

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**BİR GÜÇ SANTRALİNİN EKSERJİK VE  
TERMOEKONOMİK ANALİZİ**

Kimya Yüksek Mühendisi Mehmet Selçuk MERT

**FBE Kimya Mühendisliği i Anabilim Dalı Kimya Mühendisliği i Programında  
Hazırlanan**

**DOKTORA TEZİ**

**Tez Savunma Tarihi** : 23 Eylül 2010

**Tez Danışmanı** : Prof.Dr. Esen BOLAT (YTÜ)

**Jüri Üyeleri** : Prof. Dr. Belma KIN ÖZBEK (YTÜ)

: Prof. Dr. Muzaffer YAĞAR (KÜ)

: Prof. Dr Olcay KINCAY (YTÜ)

: Doç.Dr. Fatma KARACA (MÜ)

**İSTANBUL, 2010**

## İÇİNDEKİLER

Sayfa

|                                                                                   |      |
|-----------------------------------------------------------------------------------|------|
| ŞİMLER LİSTESİ.....                                                               | v    |
| KISALTMALAR LİSTESİ.....                                                          | vii  |
| ŞEKİLLER LİSTESİ.....                                                             | viii |
| ÇİZELGE LİSTESİ.....                                                              | xi   |
| ÖZET .....                                                                        | xv   |
| ABSTRACT .....                                                                    | xvi  |
| 1. GİRİŞ .....                                                                    | 1    |
| 2. ENERJİ VE EKSERJİ ANALİZİ.....                                                 | 3    |
| 2.1 Enerji.....                                                                   | 3    |
| 2.2 Enerji Analizi .....                                                          | 4    |
| 2.3 Ekserji Analizi .....                                                         | 6    |
| 2.3.1 Ekserji Bileşenleri.....                                                    | 9    |
| 2.3.2 Kapalı Sistemler İçin Ekserji Denkliği .....                                | 13   |
| 2.3.3 Sürekli Akış Açık Sistemler İçin Ekserji Denkliği .....                     | 14   |
| 2.3.4 Ekipman Bazında Ekserji Denkliği .....                                      | 15   |
| 2.3.5 Ekserji Performans Kriterleri .....                                         | 17   |
| 3. TERMOEKONOMİK ANALİZ .....                                                     | 19   |
| 3.1 Ekonomik Analiz .....                                                         | 19   |
| 3.2 Termoekonomik Analiz .....                                                    | 21   |
| 3.3 Termoekonomi ve Eksergoekonomi.....                                           | 22   |
| 3.4 Termoekonomik Analiz Yöntemleri.....                                          | 23   |
| 3.5 Termoekonominin Temelleri.....                                                | 25   |
| 3.5.1 Ekserji Maliyeti .....                                                      | 26   |
| 3.5.2 Ekserji Tahribi Maliyeti.....                                               | 27   |
| 3.5.3 Termoekonomik Denkliklerin Oluşturulması ve Yardımcı Maliyet Denklikleri .. | 28   |
| 3.6 Termoekonomi Performans Kriterleri .....                                      | 28   |
| 4. THERMOFLEX / PEACE SİMÜLASYON PROGRAMI.....                                    | 32   |
| 4.1 Giriş .....                                                                   | 32   |
| 4.2 Programın Çalıştırılması.....                                                 | 32   |
| 4.3 Programdan Örnekler.....                                                      | 39   |

|       |                                                                                                       |     |
|-------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 5.    | KOJENERASYON .....                                                                                    | 43  |
| 5.1   | Kojenerasyonun Tarihsel Gelişimi .....                                                                | 43  |
| 5.2   | Kojenerasyonun Tanımı .....                                                                           | 43  |
| 5.3   | Kojenerasyon Teknikleri .....                                                                         | 48  |
| 5.3.1 | Buhar türbinli kojenerasyon .....                                                                     | 48  |
| 5.3.2 | Gaz türbinli kojenerasyon .....                                                                       | 49  |
| 5.3.3 | Motorlu kojenerasyon .....                                                                            | 50  |
| 5.4   | Kojenerasyon Sistemleri .....                                                                         | 52  |
| 5.5   | Kojenerasyon Tekniği i Seçimi .....                                                                   | 54  |
| 5.6   | Türkiye’de Kojenerasyon Uygulamaları .....                                                            | 57  |
| 5.7   | Kojenerasyon ve Ekserji Analizine İlişkin Yapılan Çalışmalar .....                                    | 59  |
| 6.    | EREĞLİ KİDEMİR ÇELİK FABRİKASI T.A.Ş. TANITIMI .....                                                  | 62  |
| 6.1   | Enerji Üretim ve Dağıtım Sisteminin Tanımı .....                                                      | 62  |
| 7.    | ENERJİ VE EKSERJİ ANALİZLERİ HESAPLAMALARI VE BULGULAR ..                                             | 71  |
| 7.1   | BK 101, 102, 103, 104 ve 105 Buhar Kazanlarına İlişkin Hesaplamalar .....                             | 72  |
| 7.2   | GTG 101 ve 102 Gaz Türbin Gruplarına İlişkin Hesaplamalar .....                                       | 79  |
| 7.2.1 | HK 101 ve 102 Hava Kompresörlerine İlişkin Hesaplamalar .....                                         | 79  |
| 7.2.2 | YO 101 ve 102 Yanma Odalarına İlişkin Hesaplamalar .....                                              | 80  |
| 7.2.3 | GT 101 ve 102 Gaz Türbinlerine İlişkin Hesaplamalar .....                                             | 81  |
| 7.2.4 | AIK 101 ve 102 Atık Isı Kazanlarına İlişkin Hesaplamalar .....                                        | 82  |
| 7.3   | BTG 101, 102, 103, 104, 105, 106, 107 ve 108 Buhar Türbin Gruplarına İlişkin Hesaplamalar .....       | 88  |
| 7.3.1 | BT 101, 102, 103, 104 ve 108 Buhar Türbinlerine İlişkin Hesaplamalar .....                            | 90  |
| 7.3.2 | BT 105, 106 ve 107 Ara Kademeli Buhar Türbinlerine İlişkin Hesaplamalar .....                         | 91  |
| 7.3.3 | TK 101, 102, 103 ve 104 Turbo Köriklere İlişkin Hesaplamalar .....                                    | 92  |
| 7.3.4 | YG 101, 102, 103, 104, 105, 106, 107 ve 108 Yoğulturucularına İlişkin Hesaplamalar .....              | 93  |
| 7.4   | P 101, P 102, P 103 ve P 104 Pompalarına İlişkin Hesaplamalar .....                                   | 101 |
| 7.5   | HV 101 Havalandırma İlişkin Hesaplamalar .....                                                        | 104 |
| 7.6   | IS 101 Isıtma Sistemine İlişkin Hesaplamalar .....                                                    | 105 |
| 7.7   | BDI 101 ve 103 Basınç Düşürme İstasyonlarına İlişkin Hesaplamalar .....                               | 107 |
| 7.8   | 45 ve 14 Bar Ana Buhar Tesisleri Hatlarına İlişkin Hesaplamalar .....                                 | 109 |
| 8.    | TERMOEKONOMİK ANALİZ HESAPLAMALARI VE BULGULAR .....                                                  | 118 |
| 8.1   | BK 101, 102, 103, 104 ve 105 Buhar Kazanlarına İlişkin Kurulan Denklikler ..                          | 120 |
| 8.2   | GTG 101 ve 102 Gaz Türbin Gruplarına İlişkin Kurulan Denklikler .....                                 | 126 |
| 8.2.1 | GTG 101 Gaz Türbin Grubuna İlişkin Denklikler .....                                                   | 126 |
| 8.2.2 | GTG 102 Gaz Türbin Grubuna İlişkin Denklikler .....                                                   | 131 |
| 8.3   | BTG 101, 102, 103, 104, 105, 106, 107 ve 108 Buhar Türbin Gruplarına İlişkin Kurulan Denklikler ..... | 135 |
| 8.3.1 | BTG 101 Buhar Türbin Grubuna İlişkin Denklikler .....                                                 | 135 |
| 8.3.2 | BTG 102 Buhar Türbin Grubuna İlişkin Denklikler .....                                                 | 138 |
| 8.3.3 | BTG 103 Buhar Türbin Grubuna İlişkin Denklikler .....                                                 | 141 |
| 8.3.4 | BTG 104 Buhar Türbin Grubuna İlişkin Denklikler .....                                                 | 143 |
| 8.3.5 | BTG 105 Buhar Türbin Grubuna İlişkin Denklikler .....                                                 | 146 |

|                                             |                                                                            |     |
|---------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|-----|
| 8.3.6                                       | BTG 106 Buhar Türbin Grubuna Kııkin Denklikler .....                       | 147 |
| 8.3.7                                       | BTG 107 Buhar Türbin Grubuna Kııkin Denklikler .....                       | 149 |
| 8.3.8                                       | BTG 108 Buhar Türbin Grubuna Kııkin Denklikler .....                       | 152 |
| 8.4                                         | P 101 Pompasēna Kııkin Kurulan Denklikler.....                             | 154 |
| 8.5                                         | P 102 Pompasēna Kııkin Kurulan Denklikler.....                             | 155 |
| 8.6                                         | P 103 Pompasēna Kııkin Kurulan Denklikler.....                             | 156 |
| 8.7                                         | P 104 Pompasēna Kııkin Kurulan Denklikler.....                             | 157 |
| 8.8                                         | HV 101 Havalandēēēēna Kııkin Kurulan Denklikler .....                      | 158 |
| 8.9                                         | IS 101 Isēma Sistemine Kııkin Kurulan Denklikler.....                      | 159 |
| 8.10                                        | BDI 101 ve 103 Basēç Dükürme Kıtasyonlarēna Kııkin Kurulan Denklikler..... | 160 |
| 8.10.1                                      | BDI 101 Basēç Dükürme Kıtasyonuna Kııkin Denklikler.....                   | 160 |
| 8.10.2                                      | BDI 103 Basēç Dükürme Kıtasyonuna Kııkin Denklikler.....                   | 161 |
| 8.11                                        | 45 ve 14 Bar Ana Buhar TakēyēēHatlarēna Kııkin Kurulan Denklikler .....    | 162 |
| 8.11.1                                      | 45 Bar Ana Buhar TakēyēēHattēna Kııkin Denklikler .....                    | 162 |
| 8.11.2                                      | 14 Bar Ana Buhar TakēyēēHattēna Kııkin Denklikler .....                    | 163 |
| 9.                                          | KLERKESERJKANALKZK HESAPLAMALARI VE BULGULAR.....                          | 167 |
| 9.1                                         | Keri Ekserji Analizine Girik.....                                          | 167 |
| 9.1.1                                       | Önlenebilir ve Önlenebilir Ekserji Tahribi .....                           | 168 |
| 9.1.2                                       | Endotahrip ve Ekzotahrip.....                                              | 168 |
| 9.1.3                                       | Örnek Hesaplama .....                                                      | 169 |
| 10.                                         | SONUÇ VE ÖNERKLER.....                                                     | 172 |
| KAYNAKLAR.....                              |                                                                            | 175 |
| EKLER.....                                  |                                                                            | 180 |
| Ek 1 Kuvvet Santrali Proses Akē ķemasē..... |                                                                            | 181 |

## ŞİŞME LİSTESİ

|                      |                                                |
|----------------------|------------------------------------------------|
| $c$                  | Ortalama Birim Ekserji Maliyeti (\$/GJ)        |
| $\dot{C}$            | Ekserji Maliyeti (\$/h)                        |
| $e_{kim}$            | Birim Mol Temelinde Kimyasal Ekserji (kJ/kmol) |
| $\bar{e}_{kim}$      | Standart Kimyasal Ekserji (kJ/kmol)            |
| $\dot{E}$            | Ekserji (MW)                                   |
| $\dot{E}_F$          | Yakıt Ekserjisi (MW)                           |
| $\dot{E}_{fiz}$      | Fiziksel Ekserji (MW)                          |
| $\dot{E}_{kin}$      | Kinetik Ekserji (MW)                           |
| $\dot{E}_{kim}$      | Kimyasal Ekserji (MW)                          |
| $\dot{E}_p$          | Ürün Ekserjisi (MW)                            |
| $\dot{E}_{pot}$      | Potansiyel Ekserji (MW)                        |
| $\dot{E}_L$          | Ekserji Kaybı (MW)                             |
| $\dot{E}_D$          | Ekserji Tahribi (MW)                           |
| $\dot{E}^{\Delta P}$ | Basınç Farkından Olukan Ekserji (MW)           |
| $\dot{E}^{\Delta T}$ | Sıcaklık Farkından Olukan Ekserji (MW)         |
| $\dot{E}$            | Enerji (MW)                                    |
| $f_k$                | Eksergoekonomik Faktör                         |
| $H$                  | Entalpi (kJ/kg)                                |
| $H_o$                | Çevre şartlarında Entalpi (kJ/kg)              |
| $G$                  | Gibbs Serbest Enerjisi (kJ/kmol)               |
| $\dot{G}_{pot}$      | Geliştirme Potansiyeli (MW)                    |
| $g$                  | Yerçekimi Kuvveti ( $m^2/s$ )                  |
| $i$                  | Faiz Oranı                                     |
| $i_{eff}$            | Efektif Faiz Oranı                             |
| $KE$                 | Kinetik Enerji (kJ)                            |
| $\dot{m}$            | Debi (kg/s)                                    |
| $\dot{m}_g$          | Giren Madde Miktarı (kg/s)                     |
| $\dot{m}_\varphi$    | Çıkan Madde Miktarı (kg/s)                     |
| $n$                  | Zaman (yıl)                                    |
| $P$                  | Basınç (bar)                                   |
| $PE$                 | Potansiyel Enerji (kJ)                         |
| $P_o$                | Çevre şartlarındaki Basınç (bar)               |
| $Q$                  | Isı (W)                                        |
| $Q_H$                | Alınan Isı (W)                                 |
| $Q_L$                | Verilen Isı (W)                                |
| $r_k$                | Relatif Maliyet Farkı                          |
| $R$                  | Gaz sabiti (kJ/kmol K)                         |
| $S$                  | Entropi (kJ/kg K)                              |
| $S_o$                | Çevre şartlarında Entropi (kJ/kg K)            |

|                   |                                                                |
|-------------------|----------------------------------------------------------------|
| $S_{ür}$          | Entropi Üretimi (kJ/kg K)                                      |
| $T$               | Sıcaklık (K)                                                   |
| $T_b$             | İsēeklindeki Enerji Aktarēmēn Yer Aldē ē Sēmēdaki Sıcaklık (K) |
| $T_o$             | Çevre şartlarēndaki Sıcaklık (K)                               |
| $U$               | Kı Enerji (kJ)                                                 |
| $v$               | Hız (m/s)                                                      |
| $V$               | Hacim (m <sup>3</sup> )                                        |
| $\dot{W}$         | Kı (kJ)                                                        |
| $x$               | Mol Kesri                                                      |
| $y$               | Tersinmezlik Oranē                                             |
| $z$               | Yükseklik (m)                                                  |
| $\dot{Z}_k$       | k Ekipmanēn Seviyelendirilmik Toplam Maliyeti                  |
| $\dot{Z}_k^{CI}$  | k Ekipmanēn Seviyelendirilmik Kı yatēm Maliyeti                |
| $\dot{Z}_k^{OMC}$ | k Ekipmanēn Seviyelendirilmik Kıletme ve Bakēm Maliyeti        |
| $\varepsilon$     | Ekserji Verimi                                                 |
| $\eta$            | Enerji Verimi                                                  |

## KISALTMA LİSTESİ

|        |                                                                   |
|--------|-------------------------------------------------------------------|
| ABH    | Ana Buhar Takıyıcısı Hattı                                        |
| AIK    | Atık Isı Kazanı                                                   |
| BDI    | Basınç Dükürme Kıtasyonu                                          |
| BK     | Buhar Kazanı                                                      |
| BT     | Buhar Türbini                                                     |
| CELF   | Sabit Eskalasyonlu Seviyelendirme Faktörü                         |
| DB     | Dükük Basınç                                                      |
| DM     | Demineralizasyon                                                  |
| EIO    | Elektrik Isı Oranı                                                |
| EYO    | Enerjiden Yararlanma Oranı                                        |
| GT     | Gaz Türbini                                                       |
| GTG    | Gaz Türbin Grubu                                                  |
| HRSG   | Isı Geri Kazanımı Buhar Üreticisi (Heat Recovery Steam Generator) |
| HK     | Hava Kompresörü                                                   |
| HV     | Havalandırıcı                                                     |
| IO     | Isı Oranı                                                         |
| IS     | Isıtma Sistemi                                                    |
| KALYAK | Kalorifer Yakıtı                                                  |
| KG     | Kok Gazı                                                          |
| KH     | Kontrol Hacmi                                                     |
| KTRN   | Katran                                                            |
| MOPSA  | Modifiye Edilmiş Üretim Yapısı Analizi Metodu                     |
| OB     | Orta Basınç                                                       |
| P      | Pompa                                                             |
| SPECO  | Spesifik Ekserji Maliyeti Metodu                                  |
| TG     | Türbin Grubu                                                      |
| TK     | Turbo Kırık                                                       |
| YB     | Yüksek Basınç                                                     |
| YFG    | Yüksek Fırın Gazı                                                 |
| YG     | Yoğurturucu                                                       |
| YO     | Yanma Odası                                                       |
| YGZ    | Yanma Gazı                                                        |

## KEKİL LİSTESİ

|            |                                                                                                                 |    |
|------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| şekil 2.1  | Kapalı ve açık sistemin şematik görünümü .....                                                                  | 4  |
| şekil 2.2  | Verilen durum ile çevre kartları arasında çalışan tersinir bir eş makinası.....                                 | 7  |
| şekil 2.3  | Ekserji bileşenleri (Szargut vd., 1998).....                                                                    | 9  |
| şekil 2.4  | Fiziksel ekserji tayini için tersinir bir modül (Kotas,1998) .....                                              | 10 |
| şekil 2.5  | Verilen durum ile çevre arasındaki fiziksel ekserji farkı(Kotas, 1998).....                                     | 10 |
| şekil 2.6  | Verilen iki durum arasındaki fiziksel ekserji farkı(Kotas, 1998).....                                           | 11 |
| şekil 2.7  | Gazlar için ekserji diyagramı(Kotas, 1995) .....                                                                | 12 |
| şekil 3.1  | Eksergoekonominin diğer mühendislik alanlarıyla etkileşimleri ve optimizasyon yöntemi (Tsatsaronis, 1999a)..... | 23 |
| şekil 3.2  | SPECO yönteminin analiz aşaması(Karthikeyan vd. 1999) .....                                                     | 25 |
| şekil 4.1  | Thermoflex benzetim programı genel çalışma prensibi.....                                                        | 32 |
| şekil 4.2  | Thermoflex benzetim programı ilk karıdamaya ekranı.....                                                         | 33 |
| şekil 4.3  | Thermoflex benzetim programı tercihler menüsü .....                                                             | 33 |
| şekil 4.4  | Thermoflex benzetim programı örnek çizim (gaz türbin grubu).....                                                | 34 |
| şekil 4.5  | Thermoflex benzetim programı çizim aşaması kontrolü .....                                                       | 34 |
| şekil 4.6  | Thermoflex benzetim programı çizim aşaması hata mesajı.....                                                     | 35 |
| şekil 4.7  | Thermoflex benzetim programı veri girişi çevre menüsü .....                                                     | 35 |
| şekil 4.8  | Thermoflex benzetim programı ASHRAE İklim Bilgisi .....                                                         | 36 |
| şekil 4.9  | Thermoflex benzetim programı veri girişi örnek hata mesajı.....                                                 | 36 |
| şekil 4.10 | Thermoflex benzetim programı veri giriş aşaması kontrolü .....                                                  | 37 |
| şekil 4.11 | Thermoflex benzetim programı benzetim aşaması bilgi ekranı.....                                                 | 37 |
| şekil 4.12 | Thermoflex benzetim programı birim seçimi.....                                                                  | 38 |
| şekil 4.13 | Thermoflex benzetim programı yardım menüsü .....                                                                | 38 |
| şekil 4.14 | Thermoflex benzetim programı bileşen menüsü .....                                                               | 39 |
| şekil 4.15 | Kuvvet santrali buhar kazanları benzetim aşaması.....                                                           | 39 |
| şekil 4.16 | Kuvvet santrali buhar kazanı benzetim çalışması.....                                                            | 40 |
| şekil 4.17 | Kuvvet santrali atık eş kazanı baca benzetim çalışması.....                                                     | 40 |
| şekil 4.18 | Kuvvet santrali buhar türbini benzetim çalışması.....                                                           | 41 |
| şekil 4.19 | Kuvvet santrali deaerator (havalandırıcı) benzetim çalışması.....                                               | 41 |
| şekil 4.20 | Kuvvet santrali gaz türbinleri benzetim aşaması.....                                                            | 42 |
| şekil 5.1  | Konvansiyonel elektrik üretimi ve kojenerasyon (Çengel ve Boles, 1998).....                                     | 44 |
| şekil 5.2  | Doğalgazlı kojenerasyon ve konvansiyonel elektrik üretimi ile Sankey                                            |    |



|            |                                                                                                      |     |
|------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
|            | diyagramēkullanılarak karıktēđmasē(Koçak ve Gülken, 1998).....                                       | 45  |
| şekil 5.3  | Tersinir ēēmakinesi (Çengel ve Boles, 1998).....                                                     | 46  |
| şekil 5.4  | Türkiyeōde kojenerasyonun kullandıan yakā türüne göre dağ đēmē(Güngör, 2007).....                    | 48  |
| şekil 5.5  | Merkezi tesis kojenerasyon sistemi (Wilkinson ve Barnes 1993).....                                   | 53  |
| şekil 5.6  | Endüstriyel tesis kojenerasyon sistemi (Wilkinson ve Barnes, 1993).....                              | 53  |
| şekil 5.7  | Kojenerasyon sistemleri (Wilkinson ve Barnes, 1993) .....                                            | 54  |
| şekil 5.8  | Tipik bir yēlāk yük eđ risi (Koçak vd., 1998) .....                                                  | 55  |
| şekil 5.9  | Gaz türbini ve gaz motorunun çevre sēcaklā ēna göre verim değ ikimleri (Koçak ve Gülken, 1998) ..... | 56  |
| şekil 5.10 | Türkiyeōde kojenerasyon uygulamalarēnda yēllara göre toplam güç artēē (Güngör, 2007). .....          | 57  |
| şekil 5.11 | Türkiyeōde kojenerasyonun sektörel dağ đēmē(Güngör, 2007).....                                       | 58  |
| şekil 6.1  | Erdemir genel proses akāk kemasē.....                                                                | 66  |
| şekil 6.2  | Kuvvet santrali proses akāk kemasē.....                                                              | 70  |
| şekil 7.1  | BK 101 Buhar kazanēakāk kemasē.....                                                                  | 73  |
| şekil 7.2  | GTG 101 Gaz türbin grubu akāk kemasē.....                                                            | 79  |
| şekil 7.3  | HK101 Hava kompresörü akāk kemasē.....                                                               | 80  |
| şekil 7.4  | YO 101 Yanma odasēakāk kemasē.....                                                                   | 81  |
| şekil 7.5  | GT 101 Gaz türbini akāk kemasē.....                                                                  | 82  |
| şekil 7.6  | AIK 101 Atāk ēēkazanēakāk kemasē.....                                                                | 83  |
| şekil 7.7  | BTG 101 Buhar türbin grubu akāk kemasē.....                                                          | 88  |
| şekil 7.8  | BTG 104 Buhar türbin grubu akāk kemasē.....                                                          | 89  |
| şekil 7.9  | BTG 105 Buhar türbin grubu akāk kemasē.....                                                          | 89  |
| şekil 7.10 | BTG 108 Buhar türbin grubu akāk kemasē.....                                                          | 90  |
| şekil 7.11 | BT 101 Buhar türbini akāk kemasē.....                                                                | 90  |
| şekil 7.12 | BT 105 Ara kademeli buhar türbini akāk kemasē.....                                                   | 92  |
| şekil 7.13 | TK 101 Turbo körük akāk kemasē.....                                                                  | 93  |
| şekil 7.14 | YG 101 Yoğ ukturucu akāk kemasē.....                                                                 | 94  |
| şekil 7.15 | P 101 Pompa akāk kemasē.....                                                                         | 101 |
| şekil 7.16 | HV 101 Havalandēēē(degazör-dearatör) akāk kemasē.....                                                | 104 |
| şekil 7.17 | IS 101 Isēma sistemi akāk kemasē.....                                                                | 105 |
| şekil 7.18 | BDI 101 Basēıç düküirme istasyonu akāk kemasē.....                                                   | 107 |

|            |                                                                       |     |
|------------|-----------------------------------------------------------------------|-----|
| şekil 7.19 | 45 bar Ana buhar tazyēē hattē akēē kemasē.....                        | 109 |
| şekil 7.20 | Proses birimlerinin enerji verimleri.....                             | 116 |
| şekil 7.21 | Proses birimlerinin ekserji verimleri.....                            | 116 |
| şekil 7.22 | Proses birimlerinin ekserji tahripleri.....                           | 117 |
| şekil 7.23 | Proses birimlerinin geliştirme potansiyelleri.....                    | 117 |
| şekil 9.1  | Ekserji tahribinin sēñlandēñmasē.....                                 | 167 |
| şekil 9.2  | Bir enerji dōnüküm sistemi (Tsatsaronis, 1999b; Kelly vd., 2008)..... | 168 |
| şekil 9.3  | GTG 101 Gaz türbin grubu akēē kemasē.....                             | 170 |

## ÇİZELGE LİSTESİ

|              |                                                                                             |     |
|--------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Çizelge 2.1  | Enerji ile ekserjinin karkāṭāṭmasē (Dinçer, 2000a) .....                                    | 8   |
| Çizelge 2.2  | Bazēmaddelerin standart kimyasal ekserjileri (Bejan vd., 1996) .....                        | 13  |
| Çizelge 2.3  | Yatākkān halde bazēproses cihazlarē için ekserji baĵ āntādarē (Bejan vd., 1996). 16         |     |
| Çizelge 3.1  | Yatākkān halde bazēproses birimleri için termoekonomik baĵ āntādar<br>(Bejan vd.,1996)..... | 29  |
| Çizelge 6.1  | Proses akānlarānān özellikleri (Erdemir, 2009).....                                         | 67  |
| Çizelge 7.1  | Havanān bilekimi .....                                                                      | 71  |
| Çizelge 7.2  | Doĵ algazān (DG) bilekimi ve bilekenlerin standart kimyasal ekserjileri.....                | 71  |
| Çizelge 7.3  | Yüksek fān gazānān (YFG) bilekimi ve bilekenlerin standart<br>kimyasal ekserjileri .....    | 72  |
| Çizelge 7.4  | Çelikhane gazānān (ÇG) bilekimi ve bilekenlerin standart kimyasal<br>ekserjileri .....      | 72  |
| Çizelge 7.5  | Kok gazānān (KG) bilekimi ve bilekenlerin standart kimyasal ekserjileri.....                | 72  |
| Çizelge 7.6  | Katranān (KTRN) bilekimi ve bilekenlerin standart kimyasal ekserjileri .....                | 72  |
| Çizelge 7.7  | Yanma gazlarānān termodinamik özellikleri .....                                             | 73  |
| Çizelge 7.8  | BK 101 Buhar kazanēproses akānlarānān özellikleri .....                                     | 74  |
| Çizelge 7.9  | BK 102 Buhar kazanēproses akānlarānān özellikleri .....                                     | 75  |
| Çizelge 7.10 | BK 103 Buhar kazanēproses akānlarānān özellikleri .....                                     | 76  |
| Çizelge 7.11 | BK 104 Buhar kazanēproses akānlarānān özellikleri .....                                     | 77  |
| Çizelge 7.12 | BK 105 Buhar kazanēproses akānlarānān özellikleri .....                                     | 78  |
| Çizelge 7.13 | GTG 101 Gaz türbin grubu proses akānlarānān özellikleri.....                                | 84  |
| Çizelge 7.14 | GTG 102 Gaz türbin grubu proses akānlarānān özellikleri.....                                | 86  |
| Çizelge 7.15 | BTG 101 Buhar türbin grubu proses akānlarānān özellikleri.....                              | 95  |
| Çizelge 7.16 | BTG 102 Buhar türbin grubu proses akānlarānān özellikleri.....                              | 96  |
| Çizelge 7.17 | BTG 104 Buhar türbin grubu proses akānlarānān özellikleri.....                              | 97  |
| Çizelge 7.18 | BTG 106 Ara kademeli buhar türbin grubu proses akānlarānān özellikleri.....                 | 98  |
| Çizelge 7.19 | BTG 107 Ara kademeli buhar türbin grubu proses akānlarānān özellikleri.....                 | 99  |
| Çizelge 7.20 | BTG 108 Buhar türbin grubu proses akānlarānān özellikleri.....                              | 100 |
| Çizelge 7.21 | P 101 Pompasēproses akānlarānān özellikleri.....                                            | 102 |
| Çizelge 7.22 | P 102 Pompasēproses akānlarānān özellikleri.....                                            | 102 |
| Çizelge 7.24 | P 104 Pompasēproses akānlarānān özellikleri.....                                            | 103 |
| Çizelge 7.25 | HV 101 Havalandācēproses akānlarānān özellikleri .....                                      | 106 |

|              |                                                                                     |     |
|--------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Çizelge 7.26 | IS 101 Isıtma sistemi proses akınları özellikleri .....                             | 106 |
| Çizelge 7.27 | BDI 101 Basınç düşürme istasyonu proses akınları özellikleri .....                  | 108 |
| Çizelge 7.28 | BDI 103 Basınç düşürme istasyonu proses akınları özellikleri .....                  | 108 |
| Çizelge 7.29 | 45 bar Ana buhar tıvıyıcısı hattı proses akınları özellikleri .....                 | 110 |
| Çizelge 7.30 | 14 bar Ana buhar tıvıyıcısı hattı proses akınları özellikleri .....                 | 111 |
| Çizelge 8.1  | Kuvvet Santralinde kullanılan yakıtların birim ekserji maliyetleri .....            | 118 |
| Çizelge 8.2  | Kuvvet Santralindeki proses birimlerinin seviyelendirilmik maliyetleri .....        | 119 |
| Çizelge 8.3  | BK 101 Buhar kazanı için termoekonomik analizden elde edilen değ erler ...          | 121 |
| Çizelge 8.4  | BK 102 Buhar kazanı için termoekonomik analizden elde edilen değ erler ...          | 122 |
| Çizelge 8.5  | BK 103 Buhar kazanı için termoekonomik analizden elde edilen değ erler ...          | 123 |
| Çizelge 8.6  | BK 104 Buhar kazanı için termoekonomik analizden elde edilen değ erler ...          | 125 |
| Çizelge 8.7  | BK 105 Buhar kazanı için termoekonomik analizden elde edilen değ erler ...          | 126 |
| Çizelge 8.8  | GTG 101 Gaz türbin grubu için termoekonomik analizden elde edilen değ erler .....   | 130 |
| Çizelge 8.9  | GTG 102 Gaz türbin grubu için termoekonomik analizden elde edilen değ erler .....   | 134 |
| Çizelge 8.10 | BTG 101 Buhar türbin grubu için termoekonomik analizden elde edilen değ erler ..... | 137 |
| Çizelge 8.11 | BTG 102 Buhar türbin grubu için termoekonomik analizden elde edilen değ erler ..... | 140 |
| Çizelge 8.12 | BTG 104 Buhar türbin grubu için termoekonomik analizden elde edilen değ erler ..... | 145 |
| Çizelge 8.13 | BTG 106 Buhar türbin grubu için termoekonomik analizden elde edilen değ erler ..... | 149 |
| Çizelge 8.14 | BTG 107 Buhar türbin grubu için termoekonomik analizden elde edilen değ erler ..... | 151 |
| Çizelge 8.15 | BTG 108 Buhar türbin grubu için termoekonomik analizden elde edilen değ erler ..... | 153 |
| Çizelge 8.16 | P 101 Pompa için termoekonomik analizden elde edilen değ erler .....                | 154 |
| Çizelge 8.17 | P 102 Pompa için termoekonomik analizden elde edilen değ erler .....                | 155 |
| Çizelge 8.18 | P 103 Pompa için termoekonomik analizden elde edilen değ erler .....                | 156 |
| Çizelge 8.19 | P 104 Pompa için termoekonomik analizden elde edilen değ erler .....                | 157 |
| Çizelge 8.20 | HV 101 Havalandırıcı için termoekonomik analizden elde edilen değ erler ..          | 158 |

|              |                                                                                          |     |
|--------------|------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Çizelge 8.21 | IS 101 Isıtma sistemi için termoekonomik analizden elde edilen değerler ....             | 159 |
| Çizelge 8.22 | BDK101 Basınç düşürme istasyonu için termoekonomik analizden elde edilen değerler.....   | 160 |
| Çizelge 8.23 | BDK103 Basınç düşürme istasyonu için termoekonomik analizden elde edilen değerler.....   | 161 |
| Çizelge 8.24 | 45 bar Ana buhar tıkarıyıcı hattı için termoekonomik analizden elde edilen değerler..... | 163 |
| Çizelge 8.25 | 14 bar Ana buhar tıkarıyıcı hattı için termoekonomik analizden elde edilen değerler..... | 164 |
| Çizelge 9.1  | GTG 101 Gaz türbin grubu için proses akışlarındaki özellikleri (Mert vd., 2009).....     | 170 |
| Çizelge 9.2  | GTG 101 Gaz türbin grubu için ileri ekserji analizi bulguları (Mert vd., 2009).....      | 171 |

## ÖNSÖZ

Tez çalışmam boyunca bilgisi, tecrübesi, emeği ve desteğiyle beni yönlendiren değerli hocam Sayın Prof.Dr. Esen Bolat'a sonsuz minnet ve teşekkürlerimi sunarım.

