		26.00	33.69	143.40	0.4861	3.80	0.00
61	688.770	23.00	34.11	144.90	0.4920	3.58	0.00
		23.00	34.11	144.90	0.4920	3.58	0.00
62	0.433	0.964	98.61	419.15	1.3071	38.86	0.26
		0.964	98.61	419.15	1.3071	38.86	0.26
63	0.433	0.053	33.94	419.15	1.3926	13.82	11.44
		0.053	33.94	419.15	1.3926	13.82	11.44
64	33 366.664	1.00	20.00	83.95	0.2963	0.00	0.00
		1.00	20.00	83.95	0.2963	0.00	0.00
65	33 366.664	3.00	20.02	84.22	0.2965	0.20	0.00
		3.00	20.02	84.22	0.2965	0.20	0.00
66	33 366.664	3.00	29.84	125.26	0.4342	0.88	0.00
		3.00	29.84	125.26	0.4342	0.88	0.00
67	64.918	0.262	42.18	176.60	0.6012	3.27	0.00
		0.262	42.18	176.60	0.6012	3.27	0.00
68	64.918	0.053	33.94	176.60	0.6027	2.81	1.42
		0.053	33.94	176.60	0.6027	2.81	1.42
69	688.770	20.00	37.31	158.00	0.5354	3.96	0.00
		20.00	37.31	158.00	0.5354	3.96	0.00
70	34.093	0.262	66.04	276.60	0.9068	13.66	0.01
		0.262	66.04	276.60	0.9068	13.66	0.01
71	688.770	17.00	63.11	265.50	0.8689	13.67	0.00
		17.00	63.11	265.50	0.8689	13.67	0.00
72	30.825	0.691	89.61	375.30	1.1880	29.93	0.00
		0.691	89.61	375.30	1.1880	29.93	0.00
73	30.825	0.262	66.04	358.71	1.1489	24.80	3.51
		0.262	66.04	358.71	1.1489	24.80	3.51
74	688.770	14.00	86.65	363.90	1.1526	28.90	0.00
		14.00	86.65	363.90	1.1526	28.90	0.00
75	688.770	5.37	106.99	448.90	1.3849	45.82	0.00
		5.37	106.99	448.90	1.3849	45.82	0.00
76	54.082	1.42	109.71	460.08	1.4153	48.09	0.00
		1.42	109.71	460.08	1.4153	48.09	0.00

**Çizelge A.2 :** (Devam) CANDU 6 NGS'nin CTP modelinde tüm borulardaki akışkanların termodinamik özellikleri.

Boru numarası	Kütleli debi (kg/s)	Basınç (bar)	Sıcaklık (°C)	Entalpi (kJ/kg)	Entropi (kJ/kgK)	Ekserji (kJ/kg)	Kuruluk derecesi (%)
77	54.082	5.37	109.74	460.50	1.4153	48.51	0.00
		5.37	109.74	460.50	1.4153	48.51	0.00
78	742.852	5.37	107.18	449.70	1.3870	46.01	0.00
		5.37	107.18	449.70	1.3870	46.01	0.00
79	29.010	2.77	130.79	549.70	1.6428	71.03	0.00
		2.77	130.79	549.70	1.6428	71.03	0.00
80	29.010	1.42	109.74	549.70	1.6493	69.10	4.01
		1.42	109.74	549.70	1.6493	69.10	4.01
81	742.852	5.37	127.94	537.70	1.6123	67.97	0.00
		5.37	127.94	537.70	1.6123	67.97	0.00
82	44.697	45.47	256.80	1119.10	2.8554	284.94	0.00
		45.47	256.80	1119.10	2.8554	284.94	0.00
83	105.489	5.39	154.69	652.60	1.8895	101.58	0.01
		5.39	154.69	652.60	1.8895	101.58	0.01
84	105.489	6.00	154.74	652.70	1.8896	101.66	0.00
		6.00	154.74	652.70	1.8896	101.66	0.00
85	848.341	5.37	131.29	552.00	1.6478	71.86	0.00
		5.37	131.29	552.00	1.6478	71.86	0.00
86	44.885	5.37	154.55	2464.90	6.1269	671.69	86.38
		5.37	154.55	2464.90	6.1269	671.69	86.38
87	42.649	12.55	190.00	941.90	2.5257	204.38	6.80
		12.55	190.00	941.90	2.5257	204.38	6.80
88	1.337	12.55	192.94	2792.20	6.5207	883.54	100.00
		12.55	192.94	2792.20	6.5207	883.54	100.00
89	64.756	12.55	190.00	2587.61	6.0791	808.43	90.05
		12.55	190.00	2587.61	6.0791	808.43	90.05
90	1001.969	5.37	154.55	651.83	1.8877	101.34	0.00
		5.37	154.55	651.83	1.8877	101.34	0.00
91	1001.969	45.47	155.70	659.20	1.8947	106.67	0.00
		45.47	155.70	659.20	1.8947	106.67	0.00
92	108.742	12.55	161.49	682.30	1.9566	111.63	0.00
		12.55	161.49	682.30	1.9566	111.63	0.00
93	108.742	5.37	154.55	682.30	1.9590	110.92	1.45
		5.37	154.55	682.30	1.9590	110.92	1.45
94	1001.969	45.47	187.10	796.20	2.2030	153.30	0.00
		45.47	187.10	796.20	2.2030	153.30	0.00

**Çizelge A.3 : CANDU 6 NGS'nin CTP modelinde tüm borulardaki enerji ve ekserji akış hızları.**

Boru numarası	Toplam enerji akış hızı (kW)	Toplam ekserji akış hızı (kW)	Boru numarası	Toplam enerji akış hızı (kW)	Toplam ekserji akış hızı (kW)
1	9 532 563.00	2734370.75	25	628.31	240.01
	9 532 563.00	2734370.75		628.31	240.01
2	11 595 956.00	3713329.75	26	8.12	3.10
	11 595 956.00	3713329.75		8.12	3.10
3	11 595 956.00	3713329.75	27	3620.93	1 383.16
	11 595 956.00	3713329.75		3620.93	1 383.16
4	11 581 453.00	3705262.75	28	121 050.49	46 240.31
	11 581 453.00	3705262.75		121 050.49	46 240.31
5	9 506 075.00	2714432.50	29	3205.83	1101.62
	9 506 075.00	2714432.50		3205.83	1101.62
6	239 264.03	20134.71	30	106 894.09	36 732.21
	239 264.03	20134.71		106 894.09	36 732.21
7	239 783.53	20306.63	31	1 975 027.25	564 292.00
	239 783.53	20306.63		1 975 027.25	564 292.00
8	139 257.36	7337.21	32	33 657.53	7846.58
	139 257.36	7337.21		33 657.53	7846.58
9	139 257.36	7337.21	33	2 048 254.38	588 387.25
	139 257.36	7337.21		2 048 254.38	588 387.25
10	88 933.66	2338.85	34	36 863.36	8948.05
	88 933.66	2338.85		36 863.36	8948.05
11	189 459.83	9644.97	35	46 254.07	12 726.99
	189 459.83	9644.97		46 254.07	12 726.99
12	2 834 628.50	1082805.25	36	2 123 050.75	618 618.75
	2 834 628.50	1082805.25		2 123 050.75	618 618.75
13	2 709 957.00	1035181.81	37	2460.05	941.26
	2 709 957.00	1035181.81		2460.05	941.26
14	2 709 328.75	1034941.81	38	423.45	163.69
	2 709 328.75	1034941.81		423.45	163.69
15	2 709 320.50	1034938.69	39	2741.00	798.68
	2 709 320.50	1034938.69		2741.00	798.68
16	1408.29	537.95	40	2 120 309.75	617 820.06
	1408.29	537.95		2 120 309.75	617 820.06
17	110 099.92	37833.84	41	697.01	266.69
	110 099.92	37833.84		697.01	266.69
18	186.87	71.38	42	303.31	88.38
	186.87	71.38		303.31	88.38
19	2 035 013.50	577281.38	43	726.76	211.76
	2 035 013.50	577281.38		726.76	211.76
20	163 169.30	52928.82	44	1195.32	343.37
	163 169.30	52928.82		1195.32	343.37
21	107 775.64	30573.20	45	1763.04	674.57
	107 775.64	30573.20		1763.04	674.57
22	1408.29	537.95	46	1400 024.25	62 686.24
	1408.29	537.95		1400 024.25	62 686.24
23	186.87	71.38	47	81 348.17	10 807.75
	186.87	71.38		81 348.17	10 807.75
24	124 671.42	47623.48	48	77 464.71	14 212.16
	124 671.42	47623.48		77 464.71	14 212.16