Destekleriyle her an yanımda hissettığım değerli hocalarım Prof. Dr. Salih Dinçer, Prof. Dr. Hüseyin Yâddâr, Prof. Dr. Filiz Karaosmanoğlu, Doç. Dr. Fatma Karaca ve Yrd. Doç. Dr. Semra Özkan'a ve üzerimde emeği olan tüm hocalarıma ve öğretimlerime teşekkürlerimi sunarım.

Ereğli Demir ve Çelik Fabrikaları T.A.Ş. Kuvvet Santrali Müdürü Tamer Adan'a ve tezimin hazırlanmasında tüm gerekli bilgileri paylayan Kuvvet Santrali işletme Mühendisi Barış Sezer'e, emeği geçen ERDEMİR çalışanlarına ve Makine Mühendisi M. Umur Erdönmez'e teşekkürlerimi sunarım.

Zaman ve bilgilerini benimle paylayan değerli arkadaşlarım Kimya Yüksek Mühendisleri Ömer Faruk Dilmaç, Korkut Açkalın, İsmail Kapudere ve diğer tüm arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Manevi destek ve yardımlarıyla yanımda, hayatıma getirdiği neşe ve yeni umutlar için, sevgili ekim Kimya Yüksek Mühendisi Hatice Hande Mert'e candan teşekkür ederim.

Hayatım boyunca sevgi ve desteğiyle daima yanımda olan sevgili aileme, bana verdikleri emek için, sonsuz minnet ve teşekkürlerimi sunarım.

## ÖZET

Enerjinin yoğun olarak kullanıldığē ve/veya değ ikime uĖratıldığē proseslerde, enerji maliyeti proses maliyetinin önemli bir kēsmēnē olmaktadır. Dolayısıyla, bir prosesin toplam maliyetinin minimum düzeyde tutulması termodinamik analizlerin yapılarak prosesin iyileştirilmesi ve enerji maliyetinin düşürülmesi ile sağlanabilir.

Hem konvansiyonel elektrik üretim proseslerinde, hem de elektrik ile eşdeğer enerjinin ortak üretimini amaçlayan ve bu bakımdan ayrı olarak sürdürülen üretim proseslerine göre daha büyük bir birincil enerjiyi tasarruf etme potansiyeline sahip olan kojenerasyon proseslerinde, enerji tüketimi ve enerji kayıpları fazla olduğundan, sistem bileşenlerinin ve tüm sistemin termodinamik analizleri yapılarak verimliliğin artırılması enerji tasarrufu ve buna bağlı olarak enerji maliyetini ve dolayısıyla toplam maliyeti düşürme açısından önem taşımaktadır. Bu tip sistemler, termodinamiğin birinci ve ikinci yasaları kullanılarak analiz edilebilir ve ekserji analizi olarak bilinen bu analiz çalışmaları sonucunda sistemler, verimlilik ve ekonomik açıdan değerlendirilebilir. Elde edilen sonuçlar temelinde, yüksek enerji verimine ve düşük maliyete sahip sistemler tasarlanabilir.

Bu çalışmada, ERDEMİR Ereğli Demir ve Çelik Fabrikasına ait ve her biri 40 MW gücünde iki adet gaz türbini, gaz türbinlerinin egzoz gazlarının değerlendirildiği toplam 160 ton/saat buhar üretim kapasiteli iki adet atık ısı kazanı toplam elektrik üretim gücü 90 MW olan dört adet türbin-jeneratör grubu, hava üfleme kapasiteleri sırasıyla 3600, 4500, 3700 m<sup>3</sup>/dak olan üç adet türbin-körük grubu, nominal iletmede 25 MW gücünde elektrik üretimi yapan bir türbin-jeneratör-körük grubu ve toplam buhar üretim kapasitesi 600 ton/saat olan beş adet buhar kazanından oluşan kojenerasyon ve konvansiyonel elektrik üretim tesisleri incelenmiştir. Çalışma kartları ile ilgili veriler toplanarak, Thermoflex paket programı kullanılarak tesisin benzetimi yapılmıştır. Elde edilen bulgular mevcut proses verileri ile karşılaştırılmıştır. Kütle, enerji, ekserji ve maliyet denklikleri kurularak, sisteme ait her bir birimin ve tüm sistemin ekserji ve termoekonomik analizleri yapılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Enerji analizi, ekserji analizi, termoekonomik analiz

## ABSTRACT

Energy usage is a significant aspect of many processes. For processes where energy is intensively used or/and undergo substantial transformation, the cost of energy represents an important part of overall costs. Thus maintaining total costs at minimum level may be ensured only through conducting thermodynamic analyses and decreasing the energy costs.

Since the energy consumption and energy losses are excessive in conventional electrical energy generation processes and in cogeneration processes - processes developed to produce both electricity and thermal energy generally in the form of steam or hot water, and thus with great potential of saving primary energy in comparison to separate generation processes - conducting thermodynamic analyses for each equipment and for overall plant, and then improving them, is of utmost importance to ensure energy saving and related cost minimization. For these types of systems, thermodynamic analyses based on the first and second law of thermodynamics known as energy and exergy analyses are done to attain high efficiency and cost effectiveness.

In this study, the cogeneration and conventional electrical energy generation plants of ERDEMİR Ereğli Iron and Steel Factory was studied. There are two gas turbines each of 40 MW, two waste heat boilers processing the exhaust gas from gas turbines of 160 ton/h total capacity, four turbine-generator groups of 90 MW total electricity generation power, three turbine-blower groups of 3600, 4500, 3700 m<sup>3</sup>/min capacities, one turbine-generator-blower group of 25 MW nominal electricity generation power, five steam generators of 600 ton/h total steam generation capacity in the system to be studied. The operation conditions were measured, the simulation of the process was done by using the Thermoflex process simulation software, and the results obtained were compared with the existing process data. The mass, energy, exergy and cost balance equations were developed, and the exergy and thermoeconomic analyses were done individually for each main piece of equipment in the system and for overall system.

**Keywords:** Energy analysis, exergy analysis, thermoeconomic analysis



## 1. GİRİŞ

Enerji, ekonomik ve sosyal kalkınmanın temel unsurlarından biri olması ile beraber, yaşamın sürdürülebilmesi için vazgeçilmezdir. Teknolojinin hızla gelişmesinin etkileri, bunlara bağlı olarak artan ihtiyaçlar ve atmosfere salınan emisyon değerleri ile çevresel faktörler bir arada değerlendirildiğinde, enerjinin etkin ve verimli bir şekilde kullanılması gerektiğini ortaya çıkmaktadır.

Enerji kullanımındaki dengeleri olumsuz yönde etkileyen 1970'li yıllardaki enerji krizi sonrasında, temiz ve yenilenebilir enerji kaynakları konusunda daha gerçekçi ve ciddi araştırmalara başlanmıştır; bunun yanı sıra, enerji verimliliklerinin iyileştirilmesi amacıyla da, daha önce kurulmuş ve enerji tüketimi yüksek olan çelikli cihaz ve tesislerin yeniden gözden geçirilmesi gibi çelikli arayışlara girilmiştir. Ayrıca, günümüzde doğalgaz ve petrol kaynaklarının araştırılmasına, kömür ve nükleer enerji üretiminin geliştirilmesine ve bunlara ek olarak, atıkların geri dönüştürülerek enerji kaynağı olarak kullanılması, enerji dönüşüm sistemlerinin geliştirilmesine ve enerji kaynaklarının maksimum verimde kullanılması yönelik yeni yöntemlerin geliştirilmesine devam edilmektedir.

Enerji verimliliği, yaşam kalitemizden ve üretimimizden ödün vermeden enerjiyi tasarruflu kullanmaktır. Tasarruf edilen enerji, en ucuz, en temiz ve öncelikle bakırmamız gereken yerli enerji kaynağıdır. Sürdürülebilir kalkınma hamlelerini yaparken mevcut kaynakları en etkin ve en verimli şekilde kullanmak durumunda olan ülkemiz için, enerji tasarrufu ile sağlanacak kaynak son derece önemli bir paya sahiptir.

Enerji verimliliği analizleriyle, bir sistem başlangıçtan sona kadar en verimli şekilde tasarlanabilir, mevcut sistemler analiz edilip sistemin çalışması gereken optimum şartlar saptanabilir, en az enerji tüketimi ile en fazla ürün elde edilebilir, diğer bir deyişle bir birim ürün elde etmek için daha az enerji tüketen sistemler hayata geçirilebilir, kayıpların, tersinmezliklerin nedenleri ve yerleri saptanabilir, kısaca, mevcut enerji, kaynak ve enerji dönüşüm sistemleri en etkin şekilde kullanılabilir. Termodinamik analiz yöntemleri olan ekserji ve termoekonomik analiz yapılarak enerji verimliliği çalışmaları yürütülebilir.

Sistem halinin çevre haline uzaklığına bir ölçüsü sayılan ekserji, yok edilebilir ve genelde korunmaz. Bir sistemin ekserjisi, sistemin verilen şartlardan çevre ile aynı şartlara getirilmesi sonucu sistemden elde edilebilecek maksimum yararlı iş içinde tanımlanır. Ekserji analizi çalışmaları sonucunda, sistemler verimlilik ve ekonomik açıdan değerlendirilebilir.

Ekserji analizinin ekonomik prensipler ile birleştirilmesiyle, bir enerji dönüşüm sisteminin tasarlanmasında ve işletiminde geleneksel termodinamik analiz veya ekonomik değerlendirme yöntemleri ile elde edilmesi güç olan ama sistemin maliyet etkin tasarlanması ve işletilmesi için gerekli ve önemli olan bilgiler, eksergoekonomik analizden elde edilebilir. Literatürde termoeekonomik analiz de denilebilen, eksergoekonomi, bir enerji dönüşüm sisteminin çevresindeki ve içerisindeki termodinamik verimsizliklerin parasal maliyetler ile ilişkilendirilebildiği tek rasyonel temel olan ekserji kavramına dayanmaktadır. Termoeekonomik analizden elde edilen sonuçlar temelinde yüksek enerji verimine ve düşük maliyete sahip sistemler tasarlanabilir.

Bu tez çalışmasında, ERDEMİR Ereğli Demir ve Çelik Fabrikasının Üretim Yardancı Tesislerinden birisi olan Kuvvet Santrali incelenmiştir. Bu kapsamda, sisteme ait her bir birimin ve tüm sistemin enerji, ekserji ve termoeekonomik analizleri yapılarak, tesisin enerji görünümü ortaya konmuştur.

## 2. ENERJİ VE EKSERJİ KANALIZASYONU

### 2.1 Enerji

Bir sistemin ık yapabilme kapasitesine enerji adı verilir. Enerji; ısı, mekanik, kinetik, potansiyel, elektrik, manyetik, kimyasal, nükleer gibi değ isik biçimler alabilir; bunların tümünün toplamı sistemin toplam enerjisini (**E**) oluşturur. Manyetik, elektrik, yüzey etkileri ve diğer etkiler göz ardı edildiğinde, bir sistemin toplam enerjisi kinetik, potansiyel ve iç enerji toplamından oluşur ve aşağıdaki gibi ifade edilir:

$$\mathbf{E}_{Sistem} = \mathbf{U} + \mathbf{KE} + \mathbf{PE} \quad (2.1)$$

Burada U, iç enerjiyi, KE; kinetik enerjiyi; PE ise potansiyel enerjiyi ifade etmektedir. Sistemin enerji değ ikimi ise şöyle ifade edilir:

$$\Delta \mathbf{E}_{Sistem} = \mathbf{E}_2 - \mathbf{E}_1 = (\mathbf{U}_2 - \mathbf{U}_1) + (\mathbf{KE}_2 - \mathbf{KE}_1) + (\mathbf{PE}_2 - \mathbf{PE}_1) \quad (2.2)$$

Birim kütle için yazıldığında (2.2) denklemi aşağıdaki şekli alır:

$$\Delta \mathbf{e}_{sistem} = \mathbf{e}_2 - \mathbf{e}_1 = (\mathbf{u}_2 - \mathbf{u}_1) + (\mathbf{ke}_2 - \mathbf{ke}_1) + (\mathbf{pe}_2 - \mathbf{pe}_1) \quad (2.3)$$

Sistemin bir referans noktasına göre hareketinden dolayı sahip olduğu enerji kinetik enerji (**KE**) denir ve,

$$\mathbf{KE} = m \frac{\mathbf{v}^2}{2} \quad (2.4)$$

ifadesi ile elde edilir. Birim kütle için yazıldığında;

$$\mathbf{ke} = \frac{\mathbf{v}^2}{2} \quad (2.5)$$

bağ antısı bulunur. Bir sistemin konumundan dolayı sahip olduğu enerjiye potansiyel enerji (**PE**) denir ve ağırlık merkezi herhangi bir referans noktasından **z** yüksekliğini kadar ıkarıldan, yer çekimi ivmesinin **g** olduğu bir yerdeki sistemin potansiyel enerjisi (PE);

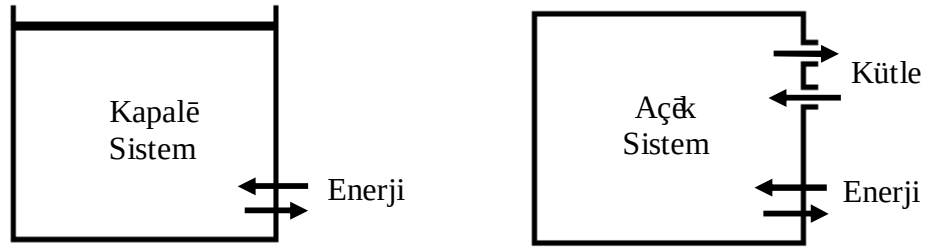
$$\mathbf{PE} = m \mathbf{g} \mathbf{z} \quad (2.6)$$

ifadesi ile elde edilir. Birim kütle için yazıldığında aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$\mathbf{pe} = \mathbf{g} \mathbf{z} \quad (2.7)$$

## 2.2 Enerji Analizi

Termodinamik yoldan incelenmek istenen sınırlar belli bölgeye sistem denir. Sistem çevresinden sistem sınıra adan verilen hayali bir yüzey ile kesin olarak ayrılır. Termodinamik analizde sistemler, belirli bir kütlenin veya belirli bir bölgenin analize esas alınmasına göre kapalı veya açık olarak nitelendirilir (şekil 2.1).



şekil 2.1 Kapalı ve açık sistemin şematik görünümü

Kapalı sistem diğer adıyla kontrol kütlesi sınırlarından kütle geçişi olmayan sistemlerdir. Kapalı sistemlere kütle girişi veya çıkışı olmaz ancak enerji, ısı ve/veya iş şeklinde sistem sınırlarından aktarılabilir. Açık sistem veya kontrol hacmi ise sınırlarından kütle geçişi ve, ısı ve/veya iş şeklinde enerji alıveren olan sistemlerdir. Bu tezde sürekli akışlı açık sistemler incelenecektir. Sürekli akışlı açık sistemlerde sürekli bir akış söz konusudur, birikme olmaz ve kontrol hacminin herhangi bir noktasındaki akışın özellikleri zamana göre değişmez.

- **Sürekli akışlı açık sistemlerde kütlenin korunumu:**

Açık sistemler için kütle denkliği aşağıdaki gibi yazılır:

$$\left( \begin{array}{c} \text{Birim zamanda KH'deki} \\ \text{Birikme hızı} \end{array} \right) = \left( \begin{array}{c} \text{Birim zamanda KH'de} \\ \text{giren toplam kütle} \end{array} \right) - \left( \begin{array}{c} \text{Birim zamanda KH'den} \\ \text{çıkan toplam kütle} \end{array} \right)$$

Bir başka deyişle, kontrol hacmindeki kütle birikiminin zamanla değişimi, kontrol hacmine giren ve kontrol hacminden çıkan kütle akışları arasındaki farka eşittir ve

$$\frac{dm_{KH}}{dt} = \sum \dot{m}_g - \sum \dot{m}_\chi \quad (2.8)$$

ile ifade edilir. Sürekli akışlı açık sistemlerde ise kontrol hacminde kütle birikimi olmayacağından sürekli akışlı açık sistemler için kütlenin korunumu aşağıdaki şekilde yazılır:

$$\sum \dot{m}_g = \sum \dot{m}_\chi \quad (2.9)$$

- **Sürekli akâdē açk sistemlerde enerjinin korunumu:**

Kontrol hacmindeki enerji birikiminin zamanla deĝ ikim kontrol hacmine giren ve kontrol hacminden çkân enerji akânlarē arasēndaki farka ekittir. Kontrol hacmine enerji, ik veya ēē transferiyle girebilir veya çkabilir.

$$\left( \begin{array}{c} \text{Birim zamanda} \\ \text{KH} \hat{H} \text{deki} \\ \text{Enerjinin} \\ \text{birikme h} \hat{z} \bar{e} \end{array} \right) = \left( \begin{array}{c} \text{Birim zamanda} \\ \text{KH} \hat{H} \text{de} \\ \text{ēēve ik olarak} \\ \text{aktar} \hat{d} \text{an enerji} \end{array} \right) + \left( \begin{array}{c} \text{Birim zamanda} \\ \text{KH} \hat{H} \text{den} \\ \text{k} \hat{u} \text{tle ile çk} \hat{a} \text{n} \\ \text{toplam enerji} \end{array} \right) - \left( \begin{array}{c} \text{Birim zamanda} \\ \text{KH} \hat{H} \text{den} \\ \text{k} \hat{u} \text{tle ile giren} \\ \text{toplam enerji} \end{array} \right)$$

Bir bakka ifadeyle,

$$\frac{dE}{dt} = \dot{Q}_{KH} - \dot{W}_{KH} + \sum \dot{m}_g \left( h_g + \frac{v_g^2}{2} + g z_g \right) - \sum \dot{m}_\varphi \left( h_\varphi + \frac{v_\varphi^2}{2} + g z_\varphi \right) \quad (2.10)$$

keklinde yazdē. Sürekli akâdē açk sistemlerde kontrol hacminde birikim olmayacâĝ āndan, sürekli akâdē açk sistemler için ekitlik (2.10) akaĝ ādaki kekilde yazdē:

$$\dot{Q}_{KH} - \dot{W}_{KH} = \sum \dot{m}_\varphi \left( h_\varphi + \frac{V_\varphi^2}{2} + g z_\varphi \right) - \sum \dot{m}_g \left( h_g + \frac{V_g^2}{2} + g z_g \right) \quad (2.11)$$

- **Sürekli akâdē açk sistemlerde entropi denkliĝ i:**

Kontrol hacminin birim zamandaki entropi deĝ ikimi; kontrol hacmi yüzeylerinden ēē geçiki sonucu birim zamanda geçen entropi, kütleye birim zamanda kontrol hacmine takānan net entropiyi ve kontrol hacmi içerisinde tersinmezlikler sonucu birim zamanda üretilen entropinin toplamāna ekittir.

$$\left( \begin{array}{c} \text{Birim zamanda} \\ \text{KH} \hat{H} \text{deki} \\ \text{entropi} \\ \text{deĝ ikimi} \end{array} \right) = \left( \begin{array}{c} \text{KH} \hat{H} \text{de} \\ \text{ēēgeçiki ile} \\ \text{entropi} \\ \text{geçiki} \end{array} \right) + \left( \begin{array}{c} \text{Birim zamanda} \\ \text{KH} \hat{H} \text{ne} \\ \text{k} \hat{u} \text{tleyle aktar} \hat{d} \text{an} \\ \text{entropi} \end{array} \right) - \left( \begin{array}{c} \text{Birim zamanda} \\ \text{KH} \hat{H} \text{den} \\ \text{k} \hat{u} \text{tleyle aktar} \hat{d} \text{an} \\ \text{entropi} \end{array} \right) + \left( \begin{array}{c} \text{KH} \\ \text{içerisindeki} \\ \text{entropi} \\ \text{üretimi} \end{array} \right)$$

Buna göre entropi denkliĝ i akaĝ ādaki gibi yazdē:

$$\frac{dS_{KH}}{dt} = \sum \frac{\dot{Q}_k}{T_k} + \sum \dot{m}_g s_g - \sum \dot{m}_\varphi s_\varphi + S_{ür, KH} \quad (2.12)$$

Bu denklemin sol tarafı kontrol hacmindeki birim zamandaki entropi değişimini, sağ tarafındaki birinci terim ısı geçişi ile gerçekleşen entropi geçişini, ikinci ve üçüncü terim ise birim zamandaki kütleyle aktarılan entropiyi, son terim ise kontrol hacmi içerisindeki entropi üretimini ifade eder. Sistem sınırları içerisinde ısı transferinin olduğu sürekli akışlı açık sistemlerde entropi dengesi,

$$S_{ür,KH} = \sum \dot{m}_c s_c - \sum \dot{m}_g s_g + \sum \frac{\dot{Q}_k}{T_k} \geq 0 \quad (2.13)$$

şeklinde yazılabilir. Denklem (2.13)'den entropinin korunmadığı görülmektedir. Gerçek sistemler için, çevrelerin entropisi girenlerin entropisinden daima büyük olmaktadır. Bu denklik bir giriş ve çıkışa sahip sürekli akışlı sistemler için akıştaki hale indirgenir.

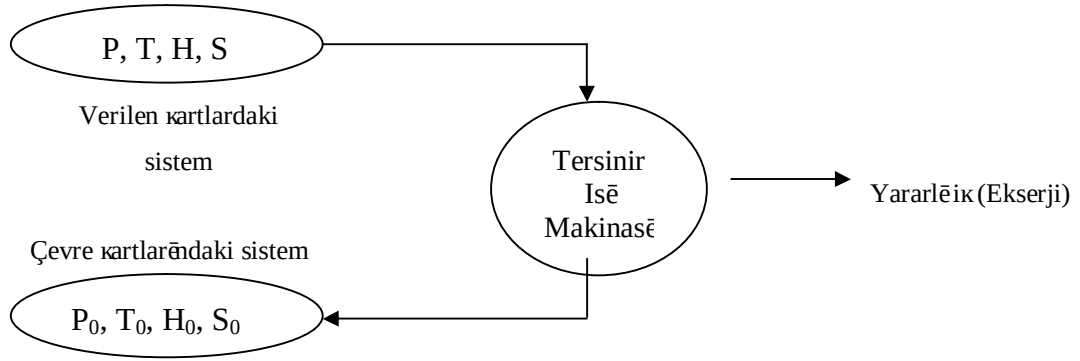
$$S_{ür,KH} = \dot{m}(s_c - s_g) + \sum \frac{\dot{Q}_k}{T_k} \geq 0 \quad (2.14)$$

### 2.3 Ekserji Analizi

Ekserji terimi, yunanca ex (dış) ve argon (kuvvet ve iş) kelimelerinden türetilmiş ve ilk kez 1824 yılında Carnot tarafından kullanılmıştır (Wall, 1988). Ekserji analizi konusundaki çalışmalar ise Gouy ve Stodola ile başlamıştır. Bu yüzyılın başlarında, Jouguet, Lewiss ve Randall, DeBaufre, Darrieus, Keenan, Lerberghe ve Glansdorf gibi bilim adamları termodinamiğin ve ekserji kavramının gelişimine büyük katkı sağlama; 1935'de Bosnjakovic ekserji kavramı sistemlerin termodinamik analizlerinde uygulama çalışmalarını başlatmıştır (Rivero, 1997).

1950'li yılların başlarında, Keller, Keenan, Grassmann, Schmidt, Gibert, Denbigh, Szargut ve Rant, özellikle kimya mühendisliği sistemlerine ilişkin ekserji kavramı uygulamaları yapmıştır. Rant, 1956'da ilk olarak ekserji terimini kullanmıştır (Şekil 2.2) (Szargut vd., 1988). Bu terim, aynı kavram için kullanılan diğer terimlerden farklı olarak, uluslararası bir kabul görmüştür (Kapudere, 2004).

1950'lerin sonu ile 1960'ların başlarından itibaren, alman okulu (Fratzscher, Gruhn, Baehr, Ahrendts, Knoche ve Tsatsaronis), fransız okulu (Gibert ve Le Goff), rus okulu (Brodyanskii, Kalina ve Yantovsky), ingiliz okulu (Gardner, Haywood, Kotas ve Linnhoff) ve amerikan okulu (Gaggioli, Tribus, El-Sayed, Evans, Reistad, Soma, Bejan, Ahern, Sussmann ve Moran) sayesinde, ekserji kavramının kullanımı çok gelişmiştir (Kapudere, 2004).



Şekil 2.2 Verilen durum ile çevre kartları arasında çalışan tersinir bir iş makinası (Çomaklı vd., 2004)

Baehr ise ekserjiyi, verilmik bir ortamda bütün diğer enerji türlerine dönüştürülebilen enerji olarak ifade etmiştir (Arkol, 1985). Daha sonraları ekserji, verilen kartlarda, çevre ile aynı kartlara getirilmesi sonucu bir sistemden elde edilebilecek maksimum ık şeklinde tanımlanmıştır (Kotas, 1995).

Ekserji, sistem halinin çevre haline uzaklığına bir ölçüsüdür. Dolayısıyla, sistemin ve çevrenin birlikte bir özelliğidir. Ancak, çevre belirtildiğinde, ekserjiye sadece sistem özelliklerinin değerleri cinsinden bir değer verilebilir; böylece, ekserji, sistemin ekstensif bir özelliği sayılabilir. Ekserji diğer ekstensif özellikler (kütle, enerji ve entropi) gibi sistemler arasında aktarılabilir (Bejan, 1996).

Ekserji, yok edilebilir ve genelde korunmaz. Bir sistemin çevre ile aniden dengeye geldiği ve ikin hiç elde edilemediği durum, ekserjinin tamamen yok edildiği, sıfır durumudur. Başlangıçta var olan ık yapabilme kapasitesi, anı proseste tamamen harcanır. Ayrıca, böyle anı bir değeri için ık gerekemediği için, ekserjinin değeri negatif olamaz ve en azından sıfırdır (Bejan, 1996).

Enerjinin faydalı kısmı ekserji oluştururken, enerjinin kullanılmayan yani bir başka enerji türüne dönüştürülemeyen kısmı anenerji olarak adlandırılır. Dolayısıyla, bütün enerji türleri için en genel ifade şöyle yazılabilir (Szargut vd., 1988):

$$\text{Enerji} = \text{Ekserji} + \text{Anenerji} \quad (2.15)$$

Elektrik enerjisi ve mekanik enerji gibi enerji türlerinin anenerji bölümü sıfıra eşit iken, çevrenin iç enerjisinin tamamı anenerji olduğu için ekserjisi sıfıra eşit olur (Kotas, 1995). Enerji ve ekserji arasındaki ilişki Çizelge 2.1'de görülmektedir.

Çizelge 2.1 Enerji ile ekserjinin karşılaştırılması (Dinçer, 2000a)

| ENERJİ                                                                                                  | EKSERJİ                                                                                                                           |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Sadece enerji akışına ya da madde akışına parametrelerine bağlı ve çevre parametrelerinden bağımsızdır. | Madde ya da enerji akışına parametrelerine ve çevre parametrelerine bağlıdır.                                                     |
| Sıfırdan farklıdır (enerji Einstein'ın ifadesine göre $mc^2$ 'ye eşittir).                              | Sıfıra eşit olabilir (çevre ile dengede, ölü hal durumunda).                                                                      |
| Bütün prosesler için termodinamiğin birinci yasası uygulanır.                                           | Sadece tersinir prosesler için termodinamiğin birinci yasası uygulanır (tersinmez proseslerde kısmen veya tamamen tahrip edilir). |
| Bütün prosesler için termodinamiğin ikinci yasası enerji dönüşümlerinin yönü ve verimliliği belirler.   | Tersinir prosesler için termodinamiğin ikinci yasası ekserjiyi belirler.                                                          |
| Hareket ya da hareket ettirme kapasitesidir.                                                            | Kısa ya da ısı yapabilme kapasitesidir.                                                                                           |
| Bir prosesin toplam enerjisi her zaman korunur.                                                         | Tersinir bir süreçte ekserji her zaman korunur, fakat tersinmez bir süreçte her zaman yok edilir.                                 |
| Niceliğin bir ölçüsüdür.                                                                                | Niteliğin bir ölçüsüdür.                                                                                                          |

Ekserji analizi için çevrenin tanımlanmasıyla ilgili temel ilke, çevrenin tam bir denge durumunda olmasıdır. Bir madde akışının ekserjisi değerlendirilirken, çevrenin ısı ekserjisinin sıfır olduğu ve serbestçe tanımlanan yaygın çevresel maddelerden oluştuğu kabul edilir. Bu yaygın çevresel maddeler, birbirleriyle denge halindedir ve bunların ölü hal durumunda oldukları söylenir (Arkol, 1985).

Bir sistem ölü halde iken çevresi ile ısı sıcaklığı ve basınçta dengededir. Yani çevre ile ısı ve mekanik ya da termodinamik dengededir. Ayrıca, sistemin çevresine göre kinetik ve potansiyel enerjileri sıfırdır. Sistem ölü halde iken çevresiyle kimyasal reaksiyona giremez. Sistemin ölü hal özellikleri  $P_0$ ,  $T_0$ ,  $h_0$ ,  $u_0$  ve  $S_0$ 'dır. Ölü hal durumunda  $P_0 = 1 \text{ atm}$  (101,325 kPa) ve  $T_0 = 25^\circ\text{C}$  (298,15 K)'dir (Çengel ve Boles, 1998).

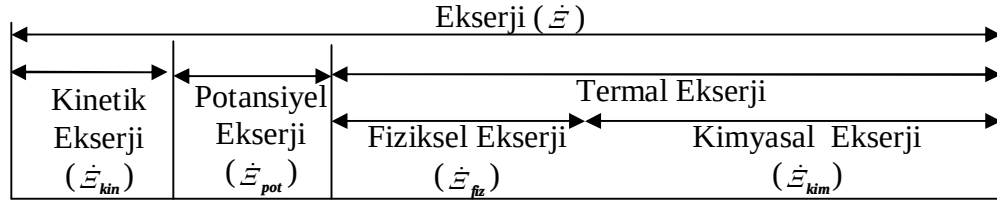
İkinci ölü hal ya da ıyır ölü durumu, sadece mekanik ve ısı dengenin sağlanması gereken bir denge kılıdır. Bu durumda, çevre koordinatlarına göre ısı ve yükseklikte,  $T_0$  ve  $P_0$ 'da, kütsel akış olmaksızın dolayısıyla sabit miktarda madde incelenir (Bejan, 1996).



### 2.3.1 Ekserji Bileşenleri

Nükleer, manyetik, elektrik ve yüzey gerilim etkileri göz ardı edildiğinde, bir sistemin toplam ekserjisi dört bileşenden oluşur (Szargut vd., 1998):

- Kinetik ekserji,  $\dot{\mathcal{E}}_{kin}$
- Potansiyel ekserji,  $\dot{\mathcal{E}}_{pot}$
- Fiziksel ekserji,  $\dot{\mathcal{E}}_{fiz}$
- Kimyasal ekserji,  $\dot{\mathcal{E}}_{kim}$



Şekil 2.3 Ekserji bileşenleri (Szargut vd., 1998).

$$\dot{\mathcal{E}} = \dot{\mathcal{E}}_{kin} + \dot{\mathcal{E}}_{pot} + \dot{\mathcal{E}}_{fiz} + \dot{\mathcal{E}}_{kim} \quad (2.16)$$

#### • Kinetik Ekserji

Kinetik enerji, mekanik enerjinin bir şeklidir ve tamamen ike dönüktelir. Bu nedenle bir sistemin kinetik enerjisinin ekserjisi veya is potansiyeli çevrenin sıcaklık ve basınçına bağımlı olarak kendi kinetik enerjisine ekittir:

$$\dot{\mathcal{E}}_{kin} = 1/2 \dot{V}^2 \quad (2.17)$$

Burada,  $\dot{V}$ , çevre koordinatlarına göre hızı belirtmektedir.

#### • Potansiyel Ekserji

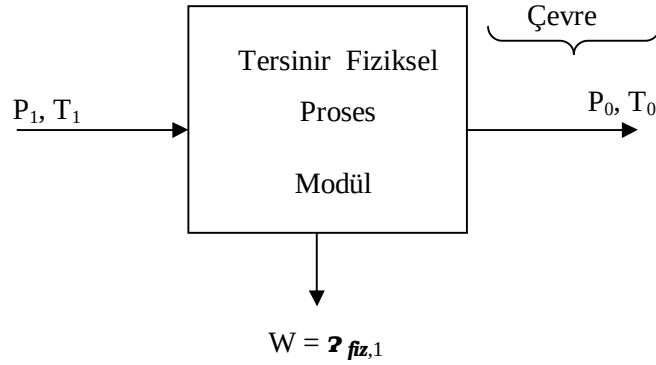
Potansiyel enerji mekanik enerjinin bir şeklidir ve dolayısıyla ike tamamen dönüktelir. Böylece bir sistemin potansiyel enerjisinin ekserjisi, çevrenin sıcaklık ve basınçına bağımlı olarak kendi potansiyel enerjisine ekittir (Çengel ve Boles, 1998):

$$\dot{\mathcal{E}}_{pot} = \dot{m}gz \quad (2.18)$$

Burada,  $z$ , çevre koordinatlarına yüksekliği belirtmektedir.

- **Fiziksel Ekserji**

Çevreye göre hareketsiz olan bir sistemin ( $\mathcal{E}_{kin} = \mathcal{E}_{pot} = 0$ ) fiziksel ekserjisi ( $\mathcal{E}_{fiz}$ ), sistem T sıcaklığı ve P basıncındaki ilk halinden,  $T_0$  sıcaklığı ve  $P_0$  basıncındaki kâil ölü hale geçerken elde edilebilen maksimum teorik yararlı ıktır. Verilen herhangi durumdaki bir sistemin fiziksel ekserjisi şekil 2.4'de gösterilmiştir (Kotas, 1995).

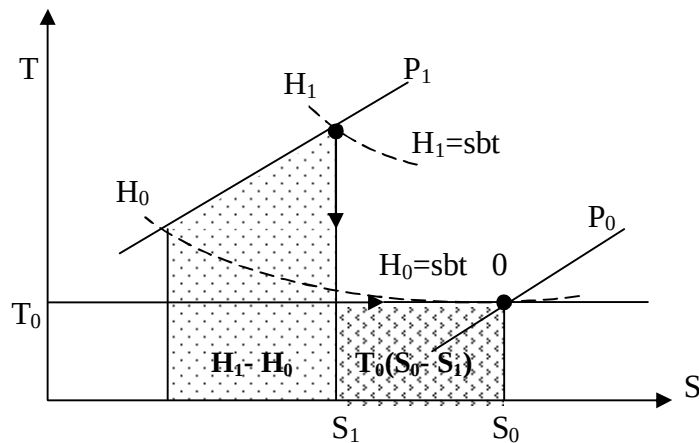


şekil 2.4 Fiziksel ekserji tayini için tersinir bir modül (Kotas,1998)

Herhangi durumdaki bir sistemin fiziksel ekserjisi şekil 2.5'de görüldüğü gibi;

$$\dot{\mathcal{E}}_{fiz} = (\mathbf{H}_1 - \mathbf{H}_0) - T_0(\mathbf{S}_1 - \mathbf{S}_0) \quad (2.19)$$

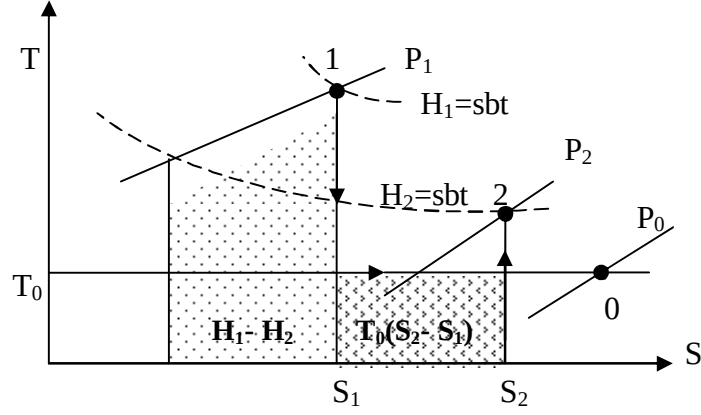
Burada, H ve S sırasıyla, sistemin belirli haldeki entalpi ve entropisi;  $H_0$  ve  $S_0$  ise sırasıyla kâil ölü haldeki entalpi ve entropisidir.



şekil 2.5 Verilen durum ile çevre arasındaki fiziksel ekserji farkı (Kotas, 1998)

Eğer bir sistemde iki durum arasındaki fiziksel ekserji farkı söz konusu ise, (Şekil 2.6) aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$\dot{E}_1 - \dot{E}_2 = (\mathbf{H}_1 - \mathbf{H}_2) - T_o(\mathbf{S}_1 - \mathbf{S}_2) \quad (2.20)$$



Şekil 2.6 Verilen iki durum arasındaki fiziksel ekserji farkı (Kotas, 1998)

Fiziksel ekserji aşağıda gösterildiği gibi, iki bileşenden oluşmaktadır.

$$\dot{E}_{fiz} = \dot{E}^{AT} + \dot{E}^{AP} \quad (2.21)$$

Birinci terim fiziksel ekserjinin sıcak bileşeni olup, sıcaklık farkından dolayı ortaya çıkmaktadır ve aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$\dot{E}^{AT} = \left[ - \int_{T_1}^{T_o} \frac{\mathbf{T} - \mathbf{T}_o}{\mathbf{T}} d\mathbf{h} \right]_P \quad (2.22)$$

İkinci terim ise basınç bileşeni olup, basınç farkından dolayı meydana gelmektedir. Basınç bileşeni izotermal durumda gerçek gazlar ve sınırlar için kullanılır ve aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$\dot{E}^{AP} = (\mathbf{H} - \mathbf{H}_o) - T_o(\mathbf{S} - \mathbf{S}_o) \quad (2.23)$$

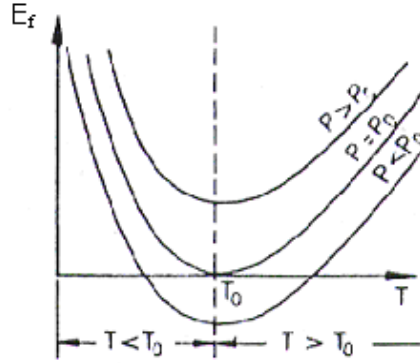
İdeal gazdan oluşan herhangi bir durumda ve bir sistemin fiziksel ekserjisi denklem (2.27) ile hesaplanabilir.

$$\dot{E}_{fiz} = (\mathbf{H} - \mathbf{H}_o) - T_o(\mathbf{S} - \mathbf{S}_o) + \sum \mathbf{R} T_o \ln \mathbf{P} / \mathbf{P}_o \quad (2.24)$$

Katı veya sıvıdan oluşan herhangi bir durumdaki bir sistemin fiziksel ekserjisi (2.25) eşitliği ile hesaplanabilir.

$$\dot{\mathcal{E}}_{fiz} = (\mathbf{H} - \mathbf{H}_o) - T_o(\mathbf{S} - \mathbf{S}_o) + \mathbf{V} \cdot (\mathbf{P} - \mathbf{P}_o) \quad (2.25)$$

Şekil 2.7’de ideal gazlar için fiziksel ekserji diyagramı görülmektedir (Çomaklı vd., 2004).



Şekil 2.7 Gazlar için ekserji diyagramı (Kotas, 1995)

#### • Kimyasal Ekserji

Kimyasal ekserji ( $\mathcal{E}_{kim}$ ), sistem kâşâle ölü halden, çevre ile tam dengede olduğu ölü hale geçerken elde edilebilen maksimum teorik yararlı ıktır (Cornelissen, 1997). Uygun bazê çevre malzemelerinin özellikleri referans alınarak maddelerin standart kimyasal ekserjileri hesaplanmıştır. Standart kimyasal ekserjiler standart çevre sıcaklığına ( $T_o = 25^\circ\text{C}$ ) ve basıncına ( $P_o = 1 \text{ atm}$ ) bağılıdır (Kotas, 1995).

Referans maddeler genellikle üç grupta toplanmıştır;

- ◆ Atmosferdeki gaz bileşenler,
- ◆ Litosferdeki katı maddeler,
- ◆ Hidrosferdeki iyonik ve iyonik olmayan maddeler.

Standart ekserji referans çevrelerinin ortak bir özelliği, havayâ temsil etmeyi amaçlayan ve  $\text{N}_2$ ,  $\text{O}_2$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}_{(g)}$  ve başka gazlar içeren bir gaz fazıdır. Çevre gaz fazında bulunan bir gazın standart kimyasal ekserjisi şöyle hesaplanır: k gazı  $T_o$  ve  $P_o$ ’da girer, çevre ile sadece eş aktarıngösteren sistemde izotermal olarak genişler ve  $T_o$  ve  $x_{ke}P_o$ ’da sistemden çıkar. k gazı  $T_o$  sıcaklığında ve  $P_{ke} = x_{ke}P_o$  kısmi basıncındadır. Buradaki  $x_k^e$ , k gazının çevre gaz fazındaki mol kesridir, e ise çevre için kullanılmaktadır. Maksimum teorik ık genişleme tersinir olduğu zaman elde edilir. Bir mol k gazı bakına, kimyasal ekserji şöyle yazılır (Bejan vd., 1996):

Çizelge 2.2’de bazı maddelerin standart kimyasal ekserji değerleri gösterilmektedir.

Çizelge 2.2 Bazemaddelerin standart kimyasal ekserjileri (Bejan vd., 1996)

| Madde                            | Mol Ağırlığı (kg/kmol) | Standart Kimyasal Ekserji ( $\bar{e}_{kim}$ , kJ/kmol) |
|----------------------------------|------------------------|--------------------------------------------------------|
| N <sub>2(g)</sub>                | 28                     | 720                                                    |
| CO <sub>2(g)</sub>               | 44                     | 19870                                                  |
| O <sub>2(g)</sub>                | 32                     | 3970                                                   |
| C <sub>2</sub> H <sub>6(g)</sub> | 30                     | 1495840                                                |
| CH <sub>4(g)</sub>               | 16                     | 831650                                                 |
| H <sub>2</sub> O <sub>(g)</sub>  | 18                     | 9500                                                   |
| H <sub>2</sub> O <sub>(s)</sub>  | 18                     | 500                                                    |

$$\begin{aligned}\dot{\bar{E}}_{kim,k} &= -RT_o \ln(x_k^e P_o / P_o) \\ &= -RT_o \ln x_k^e\end{aligned}\quad (2.26)$$

Bir gaz karışımının kimyasal ekserjisi ise benzer şekilde bulunabilir:

$$\begin{aligned}\bar{e}_{kim,k} &= -RT_o \ln(x_k^e / x_k) \\ &= \sum x_k \bar{e}_{kim,k} + RT_o \sum x_k \ln x_k^e\end{aligned}\quad (2.27)$$

Yaklaşık olan bir maddenin kimyasal ekserjisinin hesabında, o maddenin, standart kimyasal ekserjilerinin bilinen başka maddelerle tepkimesi ele alınır ve aşağıdaki ifade yazılır:

$$\bar{e}_{kim} = -\Delta G + \left\{ \sum_{\text{ç}} n \bar{e}_{kim} - \sum_g n \bar{e}_{kim} \right\} \quad (2.28)$$

Burada,  $\Delta G$ , tepkimenin Gibbs fonksiyonundaki değeri;  $n$ , maddenin mol sayısı;  $\text{ç}$ , ürün ve  $g$  ise giren için kullanılır (Bejan vd., 1996).

### 2.3.2 Kapalı Sistemler İçin Ekserji Denkliği

Enerji ve entropi denklemlerinin birleştirilmesiyle kapalı bir sistem için ekserji denkliği aşağıdaki yolla elde edilir.

$$U_2 - U_1 + (KE_2 - KE_1) + (PE_2 - PE_1) = \int_1^2 \delta Q - W \quad (2.29)$$

$$S_2 - S_1 = \int_1^2 \left( \frac{\delta Q}{T_s} \right) + S_{\text{ür}} \quad (2.30)$$

Burada,  $W$  iki,  $Q$  sistem ile çevresi arasındaki iletkenlikler sonucu oluşan entropi üretimini,  $T_s$  iletkenlik meydana geldiği sıcaklığı ifade etmektedir. Entropi denkliğinin  $T_o$  ile çarpılması ve sonucun enerji denkliğinden çıkarılmasıyla aşağıdaki ifade elde edilir:

$$U_2 - U_1 + (KE_2 - KE_1) + (PE_2 - PE_1) - T_o(S_2 - S_1) = \int_1^2 \delta Q - T_o \int_1^2 \left( \frac{\partial Q}{T_s} \right) - W - T_o S_{\text{ür}} \quad (2.31)$$

$\delta Q$  ile ilgili terimler bir tarafa toplanır; ilgili terimler yerine  $\Xi_2 - \Xi_1$  yerleştirilir.

$$(\Xi_2 - \Xi_1) - p_o(V_2 - V_1) = \int_1^2 \left( 1 - \frac{T_o}{T_s} \right) \delta Q - W - T_o S_{\text{ür}} \quad (2.32)$$

Bu denklem yeniden düzenlendiğinde; kapalı sistem için ekserji dengesi aşağıdaki gibi ifade edilir:

$$\underbrace{(\Xi_2 - \Xi_1)}_{\text{Ekserji Değişimi}} = \underbrace{\int_1^2 \left( 1 - \frac{T_o}{T_s} \right) \delta Q - [W - p_o(V_2 - V_1)]}_{\text{Ekserji Aktarımı}} - \underbrace{T_o S_{\text{ür}}}_{\text{Ekserji Tahribi}} \quad (2.33)$$

### 2.3.3 Sürekli Akadlı Açık Sistemler İçin Ekserji Denkliği

Tersinmez süreçlerde ekserji korunmaz ve daima yok edilir. Buna göre açık sistemler için ekserji denkliği;

$$\underbrace{\frac{d\Xi_{KH}}{dt}}_{\text{Ekserji Değişimi}} = \underbrace{\sum_k 1 - \left( \frac{T_o}{T_k} \right) \dot{Q}_k - \left( \dot{W}_{KH} - p_o \frac{dV_{KH}}{dt} \right)}_{\text{Ekserji Aktarımı}} + \underbrace{\sum \dot{m}_g \cdot e_g - \sum \dot{m}_\phi \cdot e_\phi - T_o \cdot S_{\text{ür}}}_{\text{Ekserji Tahribi}} \quad (2.34)$$

ile ifade edilir. Bu denklemdeki  $d\Xi_{KH}/dt$  ve  $dV_{KH}/dt$  sırasıyla kontrol hacminin ekserji ve hacim değişimi şeklinde tanımlanır. Sürekli akadlı açık sistemlerde  $d\Xi_{KH}/dt = 0$  ve  $dV_{KH}/dt = 0$  olacağından Eşitlik (2.35) aşağıdaki gibi yazılır:

$$\sum \dot{m}_g \cdot e_g - \sum \dot{m}_\phi \cdot e_\phi - T_o \cdot S_{\text{ür}} = \dot{W}_{KH} - \sum_k 1 - \left( \frac{T_o}{T_k} \right) \dot{Q}_k \quad (2.35)$$

- **İk ekserjisi**

İk kolayca diğ er bir enerji dönüktürülebildiğ ine göre, ikin tamamē ekserjisine ekittir.

$$\dot{\mathcal{E}}_{ik} = \dot{W} \quad (2.36)$$

- **Isē Ekserjisi**

Bir ēē makinasē (şekil 2.1), T sēaclēğ ānda bir ēē kaynağ āndan Q kadar ēē alē, W kadar ik yapar ve T<sub>0</sub> sēaclēğ āndaki çevreye Q<sub>0</sub> kadar ēē verir. Bosnjakovic'in tanēmāna göre, bu proses tersinir çevrim olduğ unda, elde edilen W ik miktarē Q ēēānēn ekserjisine ekit olur (Arđkol, 1985). Herhangi bir T sēaclēğ āndaki Q ēēānēn ekserjisi akāğ ādaki şekilde ifade edilir:

$$\dot{\mathcal{E}}_{ēē} = \dot{Q} \cdot (1 - T_0 / T) \quad (2.37)$$

### 2.3.4 Ekipman Bazānda Ekserji Denkliğ i

Bir k ekipmanē için ve tüm sistem için ekserji denkliğ i akāğ ādaki gibi yazāē:

$$\dot{\mathcal{E}}_{F,k} = \dot{\mathcal{E}}_{P,k} + \dot{\mathcal{E}}_{L,k} + \dot{\mathcal{E}}_{D,k} \quad (2.38)$$

$$\dot{\mathcal{E}}_{F,tot} = \dot{\mathcal{E}}_{P,tot} + \dot{\mathcal{E}}_{L,tot} + \sum_k \dot{\mathcal{E}}_{D,k} \quad (2.39)$$

Burada F, P, L, ve D indisleri sēasēyla yakā, ürün, kayēp ve tahribi ifade etmektedir. Toplam yakā ekserjisi; sisteme giren akēmnlārēn ekserjisini, toplam ürün ekserjisi; sistemden çākan akēmnlārēn ekserjisini, toplam ekserji kaybē sistemden çevreye ēē olarak aktarādan ve sēaclāk farkāndan dolayē termodinamik olarak kaybedilen toplam ekserjiyi, toplam ekserji tahribi ise sistem sēmālarē içerisinde tersinmezliklerden kaynaklanan toplam ekserji tahribini ifade etmektedir. İncelenen bir sistem için veya bir k sistem birimi, için; sistemin veya birimin yüzey sēaclēğ ānē çevre sēaclēğ āna ekit olduğ u kabul edilirse; Isē aktarēmāndan kaynaklanan tüm kayēplar ekserji tahribi teriminin içerisinde yeralē. Bir başka deyişle, sistemden çevreye ēē aktarēmēyla gerçekleēen kayēplar, ekserji tahribi içerisinde yeralē.

$$\dot{\mathcal{E}}_{L,k} = 0 \quad (2.40)$$

$$\dot{\mathcal{E}}_{D,k} = T_0 \dot{S}_{gen,k} \quad (2.41)$$

Yatākkān halde bazē spesifik proses cihazlarē için ekserji bağ āntālarē Çizelge 2.3 ile verilmektedir (Bejan vd., 1996).

Çizelge 2.3 Yatık halde bazı proses cihazları için ekserji bakiyetleri (Bejan vd., 1996).

| Proses Cihazı                 | Şematik Görünüm | Ürün Ekserjisi, $\dot{E}_p$                         | Yakıt Ekserjisi, $\dot{E}_F$                        |
|-------------------------------|-----------------|-----------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|
| Kompresör, pompa veya fan     |                 | $\dot{E}_2 - \dot{E}_1$                             | $\dot{E}_3$                                         |
| Türbin veya Genleştirici      |                 | $\dot{E}_4$                                         | $\dot{E}_1 - \dot{E}_2 - \dot{E}_3$                 |
| Isı Değiştirici               |                 | $\dot{E}_2 - \dot{E}_1$                             | $\dot{E}_3 - \dot{E}_4$                             |
| Karıştırıcı                   |                 | $\dot{E}_3$                                         | $\dot{E}_1 + \dot{E}_2$                             |
| Gazlaştırıcı veya Yanma Odası |                 | $\dot{E}_3$                                         | $\dot{E}_1 + \dot{E}_2$                             |
| Kazan                         |                 | $(\dot{E}_6 - \dot{E}_5) + (\dot{E}_8 - \dot{E}_7)$ | $(\dot{E}_1 + \dot{E}_2) - (\dot{E}_3 + \dot{E}_4)$ |

\* Isı değ iştiricinin kullan ılan amac ın ın soğ uk ak ın ı ışı t ın ın ın kabul edilmiştir.



### 2.3.5 Ekserji Performans Kriterleri

Sistemlerdeki verimliliğin göstergesi olan performansın, iyilik derecesi doğrudan enerji girdisini etkilemektedir. Bundan dolayı enerji sistemleri için çekiqli performans kriterleri geliştirilmik ve sistemlerin iyilik dereceleri bu kriterlere göre değ erlendirilmiktir.

Isıl sistemlerin ekserji analizi ile birlikte, çekiqli araştırmacılar tarafından termodinamiğin ikinci yasasına dayalı değ işik isimlerde yeni performans kriterleri geliştirilmiktir. Bunlar, rasyonel verim, tersinmezlik oranı ve geliştirme potansiyelidir (Szargut vd., 1988).

- **Rasyonel verim**

Bir sistemden alınan veya arzu edilen ekserjinin sisteme verilen ekserjiye oranı rasyonel verim olarak bilinir. Baska bir ifadeyle, ürünlerin ekserjisinin yakıtların ekserjisine oranı rasyonel verimdir.

$$\sum \Delta \dot{E}_g = \sum \Delta \dot{E}_\zeta + \dot{E}_D \quad (2.42)$$

şeklinde verilmektedir. Burada  $\sum \Delta \dot{E}_g$ , sisteme giren toplam ekserji transferini,  $\sum \Delta \dot{E}_\zeta$ , sistemden alınan toplam ekserji çıktıını ve  $\dot{E}_D$  sistemin toplam tersinmezliğini ifade etmektedir. Bu ekserji dengesinden hareketle rasyonel verim aşağı daki gibi hesaplanır:

$$\varepsilon = \sum \Delta \dot{E}_\zeta / \sum \Delta \dot{E}_g \quad (2.43)$$

veya

$$\varepsilon = 1 - \dot{E}_D / \sum \Delta \dot{E}_g \quad (2.44)$$

$$\varepsilon_k = \frac{\dot{E}_{P,k}}{\dot{E}_{F,k}} = 1 - \frac{\dot{E}_{D,k}}{\dot{E}_{F,k}} \quad (2.45)$$

- **Tersinmezlik oranı**

Tersinmezlik oranı incelenen proses cihazındaki ekserji tahribinin sisteme giren toplam ekserjiye oranıdır. Tüm sistem için ise şöyle ifade edilir; tüm sistemde meydana gelen ekserji tahribinin sisteme giren toplam ekserjiye oranıdır. Tersinmezlik oranına aynı zamanda kayıp ekserji oranı da denilmektedir:

$$y = \sum_k \dot{E}_{D_k} / \sum \Delta \dot{E}_{F_i} \quad (2.46)$$

- **Ekserji Tahrip Oranē**

Sistemdeki her bir elemanē tersinmezliĝinin sistemin toplam tersinmezliĝine oranēna ekserji tahrip oranēdenir ve aĝaĝdaki gibi gōsterilir:

$$y_K^* = \sum_K \dot{\mathcal{E}}_{D_K} / \dot{\mathcal{E}}_D \quad (2.47)$$

Tersinmezlik oranlarē kullanarak bir sistemin benzer veya farklı elemanlarē arasında performans karĝılaĝtırılmasē yapılabilir. Bu sayede her bir elemanē ne ölçüde iyileĝtirilebileceĝine karar verme olanaĝ ēsaĝ lamaktadır.

- **Geliĝtirme potansiyeli**

Geliĝtirme potansiyeli, bir sistemin iyileĝtirilmesinin ne miktarda ve ne kadar kolay yapılabilceĝinin bir ölçüsüdür ve üç kēşāndan oluşur: sistemin geliĝtirilebilme kolaylıĝēnē belirleyen baĝlı potansiyel ( $1 - \varepsilon$ ), sistemin geliĝtirilebilme derecesinin bir ölçüsü olan mutlak potansiyel ( $\dot{\mathcal{E}}_D$ ), çevreye atılan ekserjik akēnlarēn azaltılmasē ile sistemin geliĝtirilebilme derecesini gōsteren çevresel potansiyel ( $\sum \dot{\mathcal{E}}_A$ ).

$$\dot{G}_{pot} = \dot{\mathcal{E}}_D(1 - \varepsilon) + \sum \dot{\mathcal{E}}_A \quad (2.48)$$

### 3. TERMOEKONOMİK ANALİZ

#### 3.1 Ekonomik Analiz

Ekonomik analiz;

- i. Yatırım maliyetlerinin kestirilmesi
- ii. Ürün maliyetinin, enflasyon, fiyat artışı fiyat dengelenmesi, akıma, vergiler ve tesis ekonomisine dayalı gerçekçi kabuller temelinde hesaplanması
- iii. Çekitli yatırımların kar analizinin yapılması

amacıyla uygulanır.

- **Paranın Zaman Değeri**

İkimdiki zamanda sahip olunan belirli miktardaki para, bir süre sonra sahip olunacak aynı miktardaki paradan daha çok değerlidir. çünkü bugünkü para yatırıma dönüştürülebilmekte ve enflasyona maruz kalmamaktadır. Bu nedenle belirli bir proje çerçevesinde, paranın zaman içinde yapacağı ve ya yapması olduğı hareketler önem kazanmaktadır.

- **Paranın Gelecekteki Değeri**

P miktardaki bir para, n dönem için, i bileşik faiz oranı ile bir hesaba yatırıldığında, yatırdan paranın n dönem sonra gelecekteki F değeri;

$$F = P(1 + i)^n \quad (3.1)$$

ekitli i ile hesaplanabilir (Bejan vd., 1996).

- **Birleşik Faiz Frekansı**

Mühendislik sistemlerinin ekonomik analizlerinde dönem süresi olarak genellikle yıl kullanılır. Eşer bileşik faiz bir yıl içerisinde p defa gerçekleşiyor ise, P miktardaki bir paranın n yıl sonra gelecekteki F değeri;

$$F = P \left[ 1 + \left( \frac{i}{p} \right) \right]^{np} \quad (3.2)$$

şeklinde hesaplanır. Bu denklemdeki np toplam dönem sayısı ve i/p ise dönem başına faiz oranını göstermektedir. Bu ekitlikteki i terimi nominal faiz oranıdır. Bileşik faizin bir yıl

içerisinde p defa yapılmak yerine bir yıl sonunda bir defa yapıldığı eşyâlık faiz oranına "efektif faiz oranı" denir. Nominal faiz oranından daha yüksek olan efektif faiz oranı

$$i_{eff} = \left(1 + \frac{i}{P}\right)^P - 1 \quad (3.3)$$

ekitliyle hesaplanabilir. Bu durumda, denklem (3.2)

$$F = P(1 + i_{eff})^n \quad (3.4)$$

haline indirgenir (Bejan vd., 1996).

- **Paranın Bugünkü Değeri ve Bugünkü Değer Faktörü**

Ekonomik analizlerde, gelecek zaman içinde belirli dönemlerde yapılacak olan harcamalar ve kazanılacak olan gelirlerin kimdiki değerlerinin bilinmesine sâlıkla gereksinim duyulur. Gelecekteki belli bir F miktar parayı belirli bir faiz oranıyla ulaşılabilecek P bugünkü değeri, (3.5) denklemini ile bulunur (Bejan vd., 1996):

$$P = F \cdot \frac{1}{(1 + i_{eff})^n} \quad (3.5)$$

- **İlk Yatırım Maliyeti Geri Kazanım Faktörü (CRF)**

Bir yıllık ödemenin bugünkü değeri (A); belli bir dönem sonundaki yıllık ödeme toplamı, yıllık ödeme başlangıcında efektif faiz oranıyla yatırımlık olması durumundaki değeri olarak ifade edilir ve

$$\frac{P}{A} = \frac{(1 + i_{eff})^n - 1}{i_{eff} \cdot (1 + i_{eff})^n} \quad (3.6)$$

ifadesinden hesaplanır. Bu denklemin sağ tarafı üniform seri bugünkü değer faktörü (Uniform Series Present Worth Factor, USPWF) olarak tanımlanır. Bu değer tersine de ilk yatırım maliyetinin geri kazanım faktörü (Capital Recovery Factor, CRF) denir ve

$$CRF = \frac{A}{P} = \frac{i_{eff} \cdot (1 + i_{eff})^n}{(1 + i_{eff})^n - 1} \quad (3.7)$$

şeklinde gösterilir (Bejan vd., 1996):

- **Enflasyon, Eskalasyon ve Seviyelendirme**

Bir mal veya hizmetin kalitesinde herhangi bir artış olmadan (ya da aynı oranda bir artışın olmadı), parasal değeriindeki artışa **enflasyon** denir. Enflasyon var ise, maliyetler sürekli olarak değeri ikir.

Zaman içerisinde kaynakların tükenmesi ve/veya azalması, teknolojik gelişim, talep artış- azalış gibi nedenlerden dolayı herhangi bir harcamada meydana gelen değeri ikime **eskalasyon** denir.

Gerçek eskalasyon değeri ( $r_n$ ) enflasyondan bağımsızken; maliyetlerdeki yıllık değeri ikim miktarı olan nominal (görünen) eskalasyon değeri ( $r_n$ ) hem gerçek eskalasyon değeri inden hem de enflasyondan etkilenmektedir.

- **Seviyelendirme ve Ana Ürün Maliyeti**

Herhangi bir harcamaya n yıl boyunca maliyet eskalasyonu uygulandı, herhangi bir yılda uygulanan eskalasyonun bir önceki yıldaki eskalasyondan  $(1+r_n)$  kat daha fazla olacağı, uniform olmayan bir seri elde edilir. Sabit eskalasyonlu seviyelendirme faktörü (**CELF: Constant Escalation Levelization Factor**) olarak bilinen bu terim; ilk yılın bakiındaki harcoma miktarı ( $PW_0$ ) ile artış seviyelendirilmiş değeri olarak kabul edilen ekiti bir yıllık ödeme arasındaki ilişkiyi ifade etmek için kullanılmaktadır. Hem efektif faiz oranı hem de nominal eskalasyon değeri ne bağılı olan CELF;

$$k = (1 + r_n) / (1 + i_{eff}) \quad (3.8)$$

kullanılarak,

$$\frac{A}{P_0} = CELF = CRF \frac{k(1 - k^n)}{1 - k} \quad (3.9)$$

ekitli inden hesaplanır (Bejan vd., 1996).