**Çizelge A.3 :** (Devam) CANDU 6 NGS'nin CTP modelinde tüm borulardaki enerji ve ekserji akış hızları.

Boru numarası	Toplam enerji akış hızı (kW)	Toplam ekserji akış hızı (kW)	Boru numarası	Toplam enerji akış hızı (kW)	Toplam ekserji akış hızı (kW)
49	63 935.19	14122.39	72	8980.76	922.71
	63 935.19	14122.39		8980.76	922.71
50	63 361.32	13872.58	73	8469.39	764.57
	63 361.32	13872.58		8469.39	764.57
51	80 610.73	10515.62	74	192 818.73	19 906.27
	80 610.73	10515.62		192 818.73	19 906.27
52	76 755.73	13928.18	75	251 364.19	31 562.21
	76 755.73	13928.18		251 364.19	31 562.21
53	79 506.31	20396.56	76	20 341.45	2600.99
	79 506.31	20396.56		20 341.45	2600.99
54	78 882.31	20071.51	77	20 364.37	2623.56
	78 882.31	20071.51		20 364.37	2623.56
55	2014.25	586.92	78	271 695.47	34 176.57
	2014.25	586.92		271 695.47	34 176.57
56	2014.25	462.34	79	13 511.33	2060.46
	2014.25	462.34		13 511.33	2060.46
57	1178.30	238.81	80	13 511.33	2004.49
	1178.30	238.81		13 511.33	2004.49
58	1763.04	105.78	81	337 066.47	50 489.97
	1763.04	105.78		337 066.47	50 489.97
59	38 603.11	794.10	82	46 267.94	12 736.01
	38 603.11	794.10		46 267.94	12 736.01
60	40 944.93	2614.10	83	59 986.20	10 715.90
	40 944.93	2614.10		59 986.20	10 715.90
61	41 978.09	2462.70	84	59 996.75	10 724.05
	41 978.09	2462.70		59 996.75	10 724.05
62	145.14	16.83	85	397 063.19	60 961.43
	145.14	16.83		397 063.19	60 961.43
63	145.14	5.99	86	106 868.97	30 148.78
	145.14	5.99		106 868.97	30 148.78
64	0.00	0.00	87	36 590.41	8716.61
	0.00	0.00		36 590.41	8716.61
65	8912.33	6684.32	88	3620.93	1181.30
	8912.33	6684.32		3620.93	1181.30
66	1 378 256.12	29202.39	89	162 127.38	52 351.14
	1 378 256.12	29202.39		162 127.38	52 351.14
67	6014.45	212.06	90	568 997.62	101 539.33
	6014.45	212.06		568 997.62	101 539.33
68	6014.45	182.59	91	576 378.88	106 880.00
	6014.45	182.59		576 378.88	106 880.00
69	51 000.97	2724.45	92	65 065.43	12 138.75
	51 000.97	2724.45		65 065.43	12 138.75
70	6567.95	465.66	93	65 065.43	12 062.10
	6567.95	465.66		65 065.43	12 062.10
71	125 043.75	9417.95	94	713 652.12	153 606.06
	125 043.75	9417.95		713 652.12	153 606.06

**Çizelge A.4 : CANDU 6 NGS’de ekipmanlarda ekserji değerleri.**

Ekipman no	Ekipman adı	Tipi	Ekipmandan transfer edilen ekserji (kW)		
			Toplam ekserji akış değeri	Güç /Isı	Kayıplar
14	Türbin	3	335 712.12	291 666.97	44 045.16
33	Türbin	3	495 595.00	418 031.12	77 563.88
44	Yoğuşturucu	4	39 668.44	0.00	39 668.44
46	BS ısıtıcısı	5	373.39	0.00	373.39
50	BS ısıtıcısı	5	3356.46	0.00	3356.46
51	BS ısıtıcısı	5	2517.15	0.00	2517.15
52	BS ısıtıcısı	5	2082.48	0.00	2082.48
53	BS ısıtıcısı	5	1697.65	0.00	1697.65
55	BS ısıtıcısı	5	3384.23	0.00	3384.23
10	Isı değiştirici	6	74366.91	0.00	74 366.91
1	Isı değiştirici	6	-991 756.62	0.00	-991 756.62
19	Isı değiştirici	6	4790.41	0.00	4790.41
21	Isı değiştirici	6	3281.78	0.00	3281.78
49	Isı değiştirici	6	756.42	0.00	756.42
54	Gazsızlaştırma ünitesi	7	1632.98	0.00	1632.98
26	Pompa	8	-9.02	-16.44	7.42
42	Pompa	8	-6684.33	-9295.38	2611.05
45	Pompa	8	-1820.00	-2461.21	641.20
4	Pompa	8	-19 938.07	-27591.14	7653.07
5	Pompa	8	-171.92	-553.06	381.14
58	Pompa	8	-22.57	-26.87	4.30
61	Pompa	8	-8.15	-12.54	4.39
63	Pompa	8	-5340.68	-7712.21	2371.53
28	Nokta	9	0.39	0.00	0.39
30	Nokta	9	86.18	0.00	86.18
59	Nokta	9	9.19	0.00	9.19
62	Nokta	9	252.60	0.00	252.60
22	Kuyu/Kaynak	10	577.68	0.00	577.68
23	Kuyu/Kaynak	10	424.42	0.00	424.42
24	Kuyu/Kaynak	10	231.44	0.00	231.44
25	Kuyu/Kaynak	10	201.87	0.00	201.87
35	Kuyu/Kaynak	10	104.56	0.00	104.56
36	Kuyu/Kaynak	10	568.79	0.00	568.79
37	Kuyu/Kaynak	10	292.12	0.00	292.12
38	Kuyu/Kaynak	10	283.98	0.00	283.98
39	Kuyu/Kaynak	10	249.81	0.00	249.81
40	Kuyu/Kaynak	10	325.06	0.00	325.06
3	Kuyu/Kaynak	10	8067.13	0.00	8067.13
47	Kuyu/Kaynak	10	10.84	0.00	10.84
48	Kuyu/Kaynak	10	29.46	0.00	29.46
56	Kuyu/Kaynak	10	158.14	0.00	158.14
57	Kuyu/Kaynak	10	124.58	0.00	124.58
60	Kuyu/Kaynak	10	55.97	0.00	55.97
64	Kuyu/Kaynak	10	76.65	0.00	76.65