### 3.2 Termoekonomik Analiz

Termoekonomi; termodinamik analizlerin (ekserji analizi) ekonomik prensipler ile birleştirilmesiyle, bir enerji dönüşüm sisteminin tasarılmasında ve işletiminde geleneksel termodinamik analiz veya ekonomik değeri erlendirme metotları ile elde edilmesi güç olan, sistemin maliyet etkin tasarılması ve işletilmesi için gerekli ve önemli bilgiler sağlayan termal

bilimlerin önemli bir dalıdır. Termoeconomik analiz temelinde;

- Ekserji analizi
- Ekonomik analiz
- Ekserji maliyetlendirmesi
- Termoeconomik değerlendirme

aşamalarından oluşmaktadır. Termoeconomik analiz başlıca olarak aşağıdaki hedefleri amaçlar:

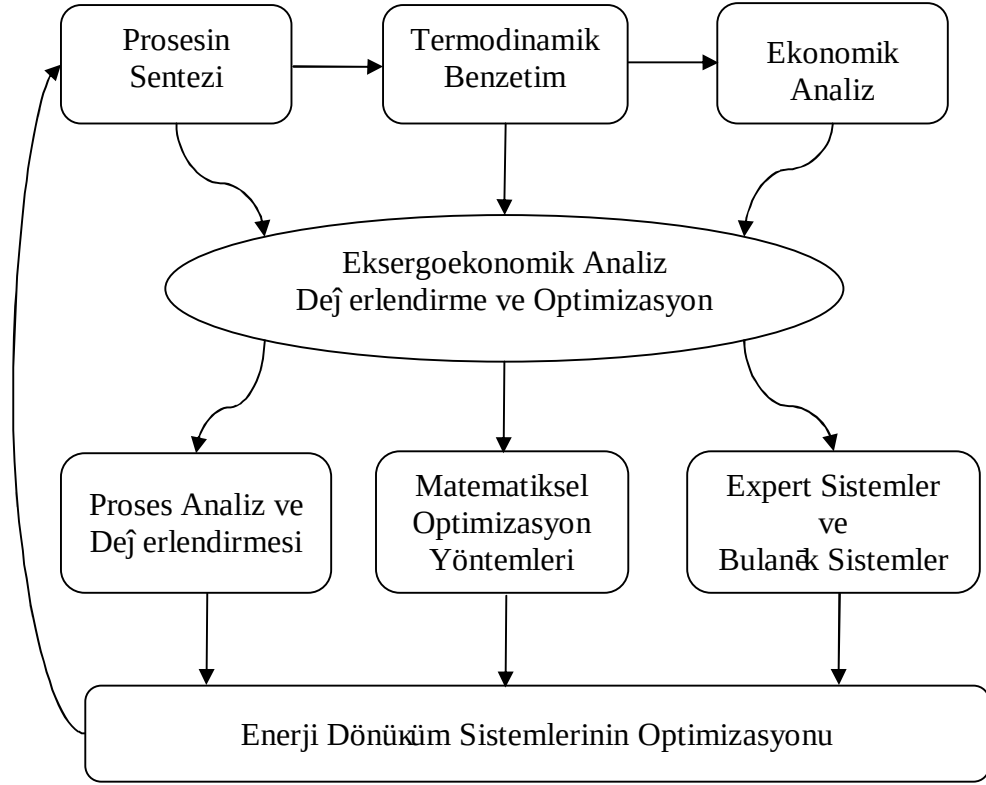
- Bir veya daha ürüne sahip bir sistem tarafından üretilmiş her bir ürünün ayrı ayrı maliyetinin hesaplanması
- Tüm sistemin veya belli bir birimin optimizasyonu
- Proses maliyet oluşumunu ve maliyet akışının anlaşılması

Termoeconomik analiz, iş sistemlere ilişkin yapıdan sentez, maliyet analizi ve simülasyon çalışmalarında elde edilen sonuçların değerlendirilmesinde, iş sistemlerin optimizasyonunda ve yapay zeka teknikleri kullanılarak tasarımı ve işletilmesinin geliştirilmesinde gerekli olan bilgileri sağlar (Bejan vd., 1996; Tsatsaronis ve Czesla, 2002)

### 3.3 Termoeconomik ve Eksergoekonomik

Eksergoekonomik, maliyet etkin bir sistem tasarımı ve işletilmesinde sıradan enerji veya ekserji analizi ve ekonomik analiz ile elde edilemeyen bilgilerin sağlandığı sistem birimleri seviyesinde ve termodinamik değerlendirmeler temelinde ekserji analizi ile ekonomik prensiplerin birleştirildiği mühendislik dalıdır (Tsatsaronis ve Czesla, 2002). Eksergoekonominin diğer mühendislik alanları ile etkileimleri ve optimizasyon yöntemi Şekil 3.1'de verilmektedir (Tsatsaronis, 1999a).

Eksergoekonomik, bir enerji dönüşüm sisteminin çevresindeki ve içerisindeki termodinamik verimsizliklerin parasal maliyetler ile ilişkilendirilebildiği tek rasyonel temel olan ekserji kavramına dayanmaktadır. Bu yaklaşıma, Tsatsaronis (1999a) tarafından, ekserji maliyetlendirmesi denmektedir. Ekserji maliyetlendirmesine eksergoekonomik de denilmektedir. Bazı durumlarda, farklı bir terim olan "termoeconomik" terimi de eksergoekonomik yerine kullanılmaktadır



Şekil 3.1 Eksergoekonominin diğer mühendislik alanlarıyla etkileşimleri ve optimizasyon yöntemi (Tsatsaronis, 1999a)

Daha genel olan bu ifade her türlü termodinamik analiz ile ekonomik analizin birleştirilmesini kapsar. Ekserji analizinin bir termodinamik analiz yöntemi olması nedeniyle, eksergoekonomi terimi yerine çoğu yerde termoekonomi teriminin de kullanıldığını görülmektedir. Ancak bunun tam tersi kullanılmadığı da doğrudur çünkü termoekonomi daha geniş kapsamlı bir konudur (Bejan vd., 1996; Tsatsaronis ve Czesla, 2002).

### 3.4 Termoekonomik Analiz Yöntemleri

Bir sistem biriminin girişinde ekserji maliyeti biliniyorsa ve çıkışta birden fazla çıkan ekserji akımı varsa, çıkıştaki ekserji akımının maliyetini hesaplamak için maliyet dengesi tek bakışa yeterli değildir. Bu durumda, çıkan ekserji akım sayısı  $m$  ise,  $m-1$  kadar ek yardımcı denkleme ihtiyaç vardır. Bu denklemlerin belirlenmesi için bir takım yaklaşımlar geliştirilmiştir. Bu yaklaşımlar genel olarak iki grupta toplanabilir (Ballé 2008). Literatürde, verimleri ve yardımcı maliyet denklemlerini oluşturmak için farklı yaklaşımlar önerilmiştir (Lazzaretto ve Tsatsaronis, 2006). Bu yaklaşımlar, iki grup altında sınıflandırılabilir:

- Ürün akēm maliyetlerinin hesaplanmasē sistemlerin ve birimlerinin deēerlendirilmesini ve enerji sistemlerinin iteratif optimizasyonunu amaçlayan eksergoekonomi temelli yaklakēmlar,
- Tüm sistemin optimizasyonunu ve marjinal maliyetlerin hesaplanmasē amaçlayan Langran temelli yaklakēmlar,

Literatürde, termoekonomik analiz için kullanēan bir çok model bulunmaktadır (Lazzaretto ve Tsatsaronis, 2006):

- Ekserji Ekonomik Yaklakēm (Exergy Economic Approach; EEA) (Gaggioli ve Wepfer, 1980):
- Termoekonomik Fonksiyonel Analiz (Thermoeconomic Functional Analysis; TFA) (Frangopoulos, 1983)
- İlk Eksergoekonomik Yaklakēm (First Exergoeconomic Approach; FEA) (Tsatsaronis ve Winhold, 1985)
- Ekserjik Maliyet Teorisi (Exergetic Cost Theory, ECT) (Valero vd., 1986)
- Son Giren İlk Çakar Yaklakēmē (Last-In-First-Out Approach; LIFOA) (Tsatsaronis ve Lin, 1990)
- Yapēsal Analiz Yaklakēmē (Structural Analysis Approach; SAA) (Valero vd., 1992)
- Mühendislik Fonksiyonel Analiz (Engineering Functional Analysis; EFA) (Von Spakovsky ve Evans, 1993)
- Ekserji, Maliyet, Enerji ve Kütle Analizi (Exergy-Cost-Energy-Mass Analysis EXCEM) (Rosen ve Dincer, 2003b)
- Modifiye Üretken Yapē Analizi (Modified Productive Structure Analysis; MOPSA) (Kwak vd., 2004)
- Özgöl Ekserji Maliyetlendirmesi (Specific Exergy Costing; SPECO) (Lazzaretto ve Tsatsaronis, 2006)

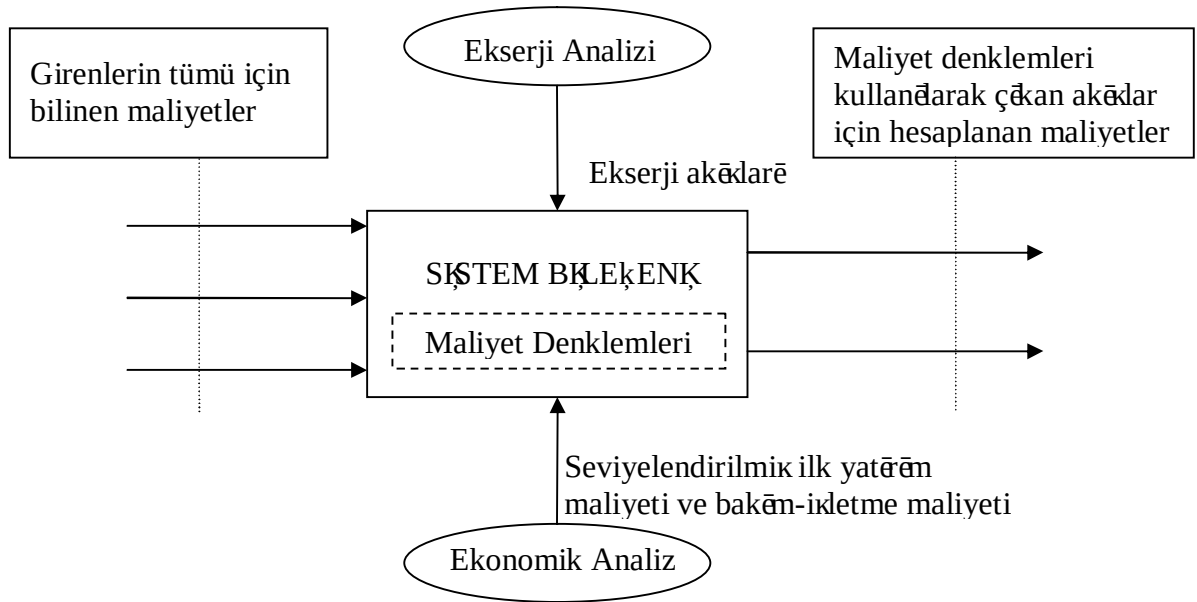
Bu tez çalēmasēnda, SPECO yöntemine göre eksergoekonomik analiz yapēlacaktē. SPECO Yöntemi Lazzaretto ve Tsatsaronis (2006) tarafēndan geliētirilmik bir eksergoekonomik analiz yöntemidir ve üç adēndan oluşur:



- Sisteme ait tüm birimlerin giriş ve çıkışlarındaki ekserji akımı değerlerinin saptanması
- Yakıt ve ürün olarak ifade edilen ekserji akımlarının her bir sistem için ayrı ayrı belirlenmesi,
- Bulunan ekserji akımındaki değerlerine ait maliyetlerin hesaplanması

İlk iki adımdaki hesaplamalar, eksergoekonomik modele bağlı olarak ekserji analizi temelinde yapılır. Ekserji analizi tamamlandıktan sonra, üçüncü adım olan maliyetlerin hesabına geçilir. Sisteme giren ve sistemden çıkan madde veya enerji akımlarıyla eş ve ik yoluyla meydana gelen ekserji değerleri (Bejan vd., 1996) maliyet akımına dönüştürülür.

SPECO yönteminin analiz şeması Şekil 3.2'de gösterilmektedir:



Şekil 3.2 SPECO yönteminin analiz şeması (Karthikeyan vd. 1999)

### 3.5 Termoekonominin Temelleri

Yatırım halindeki bir sistem için maliyet denkliği aşağıdaki gibi kurulabilir. Burada  $\dot{C}$ , bir ekserji akımının (madde, ısı, eş transferi ekserjisi) maliyetini ifade ederken,  $\dot{Z}$  terimi geriye kalan tüm maliyetleri içerir:

$$\dot{C}_{P,tot} = \dot{C}_{F,tot} + \dot{Z}_k \quad (3.10)$$

Burada,  $\dot{C}_{P,tot}$  ürünlerin toplam ekserji maliyetini,  $\dot{C}_{F,tot}$  yakâlarân toplam ekserji maliyetini,  $\dot{Z}_k$  ise bir k proses cihazân ikletme ve bakân maliyetleri ile ilk yatâân maliyetini ifade etmektedir:

$$\dot{Z}_k = \dot{Z}_k^{CI} + \dot{Z}_k^{OM} \quad (3.11)$$

$\dot{Z}_{tot}^{CI}$  teriminin değeri yâlık ilk yatâân maliyetinin yâlık çalâma saatine bölünmesi ile bulunmaktadır. Benzer şekilde,  $\dot{Z}_k^{OM}$  teriminin değeri yâlık ikletme ve bakân maliyetinin yâlık çalâma saatine bölünmesi ile bulunmaktadır. Bu tez çalâmasında yâlık çalâma saati 8000 saat olarak kabul edilmektedir.

$$\dot{Z}_k^{CI} = \frac{C_k^{CI} \cdot CRF}{8000} \quad (3.12)$$

$$\dot{Z}_k^{OM} = \frac{C_k^{OM}}{8000} \quad (3.13)$$

### 3.5.1 Ekserji Maliyeti

Ekserji maliyetlendirmesinde, maliyet her bir ekserji akânê ile ilgilidir. Sisteme giren ve sistemden çıkan madde akânlarê sisteme verilen veya sistemden alânan ık ve âşê aktarânê terimleri için sêrasêyla, akaî âdaki denklikler yazâê:

$$\dot{C}_g = c_g \dot{E}_g = c_g (\dot{m}_g \cdot e_g) \quad (3.14)$$

$$\dot{C}_\phi = c_\phi \dot{E}_\phi = c_\phi (\dot{m}_\phi \cdot e_\phi) \quad (3.15)$$

$$\dot{C}_w = c_w \dot{E}_w = c_w \dot{W} \quad (3.16)$$

$$\dot{C}_q = c_q \dot{E}_q = c_q \dot{E}_q \quad (3.17)$$

Burada  $c_g$ ,  $c_\phi$ ,  $c_w$  ve  $c_q$  terimleri sêrasêyla, giren ve çıkan madde akânlarê ile ık ve âşê aktarânê terimlerine ait ekserji akânlarânê ortalama birim maliyetini ifade eder ve birimleri  $\$/GJ$  âdur. Buna baî lêolarak,  $\dot{C}_g$ ,  $\dot{C}_\phi$ ,  $\dot{C}_w$  ve  $\dot{C}_q$  terimleri sêrasêyla ilgili ekserji akânlarânê toplam maliyetlerini ifade eder ve birimleri  $\$/h$  veya  $\$/s$  âdır.

Ekserji maliyetlendirmesi her bir birim için ayrê ayrê yazâmak ekserji denkliklerini içêir.

Bir  $k$  birimi için, ekserji maliyet denkliğinde ürünlerin toplam maliyeti sisteme giren akēnlarēn toplam ekserji maliyetleri, ilk yatēēn ve, ikletme ve bakēn maliyetlerinin toplamēna ekittir. Dēkarēdan ēēēalan ve ik üreten bir  $k$  birimi için denklik akağ ēdaki gibi yazēē:

$$\sum_{\xi} \dot{C}_{\bar{u},k} + \dot{C}_{w,k} = \dot{C}_{q,k} + \sum_g \dot{C}_{g,k} + \dot{Z}_k \quad (3.18)$$

Bu denklem daha basit olarak kını söylemektedir: Ürün akēnlarēnēn toplam ekserji maliyetleri bu ürünleri elde etmek için harcanan toplam gidere ekittir. Bu denklem daha açēk şekilde yazēēsa,

$$\sum_{\xi} (c_{\bar{u}} \dot{E}_{\bar{u}})_k + (c_w \dot{W})_k = (c_q \dot{E}_q)_k + \sum_g (c_g \dot{E}_g)_k + \dot{Z}_k \quad (3.19)$$

denklemini elde edilir.

### 3.5.2 Ekserji Tahribi Maliyeti

Bir  $k$  proses birimi için ve tüm sistem için ekserji denkliği i akağ ēdaki gibi yazēē:

$$\dot{\Xi}_{F,k} = \dot{\Xi}_{P,k} + \dot{\Xi}_{L,k} + \dot{\Xi}_{D,k} \quad (3.20)$$

$$\dot{\Xi}_{F,tot} = \dot{\Xi}_{P,tot} + \dot{\Xi}_{L,tot} + \sum_k \dot{\Xi}_{D,k} \quad (3.21)$$

Burada  $F$ ,  $P$ ,  $L$ , ve  $D$  indisleri sēasēyla yakē, ürün, kayēp ve tahribi ifade etmektedir. Toplam yakē ekserjisi sisteme giren akēnlarēn ekserjisini, toplam ürün ekserjisi sistemden çēkan akēnlarēn ekserjisini, toplam ekserji kaybē sistemden çevreye ēēē sıcaklık farkēndan dolayı aktarēdan ve termodinamik olarak kaybedilen toplam ekserjiyi, toplam ekserji tahribi ise sistem sēēēlarē içerisinde tersinmezliklerden kaynaklanan toplam ekserji tahribini ifade etmektedir. Kıcelenen bir sistemin veya birimin yüzey sēēaklıē ēnēn çevre sēēaklıē ēna ekite olduğ u kabul edilirse, ēēē aktarēmēndan kaynaklanan kayēplarēn önüne geçildiğ i kabulü yapıēmēk olur. Bu ifade aslēnda bize kını söylemektedir. Isē aktarēmēndan kaynaklanan tüm kayēplar ekserji tahribi teriminin içerisinde yer almakta yani kayēplar da istem dēēē olduğ undan dolayı termodinamik tersinmezlikler ile birlikte değ erlendirilmektedir.

$$\dot{\Xi}_{L,k} = 0 \quad (3.22)$$

$$\dot{\Xi}_{D,k} = T_0 \dot{S}_{gen,k} \quad (3.23)$$

$$\dot{C}_{D,k} = c_{F,k} \dot{E}_{D,k} \text{ (sabit } \dot{E}_{P,k} \text{ )} \quad (3.24)$$

(3.24) denkliğ i ekserji tahribinin yakā ilavesiyle telafi edildiğ ini ve yakā ekserji birim maliyeti değ erinin değ ikmediğ i kabulünü ifade etmektedir. Benzer şekilde,

$$\dot{C}_{D,k} = c_{P,k} \dot{E}_{D,k} \text{ (sabit } \dot{E}_{F,k} \text{ )} \quad (3.25)$$

denklemleri ile de, aynı yakā miktarıyla daha az ürünün elde edildiğ i, ekserji tahribinden kaynaklanan maliyetin, ürünün toplam maliyetini artırdığ ı kabulünü ifade etmektedir.

### 3.5.3 Termoekonomik Denkliklerin Oluşturulması ve Yardımcı Maliyet Denklikleri

Termoekonomik ana maliyet ve yardımcı maliyet denkliklerinin yatıkkā halde bazı proses birimleri için nasıl oluşturulduğ u ve maliyet denkliklerinden elde edilen değ erler Çizelge 3.1'de özetlenmektedir (Bejan vd., 1996).

### 3.6 Termoekonomi Performans Kriterleri

Termoekonomik değ erlendirme, bir sistem sistemin tasarān aamasında veya iletilmekte olan bir sistemin değ erlendirilmesi aamasında kullanılabilir. Tasarān aamasındaki bir sistem ile mevcut bir sistemin termoekonomik değ erlendirmesi birbirine paralel olarak yürütölür. İlk yatāān maliyetleri, operasyon halindeki sistemin analizinde (tasarān aamasındaki sistemden farklı olarak), değ erlendirmeden çıkarılā. İletme ve bakım maliyetleri de yapılan değ erlendirmeyi sadelektirmek aēāndan göz ardēedilebilir.

Tasarān aamasındaki bir termal sistemin termoekonomik performansē değ erlendirilirken aakādaki kriterler göz önünde bulundurulur:

- Ekserji verimi
- Ekserji tahribi ve ekserji kaybē
- Ekserji tahrip oranē ve ekserji kaybē oranē
- İlk yatāān maliyeti, iletme ve bakım maliyeti ve bu ikisinin toplamē
- Ekserji tahribi maliyeti ve ekserji kaybē maliyeti
- Bağ ā maliyet farkē  $r_k$

Çizelge 3.1 Yatâkkân halde bazēproses birimleri için termoeekonomik baĴ ântđar (Bejan vd.,1996)

| Birim                                          | Kompresör,<br>Pompa ya da Fan | Türbin ya da<br>Genleştirici        | Isı DeĴiřtirici         | Karıştırıcı             | Gazlaştırıcı ya da<br>Yanma Odası | Kazan                                                                                                           |
|------------------------------------------------|-------------------------------|-------------------------------------|-------------------------|-------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Şematik<br>görünüm                             |                               |                                     |                         |                         |                                   |                                                                                                                 |
| Ürün<br>maliyeti, $\dot{C}_p$                  | $\dot{C}_2 - \dot{C}_1$       | $\dot{C}_4$                         | $\dot{C}_2 - \dot{C}_1$ | $\dot{C}_3$             | $\dot{C}_3$                       | $(\dot{C}_6 - \dot{C}_5) + (\dot{C}_8 - \dot{C}_7)$                                                             |
| Yakıt<br>maliyeti, $\dot{C}_F$                 | $\dot{C}_3$                   | $\dot{C}_1 - \dot{C}_2 - \dot{C}_3$ | $\dot{C}_3 - \dot{C}_4$ | $\dot{C}_1 + \dot{C}_2$ | $\dot{C}_1 + \dot{C}_2$           | $(\dot{C}_1 + \dot{C}_2) + (\dot{C}_3 + \dot{C}_4)$                                                             |
| Yardımcı<br>denklikler                         | -                             | $c_2 = c_3 = c_1$                   | $c_4 = c_3$             | -                       | -                                 | $\frac{(\dot{C}_6 - \dot{C}_5)}{\dot{E}_6 - \dot{E}_5} = \frac{(\dot{C}_8 - \dot{C}_7)}{\dot{E}_8 - \dot{E}_7}$ |
| Maliyet<br>denkliĴinden<br>hesaplanan<br>deĴer | $c_2$                         | $c_4$                               | $c_2$                   | $c_3$                   | $c_3$                             | $c_6$ veya $c_8$                                                                                                |

\* IsēdeĴ indiricinin kullanēn amacēnē soĴuk akēnē ēēmak olduĴu kabul edilmiştir.

$$r_k = \frac{c_{P,k} - c_{F,k}}{c_{F,k}} \quad (3.26)$$

Bu denklik, incelenen proses biriminin ortalama maliyetindeki bağı artıran, bir başka ifadeyle yakıt ile ürünün birim ekserji maliyetleri arasındaki farkın birim ekserji maliyetine oranını ifade etmektedir.

$$r_k = \frac{1 - \varepsilon_k}{\varepsilon_k} + \frac{\dot{Z}_k^{CI} + \dot{Z}_k^{OMI}}{c_{F,k} \dot{\varepsilon}_{P,k}} \quad (3.27)$$

- Eksergoekonomik faktör  $f_k$

$$f_k = \frac{\dot{Z}_k}{\dot{Z}_k + c_{F,k} (\dot{\varepsilon}_{D,k} + \dot{\varepsilon}_{L,k})} \quad (3.28)$$

Bir sistem maliyet etkinliğini geliştirmek için aşağıdaki yöntemin takip edilmesi önerilir (Bejan vd., 1996; Tsatsaronis ve Czesla, 2002):

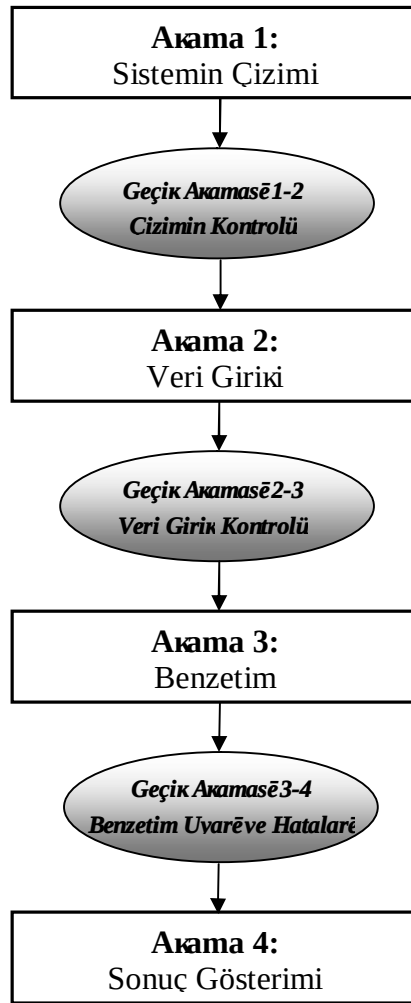
- $\dot{Z}_k + \dot{C}_{D,k}$  toplamı kullanılarak, proses birimleri azalan maliyet sırasına göre dizilir.
- Bu toplamın büyük olduğu proses birimleri tekrar gözden geçirilir,
- $\dot{Z}_k$  ve  $\dot{C}_{D,k}$  değerleri yüksek olan proses birimlerinin bağı maliyet farkına ( $r_k$ ) dikkat edilir,
- Bakılacak maliyet kaynağı göz önüne alınarak (ilk yatırım maliyeti ya da ekserji tahrip maliyeti) eksergoekonomik faktör ( $f_k$ ) değerlendirilir.
  - Eğer  $f_k$  yüksek ise, proses birimlerinin verimliliğini ne ölçüde etkilediği göz önüne alınarak ilk yatırım maliyetinin azaltılmasına çalışılır,
  - Eğer  $f_k$  düşük ise, ilk yatırım maliyeti artırılarak proses birimlerinin verimi artırılmaya çalışılır.
- Ekserji tahribi ve kaybına neden olan ve diğer proses birimlerinin ilk yatırım maliyeti veya yakıt maliyeti giderlerini azaltmayan tüm alt prosesler sistemden çıkarılır.
- Diğer birimlere göre düşük ekserji verimi, yüksek ekserji tahribi ve ekserji tahribi oranına sahip olan proses birimlerinin ekserji verimlerinin artırılmasına çalışılır.

Bu metodoloji uygulanırken termoeekonomik değ ikkenlerin proses cihazların tipine göre değ erlendirilmesi gerektiğ i unutulmamalıdır. Aynı şekilde proses cihazları kendi arasında değ erlendirilmelidir. Örnek olarak ısı değ iktiriciler kendi arasında, pompalar ve türbinler kendi arasında değ erlendirilmelidir (Bejan vd., 1996; Tsatsaronis ve Czielsa, 2002)

#### 4. THERMOFLEX / PEACE SİMÜLASYON PROGRAMI

##### 4.1 Giriş

Bu tez çalışmasının bazı bölümlerinde bir bilgisayar benzetim (simülasyon) programından faydalanılmaktadır. Thermoflow firmasının bir ürünü olan Thermoflex proses benzetim programı (Thermoflex / Peace V.20) kullanılarak, tesisin bazı koşullarına ilişkin benzetim model çalışmaları yapılmak ve çeşitli koşullar için optimizasyon çalışmaları yürütülmüştür. Thermoflex benzetim programının genel akış şekli şekil 4.1'de verilmektedir.

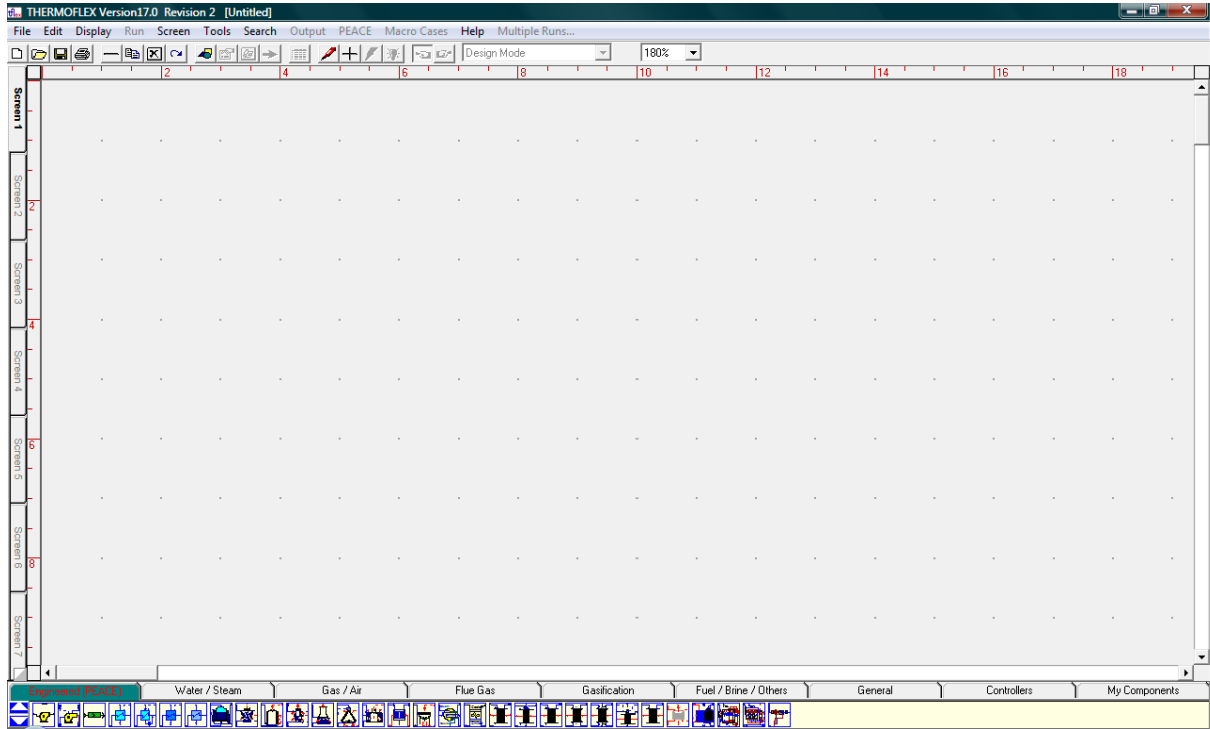


Şekil 4.1 Thermoflex benzetim programının genel çalışma prensibi

##### 4.2 Programın Çalıştırılması

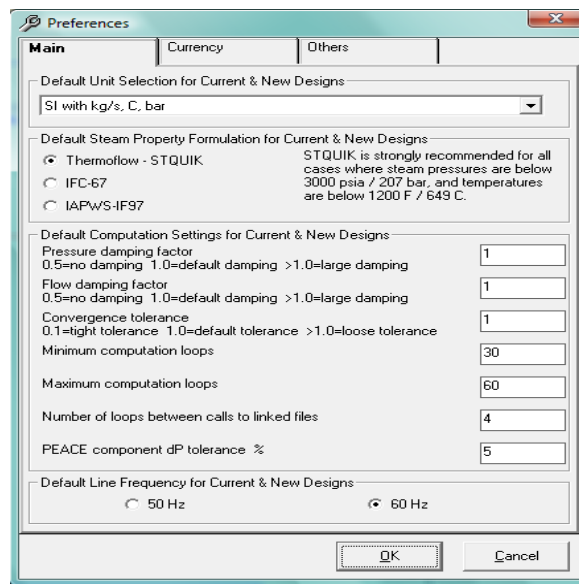
Programın ilkleyi genel olarak dört temel akamada gerçekleşir. Şekil 4.2'de program ilk çalıştırıldığında ekrana gelen karkada ve baklangıç penceresi gösterilmektedir:





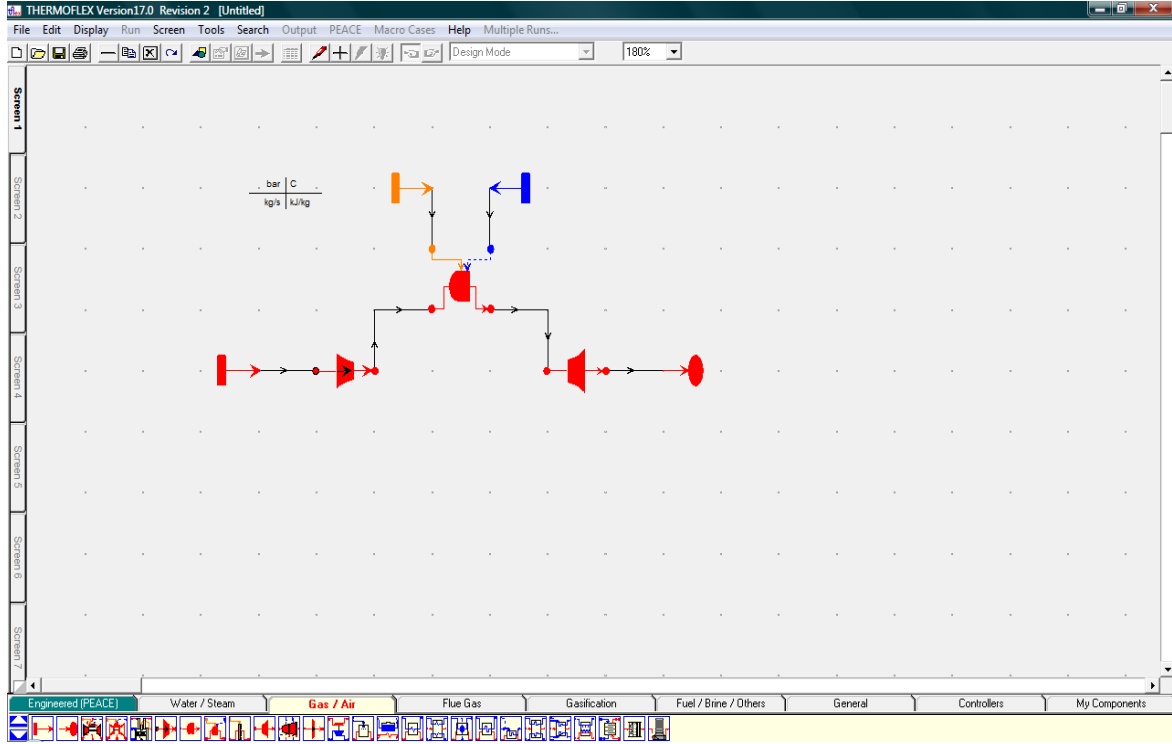
Şekil 4.2 Thermoflex benzetim programı ilk karşılama ekranı

Program dili İngilizcedir ve menü çubuğunda "Dosya", "Düzen", "Görünüm", "Çalıştır", "Ekran", "Araçlar", "Arama", "Sonuç Gösterimi", "PEACE", "Makro Dosyalar", "Yardım" ve "Çoklu Çalıştır" alt menüleri bulunur. Çalışmaya başlamadan önce Araçlar menüsünden "Tercihler" sekmesine girilerek programın birim seçimi, hesaplama ayarları, buhar özellikleri, hesaplama yöntemi gibi başlangıç ayarlarının yapılması gerekmektedir (Şekil 4.3):



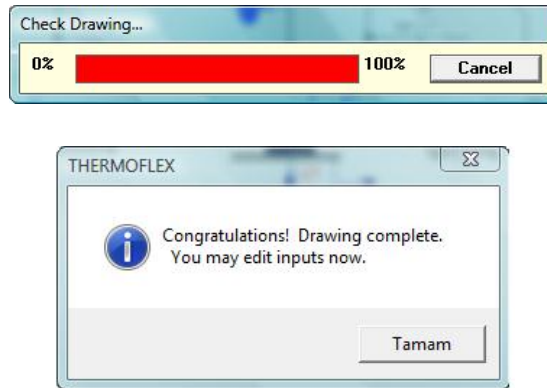
Şekil 4.3 Thermoflex benzetim programı tercihler menüsü

Program baklangıç ayarları yapıldıktan sonra **birinci** akama olarak sistemin çizilmesi gerekmektedir. Program baklangıç ekranının en alt kısmında yer alan birim paletleri bulunmaktadır. Kullanıcı kolaylığı açısından bu paletler kısımlara ayrılmıştır.  $\dot{m}$ PEACE,  $\dot{m}$ Su/Buhar,  $\dot{m}$ Gaz / Hava,  $\dot{m}$ Gaz Akışı,  $\dot{m}$ Gazlaştırma,  $\dot{m}$ Yakıt / Tuzlu Su / Diğer,  $\dot{m}$ Genel,  $\dot{m}$ Kontrolörler ve  $\dot{m}$ Benim Birimlerim birim paletleri bulunmaktadır. Bu paletler yardımıyla benzetimini yapmak istenen sistem çizilir (şekil 4.4).



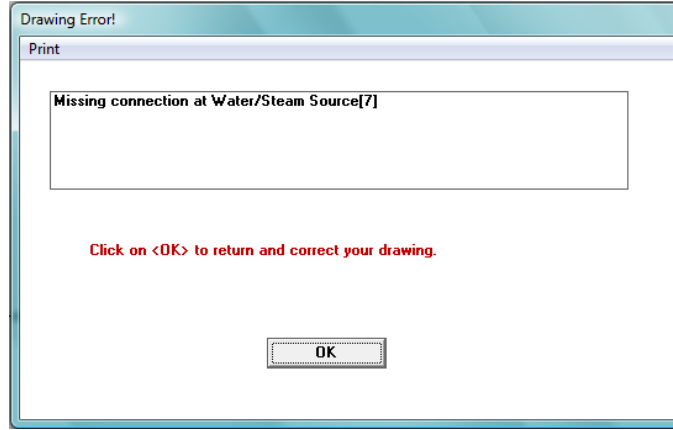
şekil 4.4 Thermoflex benzetim programı örnek çizim (gaz türbin grubu)

Çizimden sonra menü çubuğunun hemen altında bulunan  tuşuna veya klavyede bulunan  $\dot{m}$ F3 tuşuna basılarak çizim kontrolü yapılır (şekil 4.5):



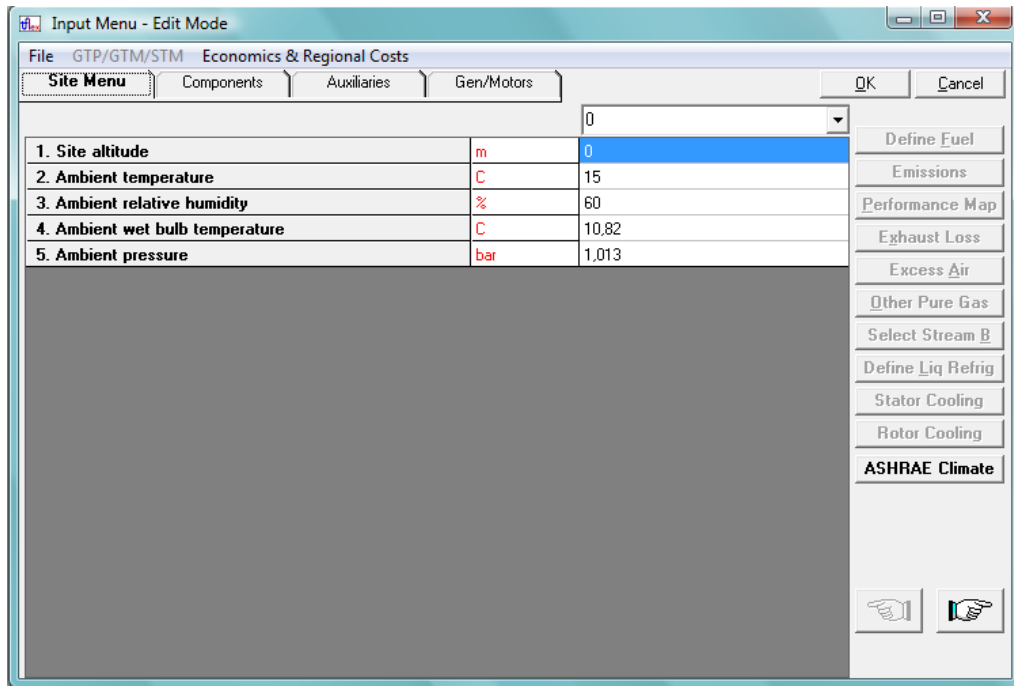
şekil 4.5 Thermoflex benzetim programı çizim aşaması kontrolü

Yapılan çizim doğru ise ekranda "Tebrیکler! Çizim tamamlandı Veri giriş aşamasına geçebilirsiniz" mesajı görüntülenir. Aksi takdirde hata mesajı görüntülenir ve çizim aşamasına geri dönlür. Bu mesajda hatanın yeri ile ilgili bilgi de yer almaktadır (şekil 4.6):



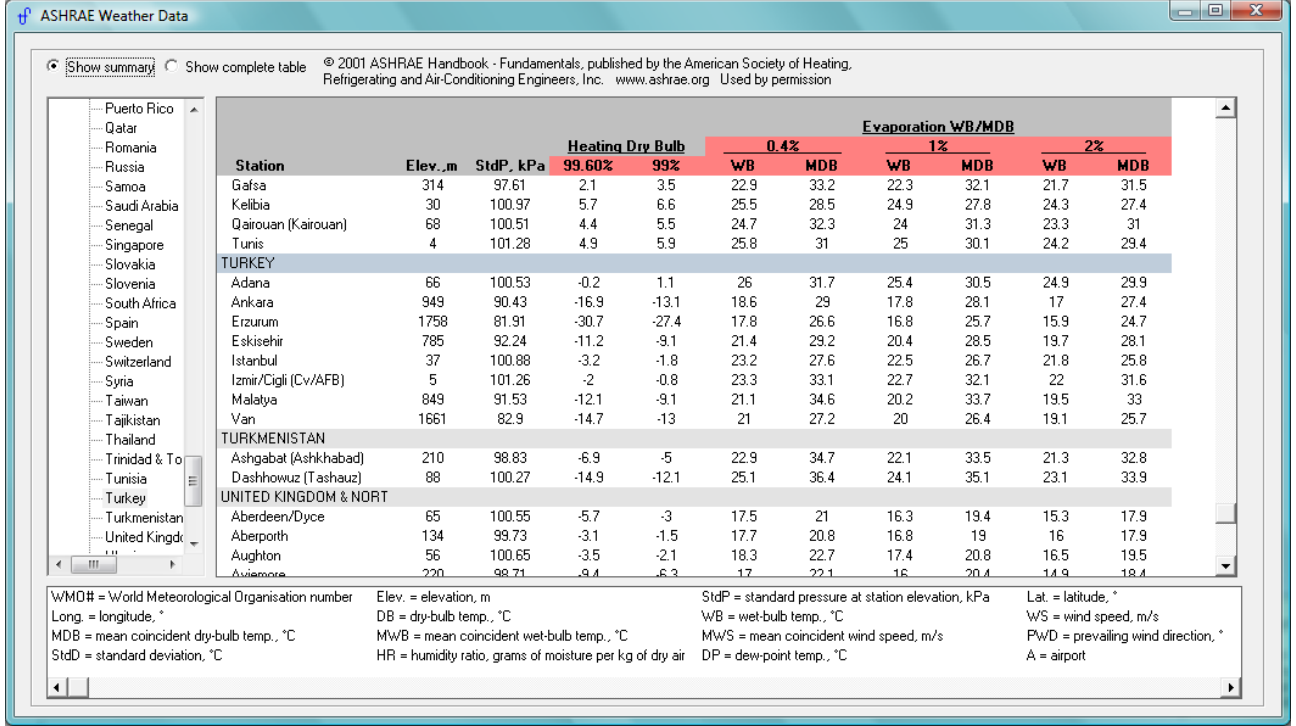
şekil 4.6 Thermoflex benzetim programı çizim aşamasında hata mesajı

**İkinci** aşama veri girişi aşamasıdır. Bu aşamada çizimi yapılan sistemin içerisinde bulunan proses cihazlarının ve akışkanların özellikleri ve değerleri tanımlanır. Veri girişine menü çubuğunda bulunan "Düzen" menüsündeki veri giriş sekmesinden veya klavyede bulunan "F2" tuşu ile veya da çizim üzerindeki herhangi bir proses birimi tıklanarak bakılabilir. İlk olarak yapılması gereken sistemin çalışacağı çevre kartları açılan penceredeki çevre menüsünden tanımlanmalıdır (şekil 4.7).



şekil 4.7 Thermoflex benzetim programı veri girişi çevre menüsü

Thermoflex geniş bir iklim özellikleri bilgisine sahiptir. Sistemin çevresini gerçek kartlara en yakın şekilde tasarlayabilmek ve ayrıntılı bölge iklim bilgisini almak için ASHRAE İklim bilgisine (şekil 4.8) bakılabılır.



ASHRAE Weather Data

© 2001 ASHRAE Handbook - Fundamentals, published by the American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc. www.ashrae.org Used by permission

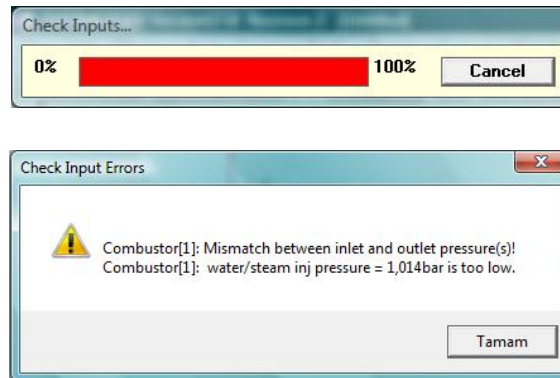
Station Elev. m StdP, kPa Heating Dry Bulb 99.60% 99% Evaporation WB/MDB 0.4% 1% 2% WB MDB WB MDB WB MDB

| Station                          | Elev. m | StdP, kPa | Heating Dry Bulb 99.60% | 99%   | Evaporation WB/MDB 0.4% | 1%   | 2%   | WB   | MDB  | WB   | MDB | WB | MDB |
|----------------------------------|---------|-----------|-------------------------|-------|-------------------------|------|------|------|------|------|-----|----|-----|
| Gafsa                            | 314     | 97.61     | 2.1                     | 3.5   | 22.9                    | 33.2 | 22.3 | 32.1 | 21.7 | 31.5 |     |    |     |
| Kelbia                           | 30      | 100.97    | 5.7                     | 6.6   | 25.5                    | 28.5 | 24.9 | 27.8 | 24.3 | 27.4 |     |    |     |
| Qairouan (Kairouan)              | 68      | 100.51    | 4.4                     | 5.5   | 24.7                    | 32.3 | 24   | 31.3 | 23.3 | 31   |     |    |     |
| Tunis                            | 4       | 101.28    | 4.9                     | 5.9   | 25.8                    | 31   | 25   | 30.1 | 24.2 | 29.4 |     |    |     |
| <b>TURKEY</b>                    |         |           |                         |       |                         |      |      |      |      |      |     |    |     |
| Adana                            | 66      | 100.53    | -0.2                    | 1.1   | 26                      | 31.7 | 25.4 | 30.5 | 24.9 | 29.9 |     |    |     |
| Ankara                           | 949     | 90.43     | -16.9                   | -13.1 | 18.6                    | 29   | 17.8 | 28.1 | 17   | 27.4 |     |    |     |
| Erzurum                          | 1758    | 81.91     | -30.7                   | -27.4 | 17.8                    | 26.6 | 16.8 | 25.7 | 15.9 | 24.7 |     |    |     |
| Eskişehir                        | 785     | 92.24     | -11.2                   | -9.1  | 21.4                    | 29.2 | 20.4 | 28.5 | 19.7 | 28.1 |     |    |     |
| Istanbul                         | 37      | 100.88    | -3.2                    | -1.8  | 23.2                    | 27.6 | 22.5 | 26.7 | 21.8 | 25.8 |     |    |     |
| Izmir/Cigli (Cv/AFB)             | 5       | 101.26    | -2                      | -0.8  | 23.3                    | 33.1 | 22.7 | 32.1 | 22   | 31.6 |     |    |     |
| Malatya                          | 849     | 91.53     | -12.1                   | -9.1  | 21.1                    | 34.6 | 20.2 | 33.7 | 19.5 | 33   |     |    |     |
| Van                              | 1661    | 82.9      | -14.7                   | -13   | 21                      | 27.2 | 20   | 26.4 | 19.1 | 25.7 |     |    |     |
| <b>TURKMENISTAN</b>              |         |           |                         |       |                         |      |      |      |      |      |     |    |     |
| Ashgabat (Ashkhabad)             | 210     | 98.83     | -6.9                    | -5    | 22.9                    | 34.7 | 22.1 | 33.5 | 21.3 | 32.8 |     |    |     |
| Dashhowuz (Tashauz)              | 88      | 100.27    | -14.9                   | -12.1 | 25.1                    | 36.4 | 24.1 | 35.1 | 23.1 | 33.9 |     |    |     |
| <b>UNITED KINGDOM &amp; NORT</b> |         |           |                         |       |                         |      |      |      |      |      |     |    |     |
| Aberdeen/Dyce                    | 65      | 100.55    | -5.7                    | -3    | 17.5                    | 21   | 16.3 | 19.4 | 15.3 | 17.9 |     |    |     |
| Aberpoth                         | 134     | 99.73     | -3.1                    | -1.5  | 17.7                    | 20.8 | 16.8 | 19   | 16   | 17.9 |     |    |     |
| Aughton                          | 56      | 100.65    | -3.5                    | -2.1  | 18.3                    | 22.7 | 17.4 | 20.8 | 16.5 | 19.5 |     |    |     |
| Aviemore                         | 220     | 98.71     | -9.4                    | -6.3  | 17                      | 22.1 | 16   | 20.4 | 14.9 | 18.4 |     |    |     |

WMO# = World Meteorological Organisation number Elev. = elevation, m StdP = standard pressure at station elevation, kPa Lat. = latitude, °  
 Long. = longitude, ° DB = dry-bulb temp., °C WB = wet-bulb temp., °C W/S = wind speed, m/s  
 MDB = mean coincident dry-bulb temp., °C MWB = mean coincident wet-bulb temp., °C MWS = mean coincident wind speed, m/s PWD = prevailing wind direction, °  
 StdD = standard deviation, °C HR = humidity ratio, grams of moisture per kg of dry air DP = dew-point temp., °C A = airport

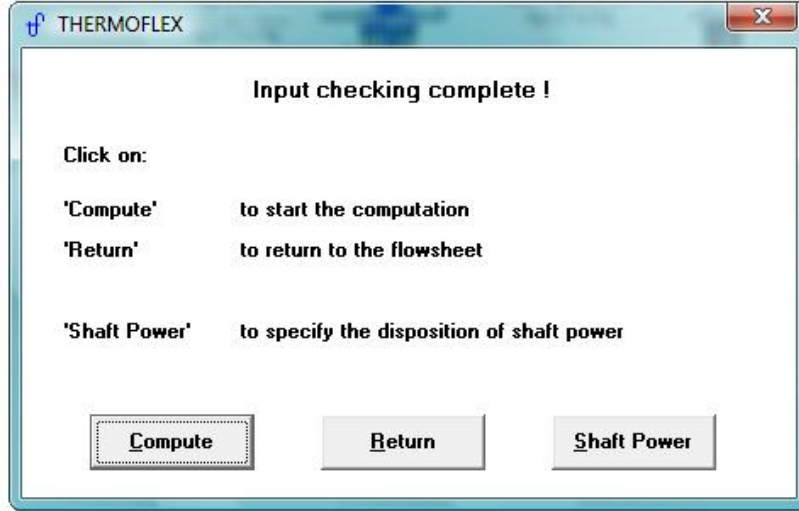
şekil 4.8 Thermoflex benzetim programı ASHRAE İklim Bilgisi

Çevre kartları tanımlandıktan sonra, aynı menü kullanarak her bir proses biriminin özellikleri, yardımcı ekipman bilgisi ve jeneratör/motor özellikleri belirlenir. Bu işlemler gerçekleştirildikten sonra veri girilme aşaması da tamamlanmış olur. Girilen verilerin kontrolü menü çubuğu altındaki tuş takımında bulunan  tuşuna basarak veya klavyede bulunan F4 tuşuna basarak yapılabilir. Hatalı bir veri girişi varsa hata mesajı görüntülenir (şekil 4.9):



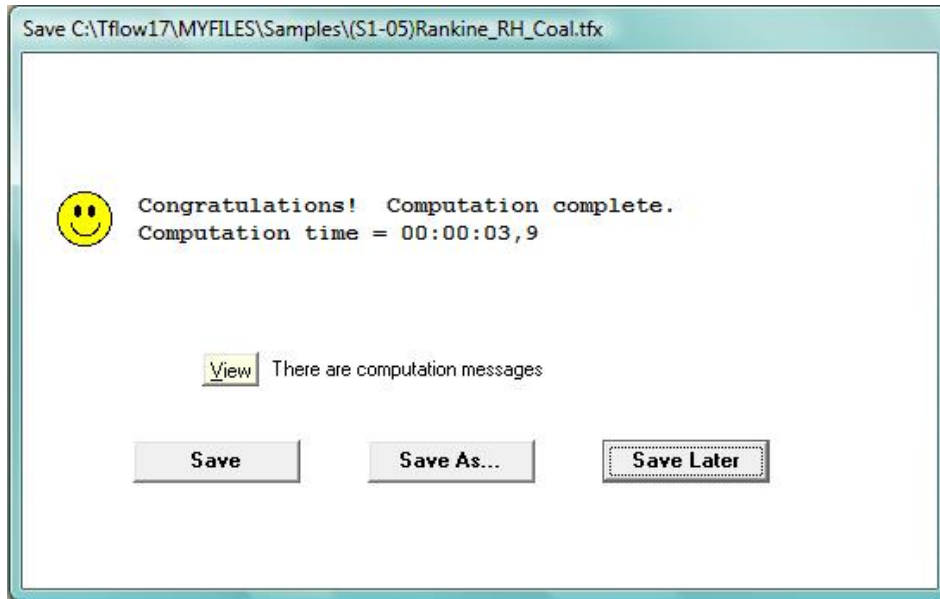
şekil 4.9 Thermoflex benzetim programı veri girişi örnek hata mesajı

Veri girisinde herhangi bir hata bulunmuyorsa **üçüncü** aşamaya olan benzetim aşamasına geçilmek olur, şekil 4.10'da gösterilen ekran görüntülenir. Bu ekranda hesaplama yapmak için **Hesapla**, sistem üzerinde herhangi bir değişiklik yapmak için **Geri dön** ve **kaft gücü** da **ğ** için **kaft gücü** düğmelerinden birisine **tıklandığı** istenir.



şekil 4.10 Thermoflex benzetim programı veri girisi aşaması kontrolü

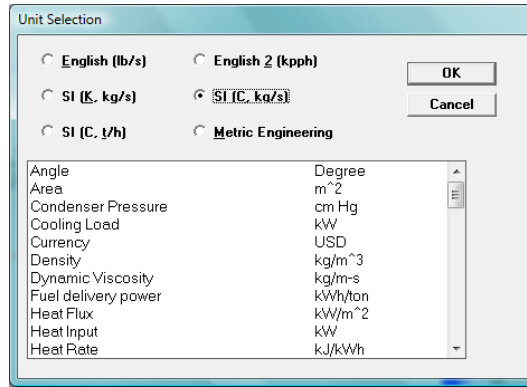
Hesapla düğmesine **tıklandığında** Thermoflex hesaplama işlemine başlar ve sonrasında aşağıdaki ekran görüntülenir (şekil 4.11). Bu ekranda hesaplama ile ilgili kısa bilgiler, varsa hesaplama uyarıları ve hata mesajları da yer alır ve bu ekrandan görüntülenir. Ayrıca, yapılan benzetim bu ekrandan kaydedilerek altına alınabilir.



şekil 4.11 Thermoflex benzetim programı benzetim aşaması bilgi ekranı

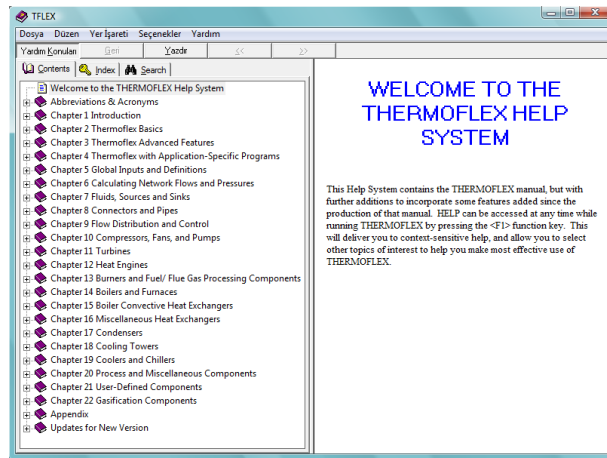
Benzetim (simülasyon) akamasından sonra **dördüncü** akamaya geçilir. Bu akamada sonuç gösterimi yapılır. Thermoflex sonuçları birkaç farklı şekilde görüntüleyebilir. Bunlardan en basiti akâ kemasê üzerinde sonuçları arandan birimin veya akâmên üzerine tâklanmasıdır. Diğ er bir yöntem de, menü çubuğ unda bulunan ñSonuç Gösterimiò sekmesine girilerek istenen sonuçlar bu sayfada veya MS Excel programına aktararak görüntülenebilir.

Thermoflex her akamada birim değ ikliliğ inin yapılmasına olanak sağlar. Birim seçimi baklangç çizim akamasında ya da sonuçlar görüntülenirken yapılabilir (şekil 4.12):



şekil 4.12 Thermoflex benzetim programıbirim seçimi

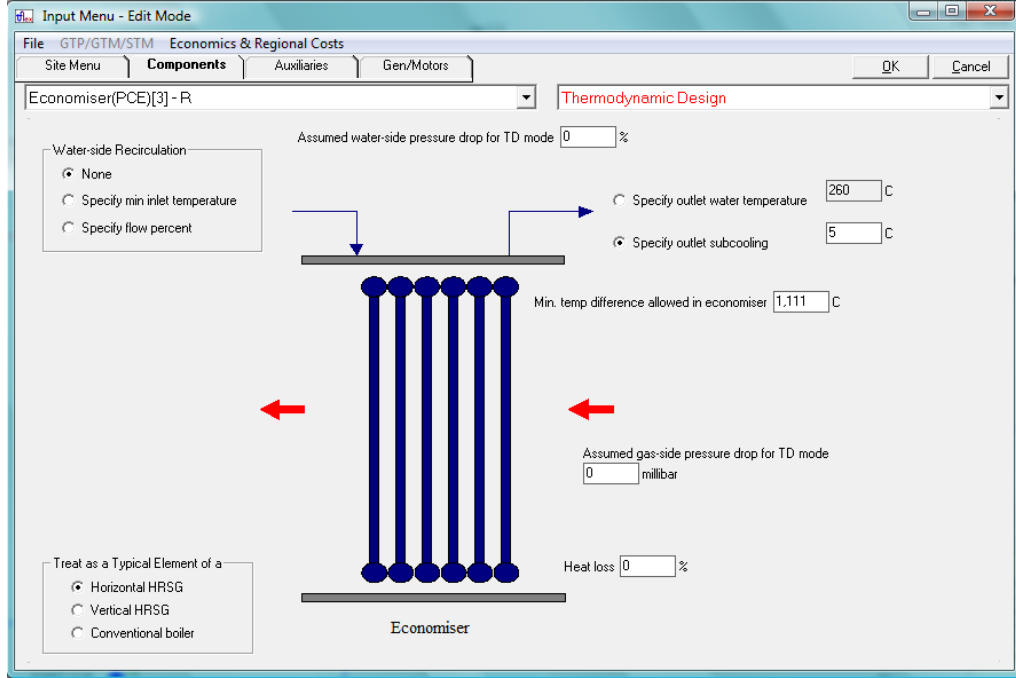
Thermoflex yardım menüsüne klavyede bulunan ñF1ò tuşuna basılarak veya menü çubuğ unda bulunan ñYardım Menüsüònden ulaşılabilir. Yardım menüsünde programın genel ikleyik mantığ ı programın çalıştırılması programda yer alan her birimin tek tek tanımlması sonuçların görüntülenmesi gibi bir çok konuda geniş bilgiler vardır. Çalışma esnasında bir problem ile karşılaşıldığ ında ñF1ò tuşuna basıldığ ında karşılaşılan problem ve ilgili kışım hakkında bilgiler ekranda görüntülenir (şekil 4.13):



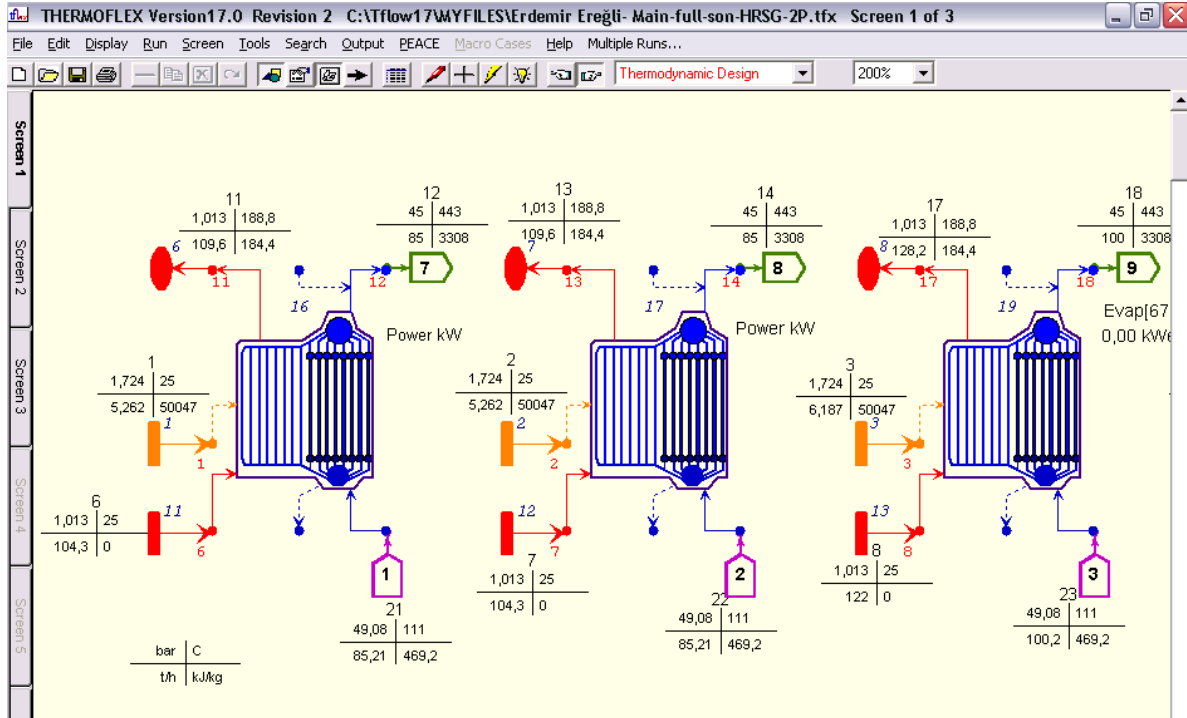
şekil 4.13 Thermoflex benzetim programıyardım menüsü

### 4.3 Programdan Örnekler

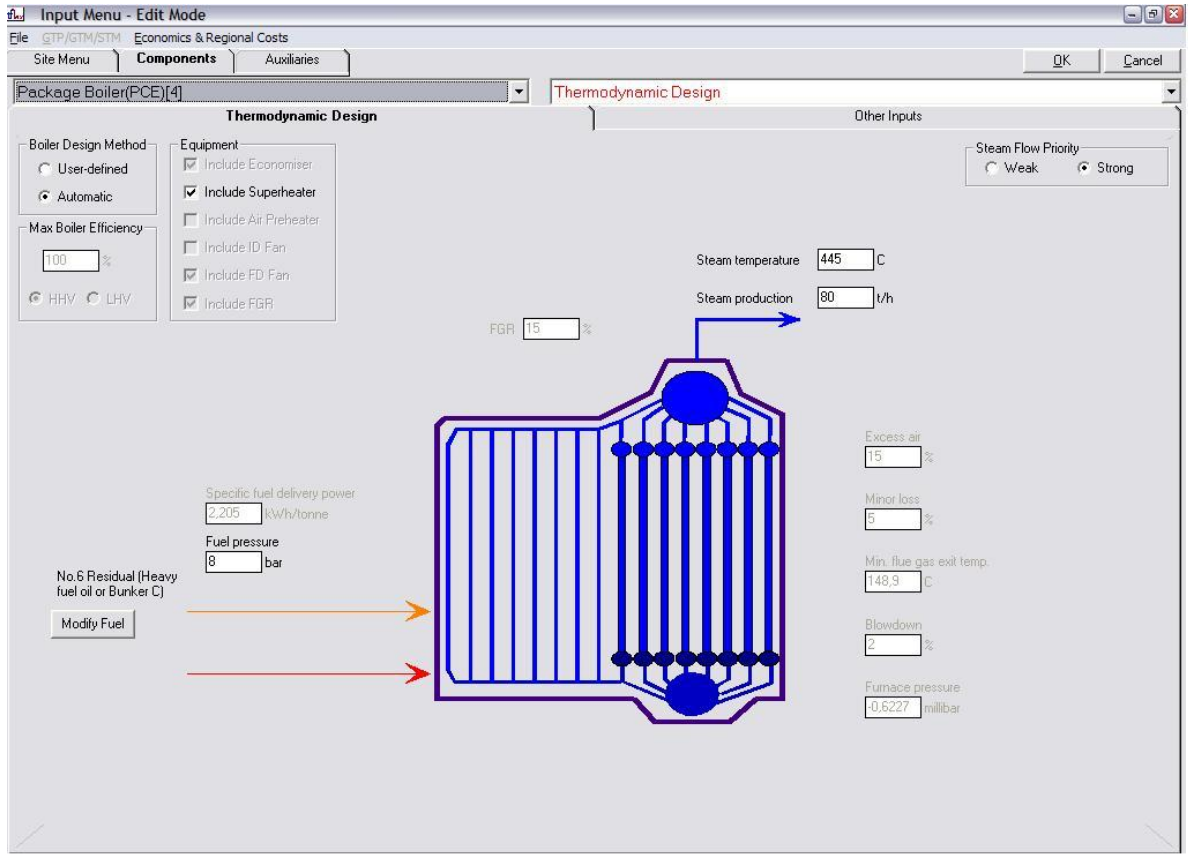
Thermoflex proses benzetim programē kullanđarak yapđan proses benzetiminden örnekler aşağı ădaki şekillerde verilmiştir (şekil 4.14, 4.15, 4.16, 4.17, 4.18, 4.19 ve 4.20).