**Çizelge A.4 :** (Devam) CANDU 6 NGS’de ekipmanlarda ekserji değerleri.

Ekipman no	Ekipman adı	Tipi	Ekipmandan transfer edilen ekserji (kW)		
			Toplam ekserji akış değeri	Güç /Isı	Kayıplar
17	Nokta	11	2273.45	0.00	2273.45
20	Nokta	11	0.15	0.00	0.15
6	Isı değiştirici	12	5663.29	0.00	5663.29
16	Vana	14	0.00	0.00	0.00
18	Vana	14	0.00	0.00	0.00
12	Vana	14	0.00	0.00	0.00
13	Vana	14	0.00	0.00	0.00
27	Vana	14	0.00	0.00	0.00
29	Vana	14	0.00	0.00	0.00
31	Vana	14	0.00	0.00	0.00
32	Vana	14	0.00	0.00	0.00
2	Vana	14	0.00	0.00	0.00
34	Vana	14	0.00	0.00	0.00
11	Vana	14	0.00	0.00	0.00
15	Vana	14	0.00	0.00	0.00
7	Vana	14	0.00	0.00	0.00
Çevreye / Çevreden transfer edilen ekserji (kW)					
41	Kuyu/Kaynak	0.00	0.00	0.00	0.00
43	Kuyu/Kaynak	29 202.39	0.00	29 202.39	29 202.39
8	Kuyu/Kaynak	-2338.85	0.00	-2338.85	-2338.85
9	Kuyu/Kaynak	9644.97	0.00	9644.97	9644.97
	Toplam	0.04	662029.24	-662 029.20	0.04

**Çizelge A.5 : CANDU 6 NGS’de ekipmanlarda enerji kayıpları.**

No	Ekipman adı	Tipi	Enerji kaybı (kW)
14	Türbin	3	291 666.97
33	Türbin	3	418 031.12
44	Yoğuşturucu	4	0.00
46	BS Isıtıcısı	5	0.00
50	BS Isıtıcısı	5	0.00
51	BS Isıtıcısı	5	0.00
52	BS Isıtıcısı	5	0.00
53	BS Isıtıcısı	5	0.00
55	BS Isıtıcısı	5	0.00
10	Isı değiştirici	6	669.76
1	Isı değiştirici	6	-2 163 400.00
19	Isı değiştirici	6	9.53
21	Isı değiştirici	6	0.00
49	Isı değiştirici	6	0.00
54	Gazsızlaştırma ünitesi	7	0.00
26	Pompa	8	-13.87
42	Pompa	8	-8912.33
45	Pompa	8	-2341.82
4	Pompa	8	-26487.50
5	Pompa	8	-519.50
58	Pompa	8	-22.92
61	Pompa	8	-10.54
63	Pompa	8	-7381.28
28	Nokta	9	0.00
30	Nokta	9	0.00
59	Nokta	9	33.07
62	Nokta	9	0.00
22	Kuyu/Kaynak	10	1041.93
23	Kuyu/Kaynak	10	906.68
24	Kuyu/Kaynak	10	272.95
25	Kuyu/Kaynak	10	0.00
35	Kuyu/Kaynak	10	17.02
36	Kuyu/Kaynak	10	0.00
37	Kuyu/Kaynak	10	737.44
38	Kuyu/Kaynak	10	708.98
39	Kuyu/Kaynak	10	573.86
40	Kuyu/Kaynak	10	624.01
41	Kuyu/Kaynak	10	-2 801 250.25
43	Kuyu/Kaynak	10	4 179 506.25
3	Kuyu/Kaynak	10	14502.75
47	Kuyu/Kaynak	10	0.00
48	Kuyu/Kaynak	10	0.00
8	Kuyu/Kaynak	10	-207 864.56
9	Kuyu/Kaynak	10	308 390.72
56	Kuyu/Kaynak	10	511.37
57	Kuyu/Kaynak	10	0.00