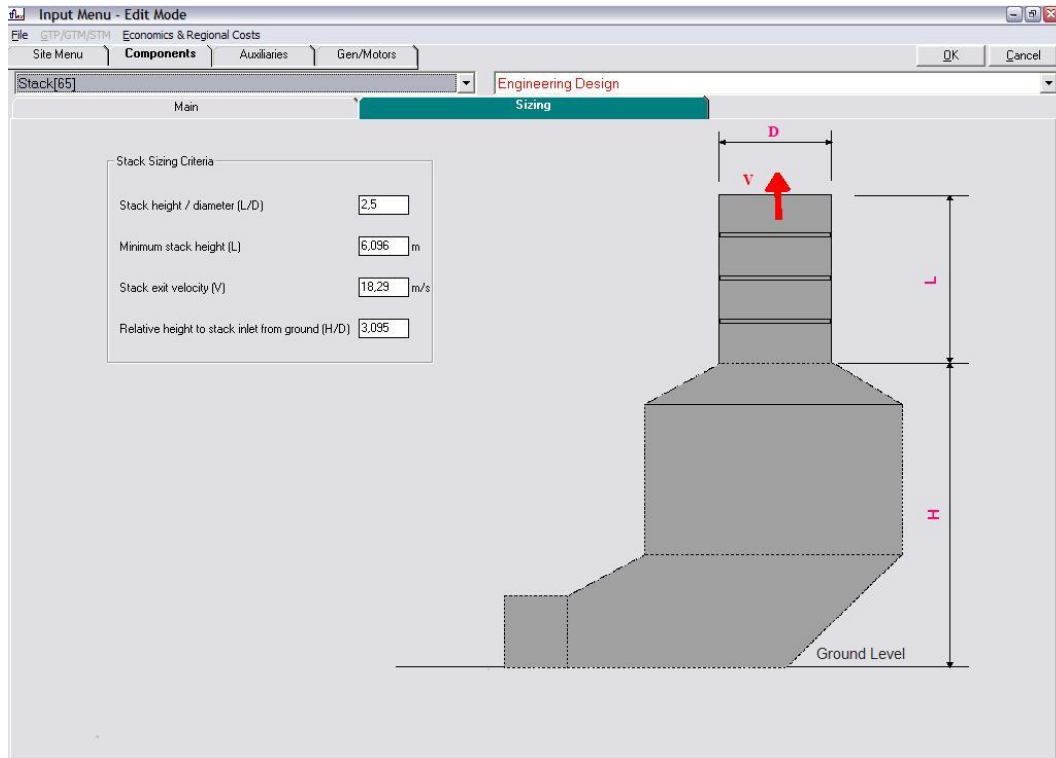
şekil 4.14 Thermoflex benzetim programēbileken menüsü



şekil 4.15 Kuvvet santrali buhar kazanlarēbenzetim akē kemasē

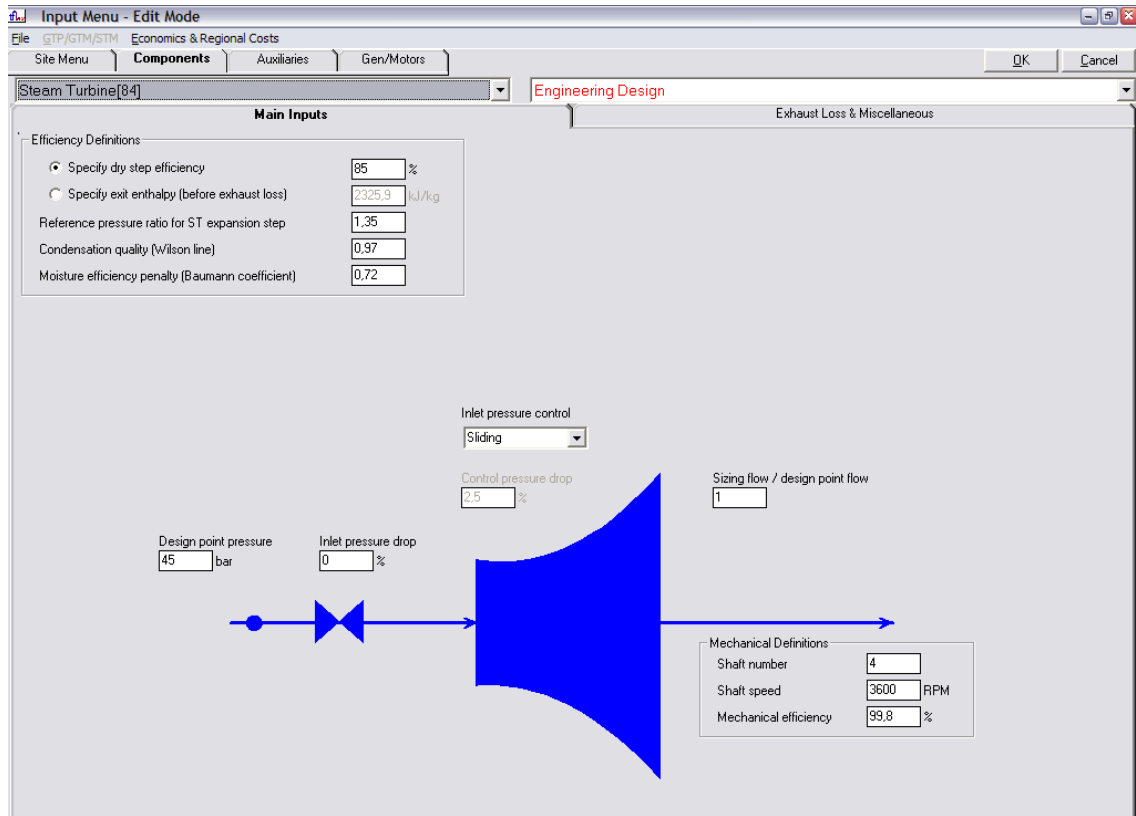


şekil 4.16 Kuvvet santrali buhar kazanē benzetim çalāmasıē

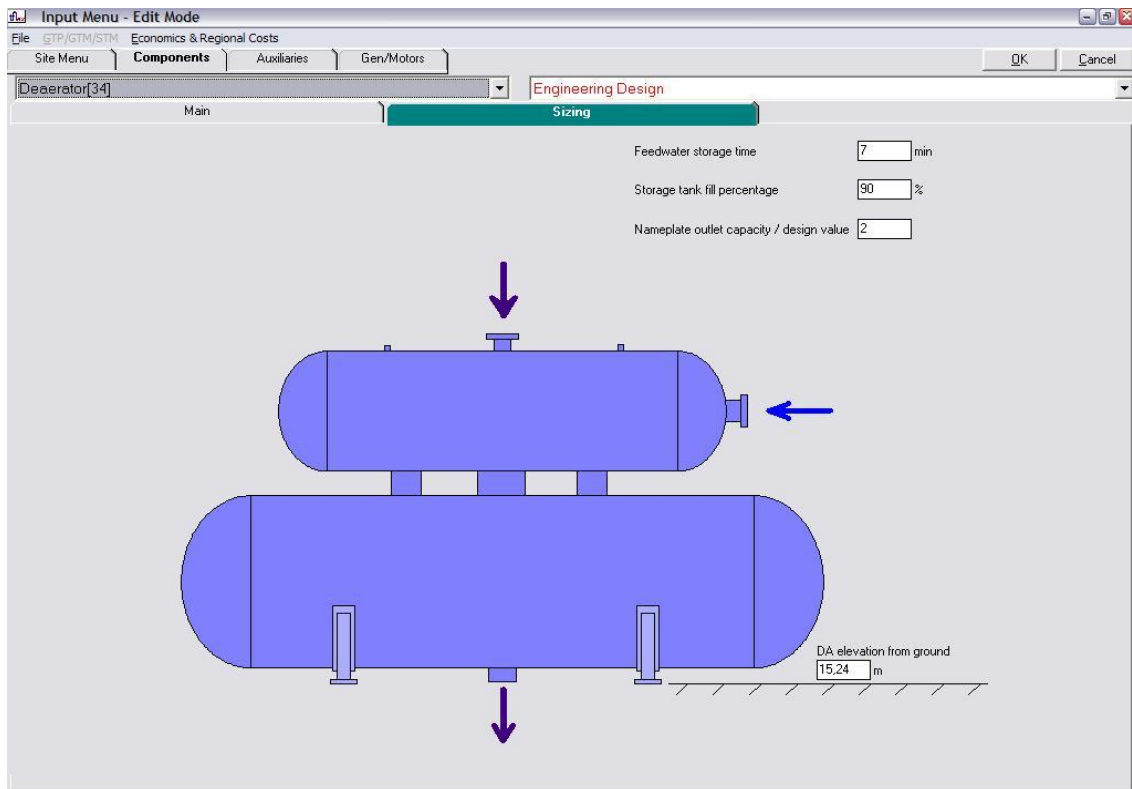


şekil 4.17 Kuvvet santrali atđ şēkazanē baca benzetim çalāmasıē

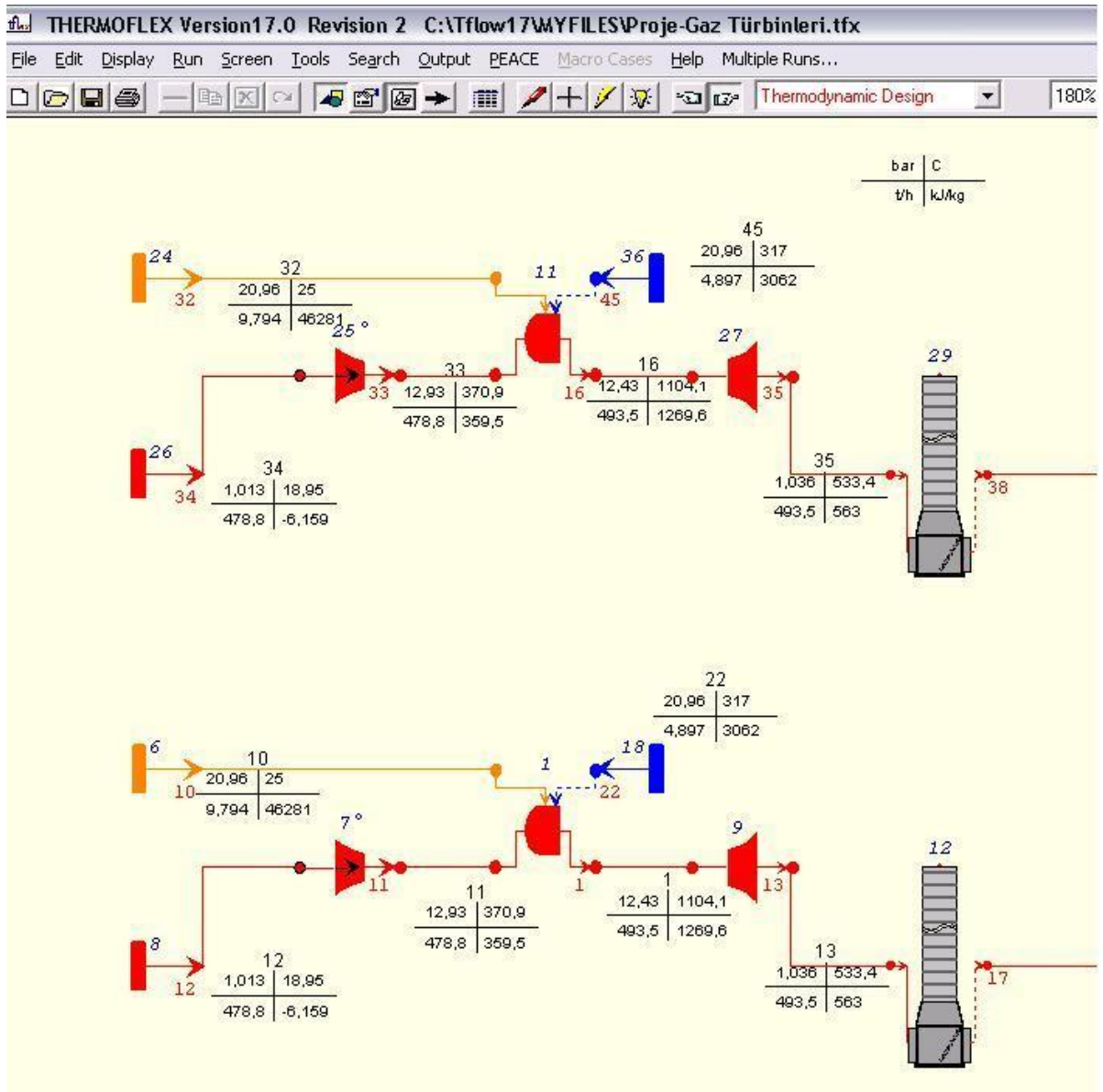




Şekil 4.18 Kuvvet santrali buhar türbini benzetim çalışması



Şekil 4.19 Kuvvet santrali deaerör (havalandırıcı) benzetim çalışması



Şekil 4.20 Kuvvet santrali gaz türbinleri benzetim akış keması

## 5. KOJENERASYON

### 5.1 Kojenerasyonun Tarihsel Gelişimi

“Birleşik Isı Güç Üretimi” ya da “Kojenerasyon” teknolojisi, özellikle elektrik üretiminin amaçlandığı ancak bileşik ısı-ı güç sisteminde ısı ve elektriğin birlikte üretildiği yeni bir teknolojidir. Ülkemizdeki uygulamalar gün geçtikçe yaygınlaşmaktadır. İlk basit uygulamalar 20. yüzyılın ilk yarısında görülen bu teknoloji ucuz yakıt döneminde terk edilmiş, 1973-1979 petrol krizlerinin ardından geliştirilerek yeniden gündeme gelmiştir (Chambers ve Potter, 2002).

Kojenerasyona, 20. yüzyılın başlarından itibaren güç santrallerinin yerleşim birimlerinde kurulmasıyla elektrik üretiminin yanı sıra bölge ısıtılmasında da yapılmaya başlanmıştır. Bölge ısıtılmasında konutların ve işyerlerinin ısıtılması, sıcak su ve proses ısıtması bir veya birkaç merkezden sağlanır. 1940’li yıllarda yakıt fiyatlarının düşmesiyle çekiciliğini yitiren bölge ısıtılmasına olan ilgi yakıt fiyatlarının hızla yükselmesiyle 1970’li yıllarda yeniden uyanmıştır. Kojenerasyon ekonomik açıdan kazançlı olduğundan son yıllarda bu tür bileşik üretim santrallerinin kurulması hızlanmıştır (Kallı vd., 2002). Kojenerasyonun tekrar önem kazanılmasının nedenleri hızla artan elektrik talebi, devletin ek güç üretim kapasitesini finanse etmesindeki zorluklar ve enerji kullanımına bağlı olarak çevre kirliliğini önleme konusundaki endişelerdir (Horlock, 1995).

Kojenerasyon, merkezi ısıtma uygulamalarının yaygın olarak kullanıldığı ülkelerde daha erken kullanıma ve gelişme olanağı bulmuştur. Yüksek binalarda sıcak su ile ısıtma yapılamaz, bunun yerine alçak basınçlı buhar kullanılarak ısıtma yapılır. Bu yüzden merkezle kullanma yeri arasında yüksek basınçlı buhar tercih edilir. Ayrıca, yaz aylarında büyük klima tesisleri için buhar olan ihtiyaç nedeniyle, bileşik ısı-ı güç üreten merkezlerin yaygın verimi yüksek olur.

### 5.2 Kojenerasyonun Tanımı

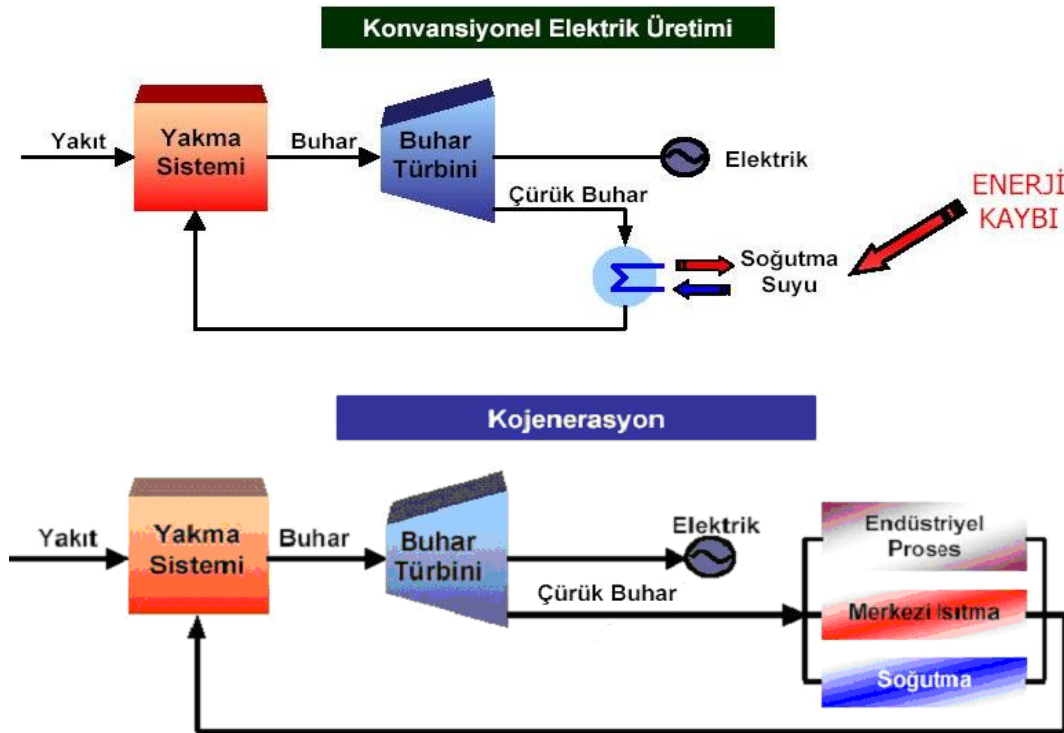
Kojenerasyon kısaca, enerjinin hem elektrik hem de ısı biçimlerinde aynı sistemde beraber üretilmesi olarak tarif edilir. Elektrik üretimi sırasında açığa çıkan atık ısıdan yararlanıldığından, iki enerjinin ortak üretimi sırasında, tek tek kendi başlarına ayrı yerlerde üretilmesinden daha ekonomik sonuçlar alınır (Khan vd., 2004).

Kojenerasyon tesisleri, kurulduğu işletmelere ısı ve elektrik satışı fiyatlarının altında bir maliyetle

kesintisiz elektrik üretimi olanağı sağlarken, yılda 400 ila 500 milyon dolarlık bir ulusal yatırıma yükünü azaltır. Kojenerasyon tesisleri enerjinin tüketildiği yerlere kurulduğunda, hat kayıplarında genel olarak %10 ila %20 arasında değişen azalmalar ile; 500 ila 600 MW'lık enerji tasarrufu yapılabilir. Ayrıca, kojenerasyon tesislerinin verimleri kebeke santrallerinin verimlerine göre daha yüksek olduğundan, yılda 2 milyon TEP (Ton Petrol Ekişeri) enerji tasarrufu sağlanır. Bu ise, ülkemizde çakartılmaya çalışılan doğal gazın miktarının on bir katına ekidir (Topuz, 1997).

Borusan Güç Sistemleri firmasının yaptığı araştırmaya göre; elektrik kesintileri ve hatların yetersizliğinden kaynaklanan kalitesiz elektrik (büyük voltaj oynamaları) nedeniyle üretim kayıplarına uğrayan, ciddi bakım sorunları ile karşılaşan kuruluşların, tüm bu sorunları yok eden kojenerasyona ilgisi de artıyor. Borusan firmasının, bir firmada yaptığı fizibilite çalışmasında bu kayıpların yıllık 1 milyon Euro'ya ulaşabildiği görüldü (Yörü, 2008).

Elektrik üreten bir gaz türbini kullandığı enerjiyi sadece %30-40 kadarına elektrik çevirebilir. Ancak, bu sistemin bütünlük eş- güç sistemi ya da kısaca kojenerasyon şeklinde proses ısıtma ya da soğutmada kullanılması halinde, dışarıya atılacak olan ısı enerjisinin büyük bir kısmı kullanılabilir enerjiye dönüştürülerek, toplam enerji girişinin %70-90'ına değ erlendirilmesi sağlanabilir (Şekil 5.1) (Yörü, 2008).

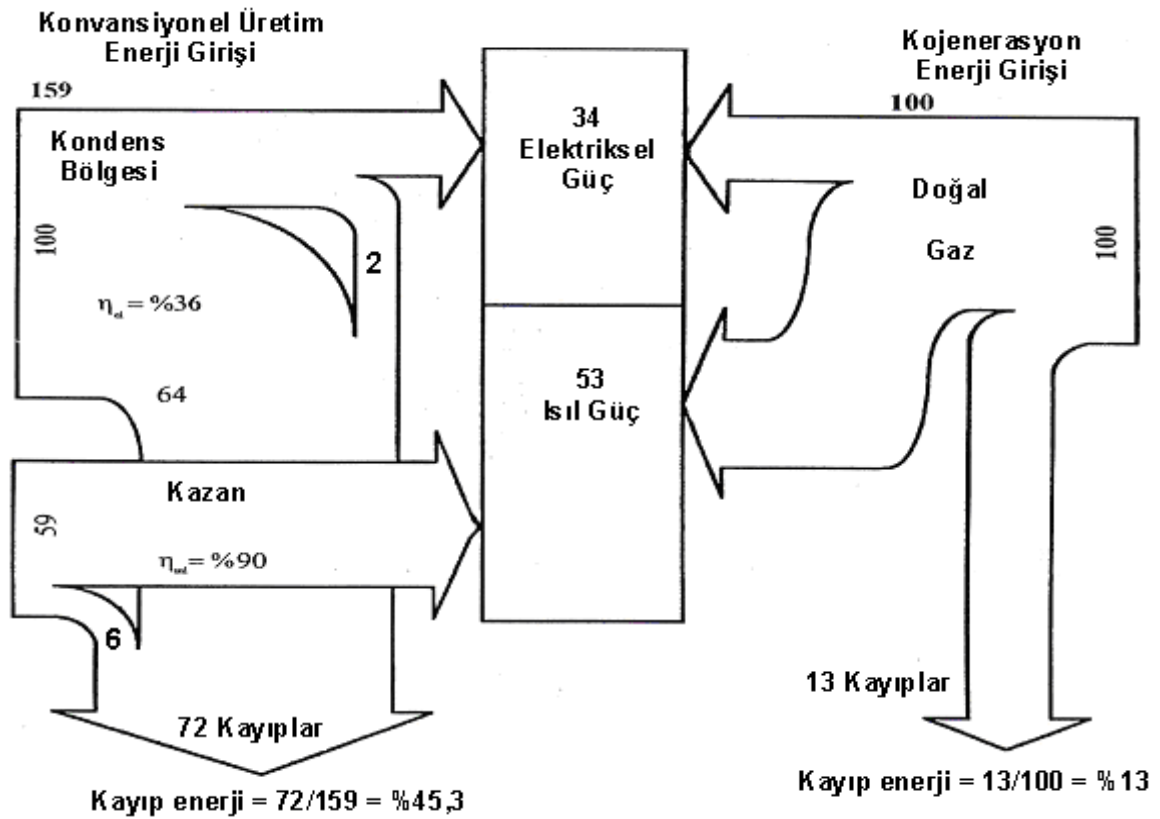


Şekil 5.1 Konvansiyonel elektrik üretimi ve kojenerasyon (Çengel ve Boles, 1998)

Kojenerasyon sisteminde, elektrik üretilirken kaybedilen çürük buharın yoğunlaşma işlemleri değerlendirilerek, enerji verimliliği artırılır.

Her iki enerji biçiminin aynı miktarlarda ayrı ayrı üretilmesi için gerekli birincil enerji miktarları, bunların kojenerasyonla üretilmesi durumunda ne oranda azalacağı şekil 5.2'de gösterilmektedir.

Konvansiyonel sistem ve doğalgazlı kojenerasyon sistemi ile enerji üretimi arasındaki farkların Sankey diyagramı üzerindeki karşılaştırılmasından görüldüğü gibi (şekil 5.2); 34 birim elektriksel güce, 53 birim ısı güce sahip olan bir tesisin bu ihtiyaçlarına karşılamak için, konvansiyonel sistemde 159 birim enerji gerekirken, doğalgazlı kojenerasyon sisteminde 100 birim enerji yeterli olmaktadır.

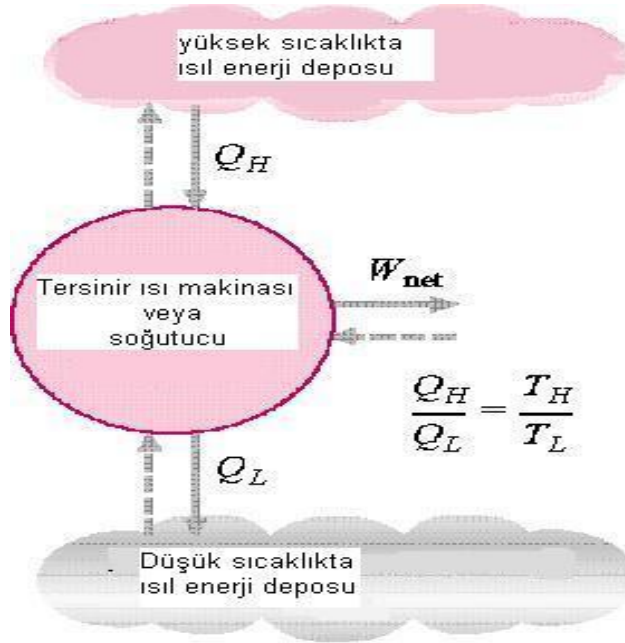


şekil 5.2 Doğalgazlı kojenerasyon ve konvansiyonel elektrik üretimi ile Sankey diyagramı kullanılarak karşılaştırılması (Koçak ve Gülken, 1998)

Kojenerasyon, bileşik ısı- güç üretiminin ekonomik öneminin yanı sıra çevreye salınan atıklar yönünden de değerlendirildiğinde, önemi daha da artmaktadır. Elektrik üretimi amacıyla kurulmuş bir santralle kıyaslandığında, hemen hemen aynı miktarda yakıt kullanan bir kojenerasyon santralinde, elde edilen her kW enerjiye karşı çok daha az miktarda CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> ve SO<sub>2</sub> gazları atmosfere bırakılmaktadır (Dilip, 1992).

Bir ısı makinesinde (şekil 5.3) üretilen ikin ( $W$ ) alınan ısıya ( $Q_H$ ) oranı ısı verim ( $\eta$ ) ya da kojenerasyon uygulamalarında elektrik çevrim verimi olarak tanımlanır ve aşağıdaki gibi ifade edilir (Kallıoğlu vd., 2002):

$$\eta = W/Q_H \quad (5.1)$$



şekil 5.3 Tersinir ısı makinesi (Çengel ve Boles, 1998)

Konvansiyonel sistemde çevreye atılan ısı ( $Q_L$ ), kojenerasyon sisteminde kullanılarak, enerjiden yararlanma oranı (EYO) maksimum düzeye çıkartılabilmektedir.

$$EYO = (W + Q_L) / Q_H \quad (5.2)$$

EYO'ya kojenerasyon uygulamalarında toplam verim de denilmektedir. Termodinamiğin birinci yasasına göre EYO 1'e eşit olsa da, atık ısıdan tamamen yararlanılamadığından, uygulamada bu mümkün değildir. Bu atık ısıdan, doğrudan ısı olarak yararlanılamadığından, ancak %35-55 aralığında verimler sağlanmaktadır. Dünyadaki en iyi örneklerden birisi olması nedeniyle, Ambarlı Birleşik Çevrim Santrali'nde verim değeri %50 civarında kalmaktadır (Külçe ve Topuz 1996). Oysa atık ısıdan yine ısı olarak faydalanılan kojenerasyon sistemlerinde, enerjiden yararlanma oranı (EYO) %80-90'dan fazla çıkartılabilir.

Bileşik ısı-güç santrallerinde üretilen ikin (elektrik) faydalanılan atık ısıya oranı elektrik ısı oranı (EIO) diye tanımlanır ve ısı verimi ile de gösterilebilir:

$$EIO = W/Q_L = \eta / (1 - \eta) \quad (5.3)$$

EIO, kojenerasyon sisteminin önemli özelliklerinden biri sayılmaktadır. Türbinlerde ise genellikle EIO'nun tersi olan eş oranı (IO) temel parametrelerden biri olarak verilir (Lucas, 2000).

$$IO = Q_L/W = (1 - \eta) / \eta \quad (5.4)$$

### • Kojenerasyonun Yararları

#### Makro düzeydeki yararlar şöyle sıralanabilir:

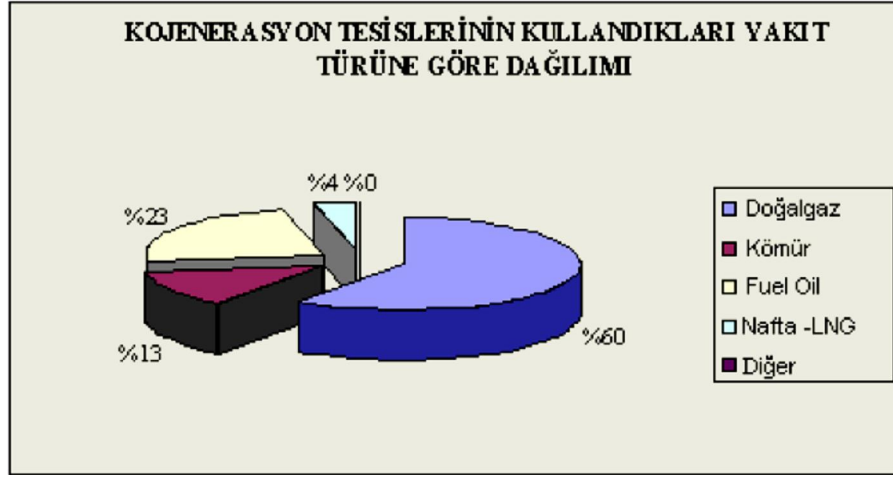
- ◆ Yüksek birincil enerji kullanımı verimliliği sağlanarak, yerel veya ithal edilen enerji kaynaklarında tasarruf,
- ◆ Enerji çevrimi tüketim yerinde gerçekleştirilerek, elektrik enerjisi iletim ve dağıtım kayıplarında azalma,
- ◆ Merkezi santrallara göre daha kısa inşaat ve devreye alma süreleri sağlanarak, elektrik enerjisi arzında hızlanma,
- ◆ Merkezi elektrik santrali ve buhar kazanına göre, üretilen yararlı eş güç birimi bakıma çevreye atılan katı sızı ve gaz madde miktarında azalma,
- ◆ Elektrik enerjisi az sayıda merkezi santral yerine dağıtmak bir şekilde endüstriyel tüketim yerlerinde üretilerek, ulusal güvenliğe katkı

#### Kullanım bazındaki yararlar ise şöyle özetlenebilir:

- ◆ Toplam enerji giderleri azaltılarak ve dolayısıyla, kalitesini düşürmeden nihai ürünün maliyeti düşürülerek, şirketin rekabet gücünde artma,
- ◆ Enerji temin güvencesi sağlanarak, üretim kesintilerinin yol açtığı zararlarda azalma,

### • Kojenerasyon Sistemlerinde Yakıt Kullanımı

Kojenerasyon, kömür, petrol türevi yakıtlar, doğalgaz ve biyokütle gibi çeşitli yakıtlarla yapılabilmektedir. Bu kaynakların en yaygın olanı doğalgaz ve kalyaktır. Ayrıca doğalgaz çevre dostu bir yakıt olarak hava kirliliğini de azaltan bir yakıttır (Yörü, 2008). Günümüzde kojenerasyon tesislerinde kullanılan yakıtların % 60'ine doğalgaz olmaktadır (Şekil 5.4) (Güngör, 2007). Yakıt seçimindeki en önemli kriterler yakıt fiyatı ve arz güvenilirliği'dir. Bu nedenle, fosil yakıt rezervlerinin miktarı ve dağılımı göz önüne alındığında, arz güvenilirliği ve fiyat konusunda sorunlar yaşanan sızı ve gaz yakıtların tercih edilmesi enerji güvenliği'ni sağlamaktadır.



Şekil 5.4 Türkiye’de kojenerasyonun kullanılan yakıt türüne göre dağılımı (Güngör, 2007)

Günümüze kadar kısa vadede çözüm getirdiği için, doğalgaz kombine çevrim santrallerine ve diğer akaryakıtlar için kojenerasyon uygulamalarına öncelik verilmiştir. Gelirken yeni teknolojiler ile uzun vadede kömürlü ve dolayısıyla ülkemizin öz kaynaklarına dayalı kojenerasyon yatırımlarına da önem verilmesi gerekmektedir (Yörü, 2008).

### 5.3 Kojenerasyon Teknikleri

Kojenerasyon teknikleri en genel halde üç başlık altında incelenebilir:

- ◆ Buhar türbinli kojenerasyon,
- ◆ Gaz türbinli kojenerasyon,
- ◆ Motorlu kojenerasyon.

#### 5.3.1 Buhar türbinli kojenerasyon

Buhar türbinli kojenerasyon sistemi, genel olarak bir kazan ve bir karkas basınçlı buhar türbininden oluşur. Bu sistemde, 45-110 bar basınçta 400-500°C sıcaklıkta buhar üretmek için fosil yakıtlar veya çakıtlı atıklar yakılır. Bu yüksek basınçlı buhar, bir rotoru döndürmek üzere buhar türbinine gönderilir. Türbin jeneratörü tahrik eder ve elektrik üretilir. Türbini terk eden daha düşük sıcaklık ve basınçtaki buhar bir proseste kullanılabilir. Karkas basınçlı türbine alternatif olarak, aynı tarzda çalışan ancak endüstriyel bir proseste kullanılmak için orta kademelerde farklı basınç ve sıcaklıklarda buhar çekilebilen, ara buhar almalı türbinler de kullanılabilir.

Karkas basınçlı türbin, çekimindeki basınç yüksek tutulması prensibine dayanır. Türbin





Kombine çevrimlerde yakıt enerjisinin %40'ine ya da daha fazlası elektriğe çevirilebilir. Eğer ilave yanma kullanılmıyorsa, eşe ve elektriğin birlikte çok esnek üretimi sağlanır.

Gaz türbinleri yüksek güvenilirlikte ve minimum bakım ihtiyacıyla çalışır. Dünyada gaz türbinleri 500 kW'den 20 MW'a kadar geniş bir güç aralığında üretilirler. Ancak, 1 MW'dan küçük türbinler, daha düşük verimlilikte çalışırlar ve birim kW başına yüksek yatırım maliyeti gerektirirler. Gaz türbinlerinin başlıca avantajları

- ◆ Isı/güç oranında iletim esnekliği potansiyeli,
- ◆ Uzun süreli kesintisiz çalışmaya güvenilirliği,
- ◆ Yüksek kalitede eşe sağ laması elektrik çakı frekans kontrolünü yüksek hızlarda da sabit kılma,
- ◆ Yüksek güç ağırlık oranı
- ◆ Soğutma suyuna ihtiyaç duymama;

dezavantajları ise,

- ◆ Çakı aralığı içindeki sınırlı ünite hacimleri,
- ◆ Motorlara göre daha düşük mekanik birim,
- ◆ Gaz yanması yüksek basınçlara ihtiyaç duyma,
- ◆ Yüksek gürültü seviyeleri,
- ◆ Düşük yüklerde verim düşüklüğü

şeklinde sıralanabilir. Gaz türbinli sistem buhar türbinli sistemden daha fazla yakıtı ihtiyaç duyar; ancak, birim proses buharı başına daha fazla elektrik üretir. Kullanılan bazı gaz türbinleri çift yakıtlıdır. Hem doğalgaz hem de petrol türevlerini kullanabilirler.

### 5.3.3 Motorlu kojenerasyon

Motorlu kojenerasyon sistemlerinde eşe geri kazanımı için iki eşe kaynağı vardır: yüksek sıcaklıktaki yanma gazı ve düşük sıcaklıktaki motor çekti soğutma suyu.

Pistonlu motorlar, çekitli termodinamik ve iletim çevrimlerinde çalışabilirler. Ancak, motora karakteristik özelliğini veren basit üç işlem vardır: yakıt bir silindir içerisinde tutulur, yanar ve yanma sırasında oluşan gazlar genleşir; genleşen gaz bir pistonu sıkıştırır ve gaz içerisindeki enerji mil gücüne dönüşüm olur; son olarak, piston ile mil arasındaki bağlantı nedeniyle, pistonun doğrusal hareketi mil kolunun çevirme hareketine dönüşür.

Pistonlu bir gaz motorunda, yakıtın enerjisinin (birincil enerjinin),

- ◆ %35 i 40'e mekanik güce,
- ◆ %30 i 35'e motor ceket ısıtma,
- ◆ %25 i 30'u yanma gaz ısıtma,
- ◆ %7 i 10'u ise radyasyonla kayıp enerjiye dönüşmektedir.

Daha düşük sıcaklıkta ve miktarda, atık ısı sağladıklarından dolayı özellikle elektrik ihtiyacı ısı ihtiyacından daha fazla olan (yani elektrik ısı oranı yüksek) endüstriyel uygulamalarda, toplu konut, tatil köyleri, büyük oteller gibi sıcak su ve soğutma gereksinimi olan uygulamalarda, motorlu kojenerasyon sistemleri optimum çözümler sunmaktadır.

Gaz motorunda ortaya çıkan ve kojenerasyon amaçlı sisteme verilen ısı enerjisi üç unsurdan elde edilir: Gaz motorunun yağ lama yağı devresi, yanma gazları ve karj havası silindir bloğu soğutma devresidir. Yağ lama yağları bu amaçla kullanışın veya kullanılması, 120°C'ye kadar sıcak su formunda bir ısı kaynağı oluşturur. Öte yandan, egzoz gazlarının sıcaklığı yaklaşık olarak 400°C'ye kadar çıkabilir. Atekleme sistemlerine göre kâdîcân ateklemeli (Otto) ve basıncı(Dizel) olmak üzere iki tip motor vardır.

#### • Kâdîcân ateklemeli motor (Otto motoru)

Otto motorunun karakteristik özelliği, atekleyicinin besleme biriminde olukun hava ve yakıt karışımını kâdîcân ile tutukturmasıdır. Yanan yakıt genleşir ve pistonu güç uygulayarak onu harekete geçirir; böylece, iş icra edilmek olur (Lindberg, 1999). Bu tip motorun ana avantajı soğutma suyunun 120°C'ye kadar yüksek sıcaklıklara çıkmasıdır. Enerji üretim tesislerinde, otto motoru, ateklemeli sisteme çevrilmik bir benzin motoru veya bir dizel motorudur. Gaz motorları için güç değerleri, 20 kW ile 1,5 MW arasında değişmektedir. Dizel motorlarından çevrilmik olan ateklemeli motorların doğalgazla çalıştıklarında, 5 kW ile 4 MW arasındaki kapasiteleri vardır. Otto motorlarının çalışma hızları 750-3000 devir/dak arasında; elektrik verimleri ise %25-35'tir (Lindberg, 1999). Soğutma ve egzost ısıları seri olarak bir atık ısı kazanında geri kazanılır ve düşük basınçlı buhar ya da orta/düşük sıcaklıkta sıcak su elde edilir. Bu tip motorlar benzin ve doğalgaz gibi yakıtlarla çalışırlar, küçük ve basit tesislerde kullanılırlar. Biyogazlar ve benzer olarak geri kazanılmak gazları da kullanılabilir; ancak, düşük kalorifik değerlerinden dolayı motor çıkış değerlerinde düşük olur.

#### • Dizel motoru

Otto motorundan farklı olarak, dizel motorunda yakıt ateklemek için dışarıdan sağlanan kâdîcân kullanılmaz. Bunun yerine, yakıt, havayla karışık silindirlere enjekte edilir ve

pistonlar yakıt/hava karışımına basınç altında aldıkları anda oluklanma ile ateşlenir. Dizel motorlar genel olarak iki tiptedir: 2-stroklı ve 4-stroklı. 2-stroklı motor, her devirde gelen tek atakleme özelliği ile belirgindir; 200 devir/dakika altında çalışır ve %45-53'ün yüksek elektrik kapasitesi ile 1-50 MW'deki güçleri sağlar. 4-stroklı motorda atakleme birer devir aralıklarıyla meydana gelir; 400-2000 devir/dakika arasında çalışır ve %35-45 arasında elektrik verimiyle birkaç kW ile 20 MW arasında güç değerlerinde görev yaparlar (Unescap, 1998). Dizel motorlar dizel, mazot, LPG ve doğalgaz gibi birçok farklı yakıtla çalışabilirler.

Motorların avantajları

- ◆ Geniş yük aralığında bile yüksek güç verimliliği,
- ◆ Yüksek elektrik /ısı oranı
- ◆ Düşük maliyet,
- ◆ Uzun işletme ömrü,
- ◆ Talepteki dalgalanmalara göre esneklik;

dezavantajları ise,

- ◆ Geri kazandırmaya elverişli değildir bile kullanılma zorunluluğu,
- ◆ Düşük güç / ağırlık oranı ve dengeleme kuvvetlerinin dayanıklı tesislere ihtiyaç göstermesi,
- ◆ Yüksek bakım maliyeti

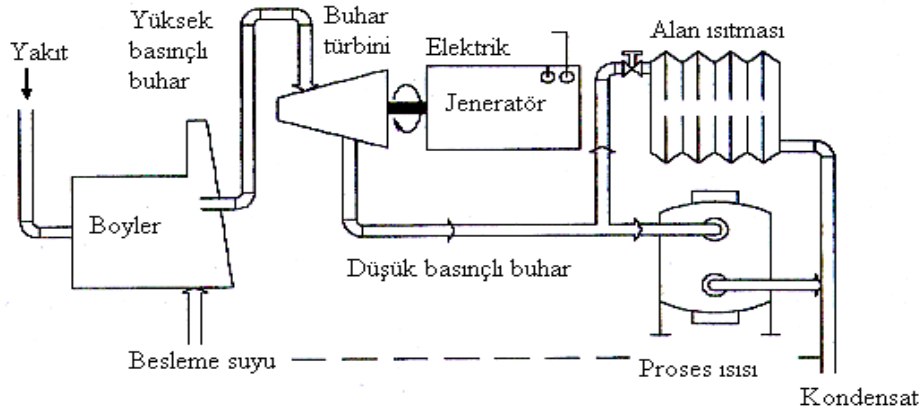
şeklinde sıralanabilir.

#### 5.4 Kojenerasyon Sistemleri

Kojenerasyon, genellikle elektrik ve yararlı ısı (sıcak su veya buhar şeklinde) üretmek için kullanılır. Kojenerasyon sistemleri için üç yaklaşım vardır (Wilkinson ve Barnes, 1993):

- ◆ Merkezi kullanımlı tesis sistemleri,
- ◆ Endüstriyel tesis sistemleri,
- ◆ Entegre modüler sistemler.

Merkezi kullanımlı ısıtma buharı/elektrik kojenerasyonu ve endüstriyel tesislerdeki kojenerasyon, 50 yıldan fazladır kullanılmaktadır. Ancak, entegre modüler tesisler gibi bazı kavramlar yeni ele alınmaktadır. Bu üç şekildeki kojenerasyon sistemlerinin temel nitelikleri şekil 5.5'de görülmektedir. Hiçbirinin nitelikleri tam değildir ve çoğu uygulamalarda birbirleri ile kesilebilirler.



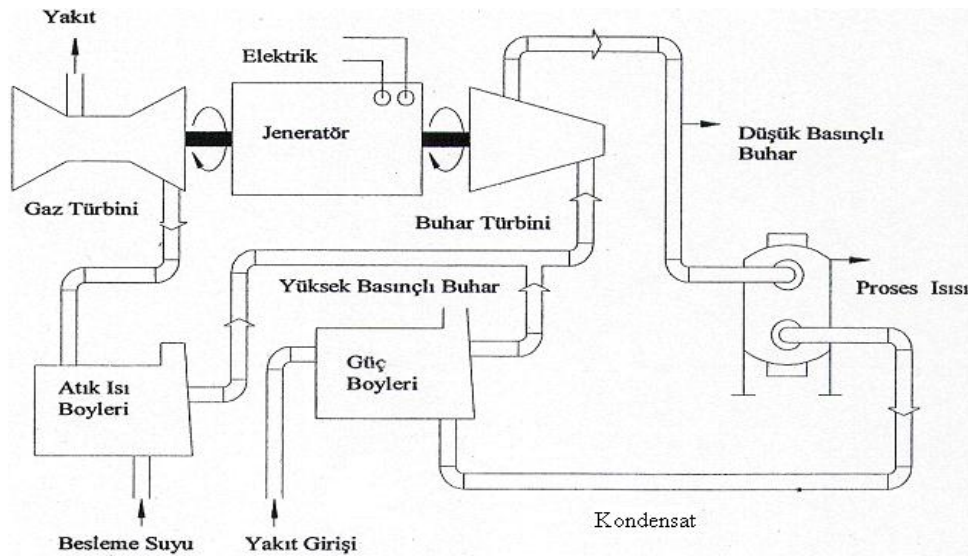
Şekil 5.5 Merkezi tesis kojenerasyon sistemi (Wilkinson ve Barnes 1993)

- **Merkezi kullanımlı tesisler**

Büyük merkezî güç tesislerindeki kojenerasyon ile, Şekil 5.5’de ticari binalarda ve konutlarda alan ısıtması ve sıcak su, ve endüstriyel tesislerde ise alan ısıtması ve düşük sıcaklıkta proses ısıtması sağlanır.

- **Endüstriyel tesisler**

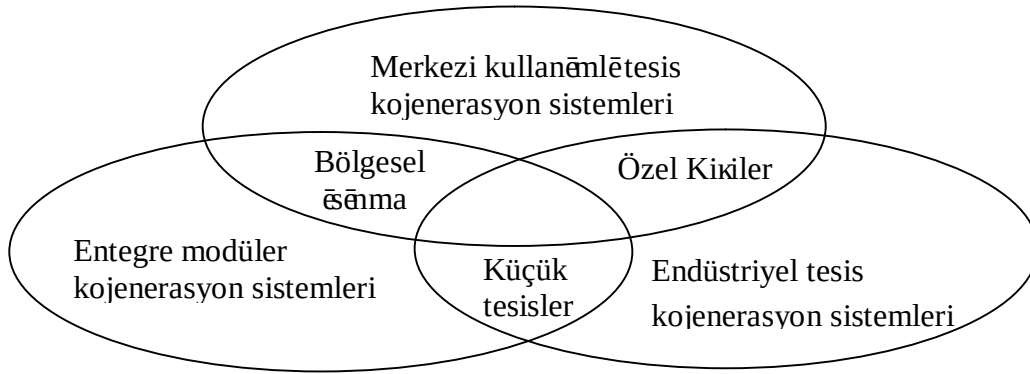
Kojenerasyon başlıca, iki endüstriyel alanda uygulanabilir: yüksek derecede ısı enerjisi gerektiren (gübre, çelik, çimento, seramik ve cam tesisleri) ve düşük derecede ısı enerjisi gerektiren (kağıt, tekstil, yiyecek ve içecek tesisleri, vb.). Örnek olarak, kombine çevrim kojenerasyon sistemi kullanan bir kimya tesisinde (Şekil 5.6) aynı amaçla kullanılan konvansiyonel tesisden %30 yakıt tasarrufu sağlanmaktadır.



Şekil 5.6 Endüstriyel tesis kojenerasyon sistemi (Wilkinson ve Barnes, 1993)

- **Entegre modüler sistemler**

Elektrik ve ısı üretimi sağlayan çift amaçlı entegre modüler sistemler apartmanlarda, alık verik merkezlerinde, üniversitelerde ve endüstriyel parklarda kullanılabilir. Ancak, bu küçük sistemler yüksek maliyetlere sahiptir. Küçük boyler ve jeneratörler için birim buhar ya da elektrik ıkıkık bakıkna yatıkın maliyeti, büyük endüstriyel ya da merkezi sistemlere göre %50-%100 daha fazladır.



ıkıkil 5.7 Kojenerasyon sistemleri (Wilkinson ve Barnes, 1993)

### 5.5 Kojenerasyon Tekniği Seçimi

Kojenerasyon amacıyla uygulanacak teknik ve sistem tipi, maliyet, toplam verimlilik ve özellikle kullanıkın gereksinimleri dikkate alınarak, uygun bir ıkıkilde seçilmelidir. Kojenerasyon oldukça büyük bir yatıkın gerektirdiği için sistemin teknik yönden fizibilitesinin ayrıntılı olarak yapılması çok önemlidir. Bu fizibilite sonuçları maliyet ve kaliteden dahi önce gelebilmektedir. Uygun sistem seçimi akıkıdaki parametrelere göre yapılır (Koçak ve Gülken, 1998).

- **Toplam sistem kapasitesi**

Kojenerasyon sisteminde ihtiyaç duyulan güçler büyüdükçe, seçim, gaz türbininden yanadır. Uygulamalarda, genellikle 2,5 - 3 MW seviyesinin altındaki kapasiteler için gaz motorları üzerindeki kapasiteler için ise gaz türbinleri kullanılır.

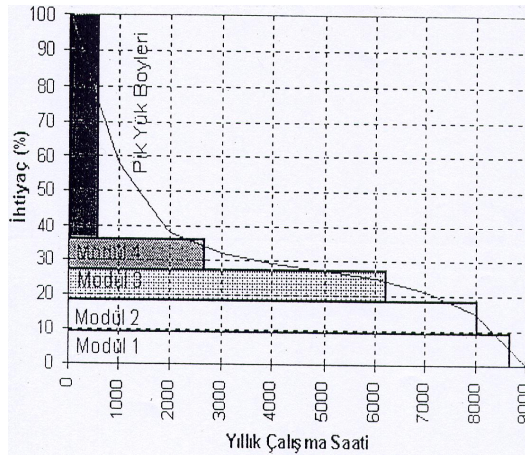
- **Elektriğin kalitesi**

Elektrikteki frekans ve gerilim hassasiyetinin yüksek olduğu ıkletmelerde, teknolojinin karlığıkına ya da kebeke elektriğinin sürekliliğine bakmaksızın, kojenerasyon yatıkın zorunlu hale gelebilir. Özellikle hassas elektronik cihazların bulunduğu tesislerde, frekans ve gerilim

değerlerinin toleransı çok azdır. Tesiste bu türden sorunlar varsa kojenerasyon kaçınılmaz olur ve tolerans miktarı azaldıkça, sistem seçimi gaz motorundan gaz türbinine doğru kayar.

- **Yük durumu**

Tüketim bölgesinin ısı ve elektrik yük eğrilerine göre seçim yapılabilir. Eğer yük eğrisi çok dengesiz oluyorsa; yani yük değerleri günün, haftanın, yılın çekitli zamanlarında çok farklılık gösteriyorsa, tüketim birden fazla modül ile karşılanabilir. Böyle bir yük eğrisi şekil 5.8'de görülmektedir.



Şekil 5.8 Tipik bir yıllık yük eğrisi (Koçak vd., 1998)

Gaz türbinleri ve gaz motorları sabit miktarda yüklerle çalışmak üzere tasarlanmıştır. Ancak, yükteki bir azalma gaz türbinini daha çok etkiler. Yük azaldıkça zaman toplam verim, özellikle elektrik verimi hızla düşer. Örnek olarak, gün içinde 400 kW, gece ise 200 kW elektrik enerjisi ihtiyacı olan bir hastanedeki elektrik tüketimini karşılamak üzere, 200 kW'dan iki gaz motorunun kullanılması çalışma rejiminin daha verimli olması sağlar.

- **Çevre sıcaklığı**

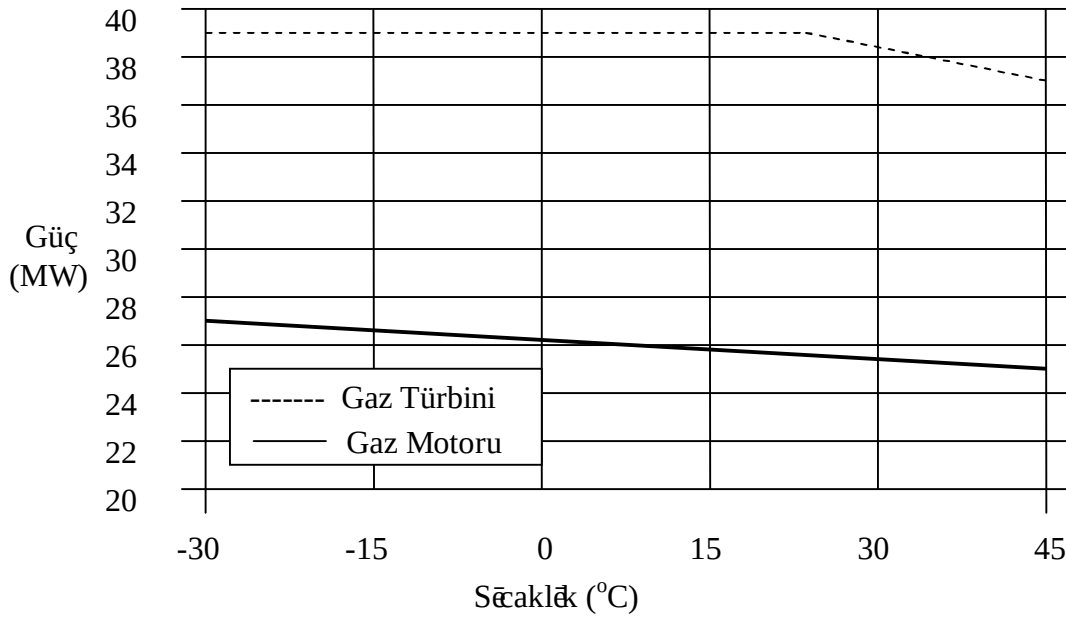
Gaz motorları yüksek sıcaklıklarda bile elektrik verimini korurken, 40°C ve üzerindeki sıcaklıklarda, gaz türbinlerinin verimi %15-20 kadar düşer. Şekil 5.9'a göre, gaz türbininin elektrik verimindeki azalma -30°C'den +15°C'ye kadar sabittir. Ancak daha yüksek sıcaklıklarda eğrinin eğimi artar.

- **Elektrik verim oranı**

Termik ve mekanik güç ihtiyaçları seçim parametrelerinin en önemlilerindendir. Sağlıkla bir seçim için yıllık, yoksa aylık ya da haftalık bazda tüketim değerleri tespiti yapılmalı bunlar grafiklere dökülmelidir. İlk olarak, yıllık ortalama elektrik tüketimine bakılır ve atıl kapasite

yaratmayacak şekilde bu tüketimin az altında kalacak bir kapasite seçilir. Birinci amaç, elektrik tüketimine yönelik kapasite belirleme olmalıdır. Santralin elektrik kapasitesi belirlendikten sonra, tüketim verilerine bakılır. Bu veriler hangi sisteme uygun ise o sistem seçilebilir.

Gaz türbini ile yapılan kojenerasyon sistemlerinde, elektrik ısı oranları 0,40 - 0,50 civarındadır. Yani toplam enerji yaklaşık %34'ü elektrik enerjisi, %53'ü ısı enerjisidir. Gaz motorları ile yapılan uygulamalarda ise elektrik ısı oranları 0,75 - 0,80 civarındadır.



Şekil 5.9 Gaz türbini ve gaz motorunun çevre sıcaklığına göre verim değişimleri (Koçak ve Gülken, 1998)

Yani toplam enerji yaklaşık olarak %40'ü elektrik gücü olarak elde edilirken, %50'si termik güç olarak geri kazanılabilir. Kojenerasyon sistemlerinin bu temel ayrılarından dolayı tüketim bölgesinin özelliklerine yani hangi oranda ısı ve elektrik ihtiyacı bulunduğuna göre seçim yapılır (Kıllıç 2002).

#### • Çalışma durumu (baklatma sayısı)

Baklatma ve durdurma sayısındaki farklılık gaz türbini daha fazla etkiler. Baklatma ile çalışma modunda yükü kabul edecek akmaya kadar geçen zaman süresi gaz türbininde daha fazladır. Bu değer gaz türbininde 15 - 17 dakika iken, gaz motorunda 2-3 dakikadır. Gaz motorları ile çalışma ömrü daha fazladır ve bakımı daha kolaydır. Gaz motoru için minimum 4 barlık gaz basıncı gerekirken, gaz türbininde 16-20 bar basınç gerekir. Sonuç olarak, gaz motorları ile



daha kolay devreye alılabilmesinden dolayı senelik baklatma sayıları fazla olan işletmeler için gaz motoru kullanılmaya geçilmez hale gelir.

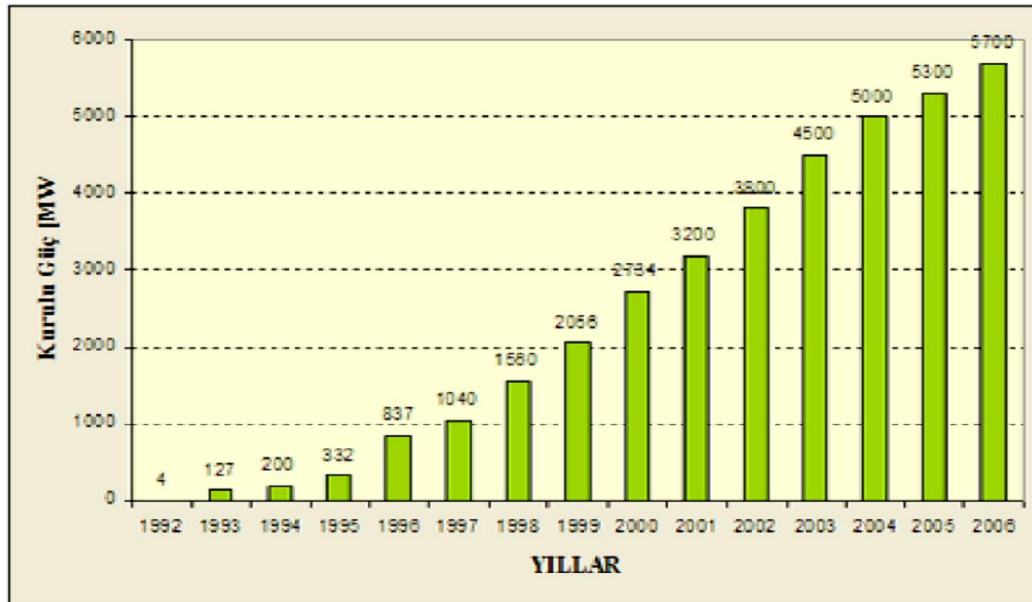
- **Yakıt tipi**

Çeşitli nedenlerden dolayı kojenerasyon sisteminde kullanılacak yakıt türlerine göre de sistem seçimi yapılabilir. Bazı uygulamalarda birden fazla, örneğin iki veya üç yakıt tipi kullanılabilirken, bazı tesislerde doğrudan yakıt tipinden yola çıkılarak sistem seçimi yapılabilir. Çöplük gaz veya arıtma gazı ile çalışan sistemler buna örnek olarak verilebilir.

Türkiye'de, özellikle doğalgaz kullanılan yerlerde, sistem çok ekonomik olabilir ve yatırımın geri ödeme süresi iki yıl ya da daha kısa olabilir.

## 5.6 Türkiye'de Kojenerasyon Uygulamaları

Kojenerasyon uygulamaları Türkiye'de ilk olarak 1992 yılında Yalova Fiber Fabrikasında kurulmuş oldu ve 3.7 MW'lık Typhoon Gaz Türbini'ne sahip kojenerasyon tesisi ile başlamıştır. Geçen 14 yılda kojenerasyon uygulamaları hızla gelişerek kurulu güç, 2006 yılında toplam 5700 MW'a yükselmiştir (Şekil 5.10) (Güngör, 2007).



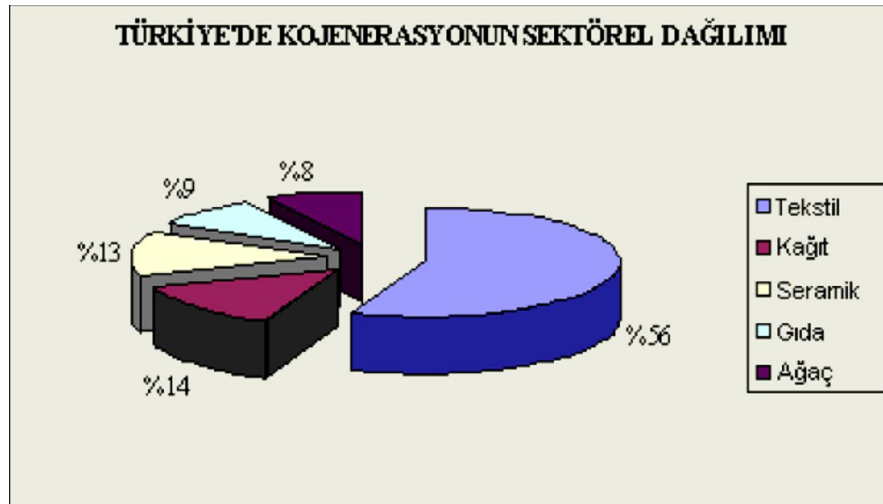
Şekil 5.10 Türkiye'de kojenerasyon uygulamalarında yıllara göre toplam güç artışı (Güngör, 2007).

Kojenerasyon sistemleri Türkiye'de özellikle sanayi tesislerinde geniş uygulama alanları bulmuştur. Elektrik ve ısıman gerektiren büyük fabrikalarda kullanılan kojenerasyon

sistemleri, yatırım maliyetlerine karşın bu maliyetleri 4-5 yıl içerisinde geri ödeyecek kadar büyük gelir getirebilmektedir. Kojenerasyon uygulamaları ilk olarak Türkiye’de Aksa, Yalova Elyaf, Sifak, Çolakoğlu Metalurji, Kahinler Holding, Çerkezköy ve Bursa sanayi bölgelerinde uygulanmaya başlanmıştır. Bunlar Koç Holding ve Sabancı Holding gibi daha büyük firmalar da takip etmek ve kojenerasyon sistemleri hızla yayılmaktadır (Aydın, 1995).

Bu alanlardan bazıları seramik fabrikaları, kağıt ve orman ürünleri fabrikaları, kimya fabrikaları, elektrik üretim santralleri, tekstil fabrikaları, plastik fabrikaları, alüminyum tesisleri, çelik fabrikaları, demir-çelik fabrikaları, biyogaz ve çöp gazı üretim tesisleri, beyaz etik üretim fabrikaları şeklinde sıralanabilir. Tekstil bunun %56’lık bölümünü oluşturur (Şekil 5.11). Bunların yanında son yıllarda özellikle mikrokojenerasyon sistemlerinin de yaygınlaşmasıyla oteller, hastaneler, alışveriş merkezleri, villalar, ık merkezleri ve hatta apartman ve sitelerde de kullanılabilmektedir (Aydın, 1995).