**Çizelge A.5 :** (Devam) CANDU 6 NGS’de ekipmanlarda enerji kayıpları.

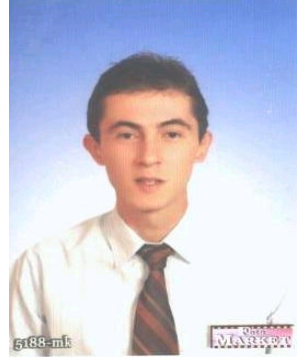
No	Ekipman adı	Tipi	Enerji kaybı (kW)
60	Kuyu/Kaynak	10	0.00
64	Kuyu/Kaynak	10	0.00
17	Nokta	11	0.00
20	Nokta	11	0.00
6	Isı değiştirici	12	0.00
16	Vana	14	0.00
18	Vana	14	0.00
12	Vana	14	0.00
13	Vana	14	0.00
27	Vana	14	0.00
29	Vana	14	0.00
31	Vana	14	0.00
32	Vana	14	0.00
2	Vana	14	0.00
34	Vana	14	0.00
11	Vana	14	0.00
15	Vana	14	0.00
7	Vana	14	0.00
	Toplam:		0.00

**Çizelge A.6 : CANDU 6 NGS’de güç üretimi ve güç tüketimi.**

	Ekipman numarası	Ekipman ismi	Ekipman tipi	Enerji (kW)	Toplam	Ekserji (kW)	Toplam
Brüt güç üretimi	1	Jeneratör	G	697 101.00		697 101.00	
					697 101.00		697 101.00
Güç tüketimi	26	Pompa	8	16.44		16.44	
	42	Pompa	8	9298.13		9298.13	
	45	Pompa	8	2461.21		2461.21	
	4	Pompa	8	27 591.14		27 591.14	
	5	Pompa	8	553.06		553.06	
	58	Pompa	8	26.87		26.87	
	61	Pompa	8	12.54		12.54	
	63	Pompa	8	7712.21		7712.21	
					47 668.85		47 668.85
Net güç üretimi					649 432.12		649 432.12

**Çizelge A.7 : CANDU 6 NGS’de ısı değiştiricilere ilişkin bilgiler.**

Ekipman numarası	Ekipman adı	Ekipman tipi	Soğuk ayak sıcaklık farkı (°C)	Sıcak ayak sıcaklık farkı (°C)	Tranfer edilen ısı akışı (kW)
44	Yoğuşturucu	4	13.41	4.10	1 369 343.75
46	BS ısıtıcısı	5	64.93	64.50	1033.16
50	BS ısıtıcısı	5	28.73	2.93	74 042.78
51	BS ısıtıcısı	5	26.50	2.97	67 774.97
52	BS ısıtıcısı	5	23.06	2.74	58 545.45
53	BS ısıtıcısı	5	23.61	2.90	65 370.98
55	BS ısıtıcısı	5	5.79	2.90	137 273.28
10	Isı değiştirici	6	0.00	0.00	2 075 378.17
1	Isı değiştirici	6	-191.10	-257.31	2 063 393.31
19	Isı değiştirici	6	55.10	15.07	73 227.04
21	Isı değiştirici	6	60.89	14.97	74 796.42
49	Isı değiştirici	6	0.00	0.00	9022.89
6	Isı değiştirici	12	17.00	23.10	100 526.18



## ÖZGEÇMİŞ

**Ad Soyad:** Volkan ÜNSAL

**Doğum Yeri ve Tarihi:** Ankara, 21.09.1979

**Adres:** Yarımburgaz Mah. Nükleer Araştırma Merkezi Yolu 34303 Küçükçekmece  
İstanbul

**Lisans Üniversite:** Ege Üniversitesi Kimya Mühendisliği