Türkiye’de enerji tüketimi, endüstriyel ihtiyaçlar ve şehirleşmenin bir sonucu olarak son 20 yılda büyük ölçüde artmıştır. Hepbakkı (2005) bu durumu aynı döneme ait toplam enerji üretimi ve tüketimi arasındaki farkı azaltmak için gösteren grafikler ile ortaya koymuştur. Bu nedenle büyük ölçekli işletmelerin birçoğu bu süreçte kendi kojenerasyon sistemlerini kurmuşlardır (Hepbakkı 2002).



Şekil 5.11 Türkiye’de kojenerasyonun sektörel dağılımı (Güngör, 2007)

Türkiye’de 1994 yılına kadar sadece 4 kojenerasyon tesisi çalışmıyordu ve 30 MW toplam kapasiteye sahipti. Mart 2000’de 80 otoprodüktör tesisi (Türk Ticaret Kanunu’nda yer alan ve kendi endüstriyel imkanları ile Türkiye’de firmaları elektrik üretmesi) 2079 MW elektrik üretme kapasitesine sahipti (Hepbakkı and Özalp, 2002b). 1998 yılında Türkiye’nin toplam

enerji tüketiminin %38'i endüstriyel sektöre aitken, bunu %34 ile yerleşim yerleri, %19 ile ulaşımlar, %5 ile tarım takip etmiştir. Bu verilere göre endüstriyel sektörün 2010 yılında %49 ve 2020 yılında %59 artması beklenmektedir (Hepbakkı ve Özalp, 2002a). Bu artışa paralel olarak kojenerasyon sistemlerin gelişmesinde de önemli bir artış olacağı öngörülmektedir (Hepbakkı ve Özalp, 2002c)

Kojenerasyonun bilinçli ve planlı bir şekilde Türkiye'de uygulama alanına konulması 1984 yılında çıkartılan 3096 sayılı yasanın özel sektöre verdiği elektrik tesislerini kurma ve işletme yetkisi ile başlamıştır. Bu yasadan yaklaşık bir yıl sonra çıkartılan 85/9799 sayılı kararname ile Türkiye'de "Otoproduktörlük" yasal alt yapısı oluşturulmuş ve o günden itibaren bilinen gelişmesiyle Otoproduktörlük, 2000 yılı sonu itibarıyla, Türkiye elektrik üretiminin %14'ünü üreten en büyük özel enerji sektörü olma başarısını göstermiştir (Yörü, 2008).

Özellikle otoproduktörlerin kojenerasyon tesisleri ile ilgili durumu ve gelişimi Aras (2003) tarafından değerlendirilmiştir. 2010 yılında otoproduktör firmaların ürettiği toplam elektrik kapasitesinin 12396.1 MW'ı bulacağı öngörülmektedir (Aras, 2003).

Türkiye'de yer alan kojenerasyon sistemlerinin kullanıldığı bazı fabrikalar ise Orhan (2003)'e göre şöyle sıralanmıştır: Trakya (Hamitabat) kombine çevrim santrali, Ambarlı kojenerasyon santrali, Bursa doğalgaz kombine çevrim santrali, Bursa Entek kojenerasyon santrali, İzmit Kentsel kojenerasyon santrali, Zonguldak Alaplı kojenerasyon santrali, Çerkezköy kojenerasyon santrali, Bozüyük kojenerasyon santrali, Kemerburgaz kojenerasyon santrali, Esenyurt kojenerasyon santrali, Eskişehir Arçelik kojenerasyon santrali, İzmir Ege Seramik Birlik İS A.Ş. kojenerasyon santralleridir. (Yörü, 2008).

## 5.7 Kojenerasyon ve Ekserji Analizine İlişkin Yapılan Çalışmalar

Moran ve Sciubba (1994), ekserji konusundaki çalışmalarını tarayarak ekserji çakıtlarını tanımlamıştır. Ayrıca, ekserji analizinin prensiplerini ve pratik temel bazı ilkeleri ortaya koyarak ekserji çakıtları için bazı ilkeleri ayrı ayrı çakırmıştır.

Tekin (1996) yaptığı çalışmada, Erzurum keker fabrikasının ekserji analizini yapmıştır. Bu amaçla, sistemin matematik modelini kurarak her bir alt ünite için ekserji bant diyagramı oluşturmuştur. Enerji ve ekserji kayıp miktarları ile yerlerini belirlemiştir. Ayrıca, yasal bazı katsayıları ile tesisin üniteleri arasındaki etkileşimleri incelemiştir. Sonuçta, bazı prosesleri uygun şekilde ayarlanması ile ekserji kaybında %26'dan bir azalmanın mümkün olacağı ileri sürülmüştür.

Tsatsaronis ve Moran (1997)ın bir çalışmasında, ekserji verimi, kayıp ekserji miktarı ekserji kayıp oranı, kayıp ekserji maliyeti, eksergoekonomik faktör ve ilk yatırım maliyeti gibi termoekonomik değişkenleri kullanarak kojenerasyon sisteminde minimum maliyet analizi yapılmıştır. Bu çalışmada, türbinden elde edilen elektriğin maliyeti 18,76 \$/GJ olarak hesaplanırken, ısıtma amaçlı kullanılan sıcak suyun maliyeti 27,23 \$/GJ olarak hesaplanmıştır.

Campo ve arkadaşları (1998), şeker fabrikasında bulunan kojenerasyon sisteminde ekizlik yöntemini kullanarak sistemin her bir birimindeki çıktı için ekserji ve maliyet analizi yapmıştır. Özellikle büyük tersinmezliklerin olduğu birimlerde maliyetin de arttığı ve bundan dolayı sistemin ürün maliyetinin arttığı belirlenmiştir.

Doldersum (1998), ekserji analiz programı yardımı ile rafinerideki her bir biriminin enerji ekserji kayıplarını hesaplamıştır. Yapılan çalışmada rafinerideki ekserji kayıplarında %70 azalma sağlanacağı ve bu sayede önemli oranlarda yakıt tasarruf edileceği belirlenmiştir.

Kim ve arkadaşları (1998)ın yaptığı çalışmada, kojenerasyon sisteminde ekserji ve ekonomik analiz birlikte kullanarak, sistemden elde edilen elektriğin ve ısıtma maliyetleri hesaplanmıştır. Ayrıca, değişik yük durumlarında, ekserji maliyetleri hesaplanarak, en düşük ekserji maliyetinin %100 yük durumunda olduğu tespit edilmiştir.

Torres ve Gallo (1998), 200 MW elektrik enerjisi ve saatte 2100 ton buhar üreten bir kojenerasyon santralinde birinci yasa ve ekserji verimlerini hesaplayarak birimlerde meydana gelen tersinmezlikleri hesaplamıştır.

Arena ve Borchiellini (1999) tarafından yapılan çalışmada, ısı güç üreten bir tesisde farklı üretim yöntemlerine dayanarak termoekonomik analiz yapılmıştır. Bu çalışmada sistemdeki alt elemanlar ve sistemin tamamı için ortalama ekserjik maliyet hesaplanmıştır.

Erlach ve arkadaşları (1999)ın yaptığı çalışmada, termoekonomide yaygın olarak kullanılan matematiksel yöntemler ve standartlar ile, yapısal teori, geliştirilerek kojenerasyon sisteminde uygulanmıştır.

Dinçer (2000b) çalışmasında, soğutma sistemleri için enerji ve ekserji analizini bir örnekle göstermiştir. Çalışmada ayrıca, enerji ve ekserji kavramları üzerinde karışık bir yaklaşımla bilgiler sunulmuştur.

Guaribelli ve arkadaşları (2000), gaz türbinli kojenerasyon santralini enerjetik, ekserjik ve

termoekonomik açıdan analiz etmişlerdir. Bu çalışmada, tesisin her bir birimi için ekserjik ürün maliyetleri çıkarılarak tüm sistem için ekserji ve maliyet analizi yapılmıştır.

Verkhivker ve Kosoy (2001)'ın yaptığı çalışmada, Rankin buhar güç santralleri ekserji ve ekonomik açıdan analiz edilerek her iki santral için ekserji kayıplar, enerji verimi ve ekserji verimi hesaplanmıştır. Rankin buhar güç santralinde, kimyasal ekserjinin %62,03'lük kısmı tersinmezliklere harcandığı tespit edilmiştir.

Kılal (2002), tarafından yapılan çalışmada, GAP bölgesinde kojenerasyon sistemlerinin teknik ve ekonomik açıdan uygunluğu araştırılmıştır. GAP bölgesinde uygulanacak kojenerasyon sistemlerinin, enerjinin verimli kullanılması ve çevre sağlığına katkıları ifade edilmiştir.

Song ve arkadaşları (2002), 150 MW'lık bir gaz türbini tesisinde ekserji analizine dayalı bir performans analizi yapmıştır. Gaz türbin tesisinin bütün birimleri için türbinin farklı yük durumlarında ekserji kayıp oranlarını hesaplamıştır.

Tsatsaronis ve Park (2002) tarafından yapılan çalışmada, ısı sistemlerinin maliyet etkinliği ve termodinamik performansları incelenmiş, sistemin geliştirilebilir potansiyeli araştırılmıştır. Bir kojenerasyon tesisi örnek alınarak, bu tesisdeki kompresör, türbin, ısıtıcı ve yanma odası için önlenemez ekserji kayıpları ve yatırım maliyetleri incelenmiştir.

Mert ve arkadaşları (2009) tarafından yapılan çalışmada, bir kojenerasyon tesisinin geleneksel ve ileri ekserji analizleri yapılmıştır. Sistemde meydana gelen ekserji tahribi ileri ekserji analizi yapılarak endotahrip ve ekzotahrip kısımlarına ayrılmıştır.

Mert ve arkadaşları (2010a) tarafından yapılan çalışmada, bir kojenerasyon tesisinin atık ısı kazanımları eksergoekonomik olarak incelenmiş, atık ısı kazanımları ürettiği kuru buhar birim ekserji maliyeti 60,16 TL/GJ, üretilen 45 ve 14 bar'lık kuru buhar toplam maliyeti ise sırasıyla, 108,33 TL/ton ve 92,69 TL/ton olarak bulunmuştur.

Mert ve arkadaşları (2010b)'nın yaptığı çalışmada bir demir çelik fabrikasında kullanılan buhar kazanları enerji ve ekserji analizi yapılmış, saatte 58 ton 85 ton kuru buhar üretimi yapan aynı yapıya sahip kazanlarda, bir ton kuru buhar elde etmek için harcanan enerji miktarları sırasıyla, 1,62 MW/ton ve 1,37 MW/ton olarak hesaplanmıştır.

## 6. EREĞ Lİ DEMİR ÇELİK FABRİKASI T.A.Ş. TANITIMI

Sanayi üretiminin ekonomide ağırlık kazanmaya başladığı 1950'li yıllarda, Türkiye'nin ekonomik ve toplumsal yapısında büyük değişimler yakındı. Tarım kredilerinin artmasıyla karayolu, baraj inşaatları ve sulama sistemlerine hız verildiği bu dönemde kentleşme artarken, teneke, boru, vagon, ziraat aletleri gibi pek çok sektörde yassı çeliğe duyulan ihtiyaç hızla arttı. Bu ihtiyacı karşılamak için büyük yatırımlar sonucu giderek azalan döviz rezervleriyle başlamak ise neredeyse imkansız hale gelmişti. Bu nedenle, 28 Şubat 1960 tarihinde kabul edilen 7642 sayılı kanunla Ereğ li Demir ve Çelik Fabrikaları T.A.Ş. (Erdemir) adıyla bir anonim şirket kurulması için Bakanlar Kurulu'na yetki verildi. Hızla sanayileşme hamlesi yapan Türkiye'de gerek mevcut sanayinin beslenmesi gerekse yeni sanayi kollarının kurulup gelişmesi için 11 Mayıs 1960'ta kuruluşu resmen tescil edilen Erdemir'in 1961 yılında başlayan inşaat ve montaj çalışmaları 42 ay gibi kısa sürede tamamlandı. 1965 yılında 0,5 milyon ton ham çelik ve 0,4 milyon ton yassı çelik kapasitesiyle üretimine başladı. 1996 yılında 1,5 milyar dolar kapasite artırma ve modernizasyon yatırımları yapıldı. Birçok şirketi bünyesinde barındıran Erdemir, sıcak, soğuk haddelenmiş ve kaplamalı yassı çelik üretimi yapabilen ve bugün 3.400.000 ton/yıl ham çelik ve 5.300.000 ton/yıl nihai ürün kapasitesine sahip, fabrikalar içerisinde fabrikalar barındıran dev bir tesis haline gelmiştir (Erdemir 2009).

Erdemir içerisinde; liman tesisleri, hammadde manipulasyon tesisleri, kok fabrikası, sinter fabrikası, kömür enjeksiyon tesisleri, yüksek fırınlar, çelikhane, kireç fabrikaları, ikincil metalürji tesisleri, sürekli döküm tesisleri, sıcak haddehane tesisleri, soğuk haddehane tesisleri bulunmaktadır. Üretime yardımcı üniteler içerisinde de; oksijen fabrikaları, baraj ve su tesisleri, laboratuvarlar, atelyeler, nakliyat ekipman ve tesisleri, mekanik ve yardımcı üniteler, ve kuvvet santrali yer almaktadır.

Bu çalışmada, Ereğ li Demir ve Çelik Fabrikaları T.A.Ş. (Erdemir)'nin üretime yardımcı tesislerinden birisi olan Kuvvet Santrali incelenmiş, BİR GÜÇ SANTRALİNİN EKSERJİK VE TERMOEKONOMİK ANALİZİ başlığı altında Kuvvet Santralinin enerjik, ekserjik ve termoekonomik analizleri yapılmıştır.

### 6.1 Enerji Üretim ve Dağıtım Sisteminin Tanıtımı

ERDEMİR'in entegre üretim tesislerinde ihtiyaç duyulan buhar, elektrik enerjisi, yüksek fırın havası, basınçlı hava, yumuşak suyun üretilmesi, yan ürün olarak üretilen yüksek fırın, kok, çelikhane gazları ve katranın yakıt olarak değerlendirilmesi ve diğer ünitelere dağıtımının

yapılması BOTAğ'tan satın alınan doğalgaz ve piyasadan satın alınan fuel oilin dağıtımını yapması TEKAğ'ın ulusal elektrik enerjisi sistemi ile elektrik enerjisi alım verisinin düzenlenmesi ve tüm ERDEMİR'e dağıtım ve güvenilir kullanımdan sorumlu grup Enerji Üretim ve Dağıtım Müdürlüğü'dür. Bu müdürlük organizasyonu içinde bak mühendislik olarak yer alan Kuvvet Santralinde, işletmeye alındığı 1965 yılından bu yana otoproduktör statüsünde elektrik enerjisi üretilmektedir. ERDEMİR'in elektrik enerjisi üretim kapasitesi, yassı çelik ürünlerine olan talebin hızla artmasına paralel olarak uygulanan tevziat yatırımlarında sürekli artmaktadır.

Kuvvet santralinde buhar kazanları, kojenerasyon tesisi, turbo jeneratörler, turbo körükler, demineralize su (yumukak su) tesisleri, basınçlı hava sistemi, ana trafo merkezleri, gaz depoları, çelikخانه gaz fanı, desülfürize kok gaz tesisi, doğalgaz dağıtım sistemi, tuzlu su pompa istasyonu, birimlerinden oluşmaktadır (Erdemir, 2009).

1965 yılında devreye alınan çelik kombinasyonlarda yüksek basınçlı gaz kok gaz fuel-oil ve katran yakabilen altı adet aksiyal brülör bulunan 45,7 bar ve 443°C sıcaklıkta 102 ton/saat kapasitede buhar üretebilen 2 adet, 1997 yılında devreye alınan ana yakıt olarak yüksek basınçlı gaz fuel-oil ve doğalgaz, yardımcı yakıt olarak kok gaz yakabilen 45 bar ve 443°C sıcaklıkta 125 ton/saat kapasitede buhar üretebilen 2 adet, 1994 yılında devreye alınan ana yakıt olarak yüksek basınçlı gaz yardımcı yakıt olarak doğalgaz ve fuel-oil, pilot gaz olarak kok gaz yakabilen 45 bar ve 445°C sıcaklıkta 160 ton/saat kapasitede buhar üretebilen 1 adet, toplamda 614 ton/saat buhar üretim kapasiteli 5 adet buhar kazanı bulunmaktadır (Erdemir, 2009).

Her biri 39,5 MW gücünde 2 adet gaz türbinli jeneratör ve her biri 61 ton/saat ve 45 bar basınçta 445°C sıcaklıkta, 15 ton/saat 14 bar basınçta ve 330°C sıcaklıkta buhar üretebilen 2 adet atık ısı kazanından oluşan 1997 yılından beri işletmede olan kojenerasyon tesisi bulunmaktadır (Erdemir, 2009).

1964, 1977 ve 1983 yıllarında devreye alınan her biri 3.600 m<sup>3</sup>/dk, 4.500 m<sup>3</sup>/dk, 3.700 m<sup>3</sup>/dk, olan toplam 11.900 m<sup>3</sup>/dk kapasiteli 3 adet turbo körük; ve bu körükleri tahrikleyen 3 adet buhar türbini bulunmaktadır (Erdemir, 2009).

Türkiye'de ilk defa Erdemir'de kurulan ve 2001 yılında işletmeye alınan ileri teknolojiye sahip ihtiyaca göre 25MW elektrik üretebilen veya 3.664 m<sup>3</sup>/dk kapasitede hava üfleyebilen 1 adet türbin-jeneratör-turbo körük grubu bulunmaktadır (Erdemir, 2009).

1964, 1977 ve 2007 yĖllarĖnda devreye alĖnan, toplam elektrik Ėretim gĖcĖ 90 MW olan 3ĖĖ ara kademeli olmak Ėzere toplam 4 adet buhar tĖrbini ve jeneratĖrleri bulunmaktadĖr (Erdemir, 2009).

Tesisin yumukak su ihtiyaĖĖē karkĖdamak iÇin kurulmuk 1992 ve 1998 yĖllarĖnda devreye alĖnan 450 m<sup>3</sup>/saat ve 300 m<sup>3</sup>/saat kapasiteli 1 ve 2 nolu demineralize su tesisleri bulunmaktadĖr (Erdemir, 2009).

BĖtĖn Ėnitelerin ihtiyaĖĖē karkĖdayabilmek iÇin bir adet aĖĖ tepsi tip dearatĖr /degazĖr bulunmaktadĖr. DearatĖr, 1,61 bar veya 0,61 barg sabit basĖnĖta ĖalĖmaktadĖr. 109 ton/saat kondens suyunu yaklakĖ, 13,6 ton/saat genlekĖmik buhar ilavesiyle, 5,4 ton/saat daimi blĖf tankĖndan elde edilen buharla ve 77 ton/saat sĖcak proses Ėnitelerinden gelen ĖĖĖarak hazĖrlanan suyu deare (ĖĖĖarak gazzĖzlaktĖma) etmektedir. Normal ĖalĖma kartlarĖnda 205 ton/saat, gelecek ihtiyaÇlar ile 300 ton/saat su kapasitesinde ĖalĖabilmektedir. Depolama tankĖ 52,2 ton aktif su depolama imkanĖsaĖ larken, tahliye kapasitesi 5,4 tondur. DearatĖrĖn basĖncĖ 14 / 0,7 bar basĖnĖ dĖkĖrme istasyonu tarafĖndan kontrol altĖnda tutulmaktadĖr. (Erdemir, 2009)

Kuvvet SantralĖndaki turbo kĖrĖk ve turbo jeneratĖr kondenselerine, yĖksek fĖĖnlara ve kok fabrikasĖna soğutma suyu, tuzlu su pompa istasyonunda bulunan 7 adet pompa ile basĖlmaktadĖr. AyrĖca fabrika yangĖn kĖbekesi hattĖnĖ besleyen 4 adet yangĖn pompasĖ ile eski liman'a hizmet eden 2 adet yangĖn pompasĖ da tuzlu su pompa istasyonunda bulunmaktadĖr (Erdemir, 2009).

Tuzlu su Kuvvet SantralĖna 72" ĖapĖnda borular ile iki ayrĖ hattan gelmektedir. Her iki hattan 12" lik brankĖmanlar ile Kok FabrikasĖna, Kuvvet SantralĖ iÇindeki 60" takĖyĖĖĖdan da altĖ adet buster pompa ile yĖksek fĖĖnlar'a soğutma amaĖlĖ deniz suyu verilmektedir. Kojenerasyon tesisi soğutma suyu ihtiyaĖĖē ise Kuvvet SantralĖ iÇinde bulunan 72" vanalarĖn bulunduğu yerden her iki hattan da brankĖman alĖnarak saĖlanmaktadĖr (Erdemir, 2009).

Tuzlu Su Pompa İstasyonu'nda bulunan yedi adet pompadan 1-2-5 ve 7 nolu pompalar elektrik motorludur. 3 nolu pompa dizel + elektrik motorludur. Normal iğletmede elektrik olarak ĖalĖan pompa, herhangi bir elektrik kesintisinde dizel olarak manuel devreye alĖnmaktadĖr. 4 ve 6 nolu pompalar ise elektrik + tĖrbĖn tahriklidir. Normal iğletmede elektrik olarak ĖalĖan pompalar elektrik kesintisinde tĖrbĖnli olarak otomatik devreye girmektedir (Erdemir, 2009).



Kuvvet Santrali'nde genel enerji kesintilerinde, acil ekipmanlarē (ölçme ve kontrol sistemleri ve enstrüment hava kompresörleri) besleyerek buhar kazanlarēnē, turbo körüklerin devre dāē olmasēē önlemek, enerji üretim sisteminin daha emniyetli çalāmasēē saĵlamak amacēyla 1998 yēānda 2 adet 2000 yēānda 1 adet dizel jeneratör sisteme ilave edilmiktir. Tüm sistemin enerjisinin kesilmesi durumunda, yük transfer devresinde bulunan kēbeke kontaktöründen gelen sinyal ile dizel jeneratörler 6-7 saniye gibi çok kēsa bir sürede devreye girerek baĵlē bulunan yükleri üzerine alēlar. Dizel jeneratör sistemi beslerken kēbeke enerjisinin devreye girmesi durumunda dizel jeneratör yükü otomatik olarak kēbekeye transfer eder ve yaklaşık üç dakika homojen soĵumanē saĵlanmasēē için boĵta çalāē (Erdemir, 2009).

Bununla birlikte, yangē suyu sistemi bulunmaktadır. Erdemir yangē suyu sistemi tuzlu su pompa istasyonu'nda tesis edilen iki adet küçük kapasiteli jokey pompa ve iki adet yangē suyu pompasēile beslenmektedir. 1 ve 2 nolu jokey pompalar 72" lik tuzlu su hattēndan aldēē 1,5-1,8 kg/cm<sup>2</sup> basēçtaki suyu 7,9 kg/cm<sup>2</sup> basēnca yükselterek yangē suyu hattēē besler. 1 ve 2 nolu yangē pompalarē ise suyu direk havuzdan alarak 8,5 kg/cm<sup>2</sup> basēçta sisteme basar. 1 ve 2 nolu jokey ile 1 nolu yangē pompasē elektrik motor tahrikli olup, 2 nolu yangē suyu pompasē elektrik + dizel tahriklidir (Erdemir, 2009).

Bu çalāmada, ERDEMİR Ereĵli Demir ve Çelik Fabrikasēnēn Üretime Yardēncē Tesislerinden birisi olan Kuvvet Santraliē incelenerek enerji ekserji ve termoekonomik analizleri yapılmaktā. ERDEMİRēn genel proses akē kēmasēşekil 6.1ēde, Kuvvet Santralinin akē kēmasēşekil 6.2ēde ve Kuvvet Santrali akē bilgileri de Çizelge 6.1ēde gösterilmektedir.



Çizelge 6.1 Proses akınları ve özellikleri (Erdemir, 2009)

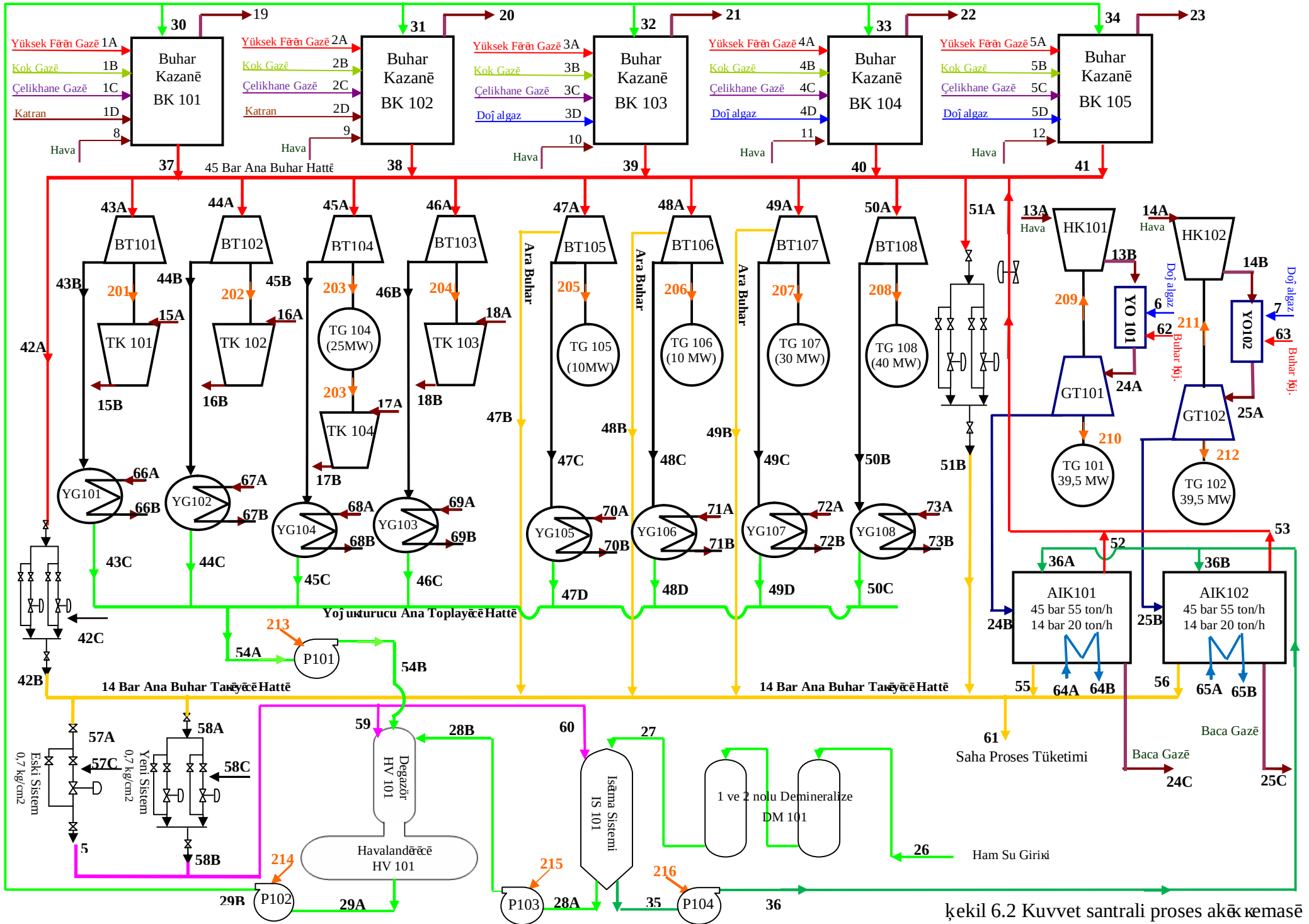
| Akım Bilgisi |      | Proses Cihazı          | Akım Debisi (kg/s)                                                      | Sıcaklık (°C) | Basınç (bar) |
|--------------|------|------------------------|-------------------------------------------------------------------------|---------------|--------------|
| 1A           | YFG  | BK 101 Buhar Kazanı    | 0,330                                                                   | 25,00         | 1,050        |
| 1B           | KG   | BK 101 Buhar Kazanı    | 0,070                                                                   | 25,00         | 1,050        |
| 1C           | ÇG   | BK 101 Buhar Kazanı    | 8,420                                                                   | 25,00         | 1,050        |
| 1D           | KTRN | BK 101 Buhar Kazanı    | 0,830                                                                   | 80,00         | 8,000        |
| 2A           | YFG  | BK 102 Buhar Kazanı    | 0,330                                                                   | 25,00         | 1,050        |
| 2B           | KG   | BK 102 Buhar Kazanı    | 0,070                                                                   | 25,00         | 1,050        |
| 2C           | ÇG   | BK 102 Buhar Kazanı    | 8,090                                                                   | 25,00         | 1,050        |
| 2D           | KTRN | BK 102 Buhar Kazanı    | 0,830                                                                   | 80,00         | 8,000        |
| 3A           | YFG  | BK 103 Buhar Kazanı    | 11,000                                                                  | 25,00         | 1,050        |
| 3B           | KG   | BK 103 Buhar Kazanı    | 0,490                                                                   | 25,00         | 1,050        |
| 3C           | ÇG   | BK 103 Buhar Kazanı    | 7,720                                                                   | 25,00         | 1,050        |
| 3D           | DG   | BK 103 Buhar Kazanı    | 0,040                                                                   | 25,00         | 16,000       |
| 4A           | YFG  | BK 104 Buhar Kazanı    | 12,670                                                                  | 25,00         | 1,050        |
| 4B           | KG   | BK 104 Buhar Kazanı    | 0,540                                                                   | 25,00         | 1,050        |
| 4C           | ÇG   | BK 104 Buhar Kazanı    | 8,420                                                                   | 25,00         | 1,050        |
| 4D           | DG   | BK 104 Buhar Kazanı    | 0,040                                                                   | 25,00         | 16,000       |
| 5A           | YFG  | BK 105 Buhar Kazanı    | 23,377                                                                  | 25,00         | 1,050        |
| 5B           | KG   | BK 105 Buhar Kazanı    | 0,146                                                                   | 25,00         | 1,050        |
| 5C           | ÇG   | BK 105 Buhar Kazanı    | 9,089                                                                   | 25,00         | 1,050        |
| 5D           | DG   | BK 105 Buhar Kazanı    | 0,045                                                                   | 25,00         | 16,000       |
| 6            | DG   | YO 101 Yanma Odası     | 2,910                                                                   | 25,00         | 19,310       |
| 7            | DG   | YO 102 Yanma Odası     | 2,920                                                                   | 25,00         | 19,310       |
| 8            | Hava | BK 101 Buhar Kazanı    | 32,580                                                                  | 25,00         | 1,013        |
| 9            | Hava | BK 102 Buhar Kazanı    | 31,420                                                                  | 25,00         | 1,013        |
| 10           | Hava | BK 103 Buhar Kazanı    | 43,120                                                                  | 25,00         | 1,013        |
| 11           | Hava | BK 104 Buhar Kazanı    | 42,110                                                                  | 25,00         | 1,013        |
| 12           | Hava | BK 105 Buhar Kazanı    | 55,550                                                                  | 25,00         | 1,013        |
| 13A          | Hava | HK 101 Hava Kompresörü | 131,700                                                                 | 25,00         | 1,013        |
| 13B          | Hava | HK 101 Hava Kompresörü | 131,700                                                                 | 25,00         | 11,580       |
| 14A          | Hava | HK 102 Hava Kompresörü | 132,300                                                                 | 25,00         | 1,013        |
| 14B          | Hava | HK 102 Hava Kompresörü | 132,300                                                                 | 25,00         | 11,580       |
| 15A          | Hava | TK 101 Turbo Körük     | 55,860                                                                  | 25,00         | 1,013        |
| 15B          | Hava | TK 101 Turbo Körük     | 55,860                                                                  | 25,00         | 2,540        |
| 16A          | Hava | TK 102 Turbo Körük     | 43,270                                                                  | 25,00         | 1,013        |
| 16B          | Hava | TK 102 Turbo Körük     | 43,270                                                                  | 25,00         | 2,540        |
| 17A          | Hava | TK 104 Turbo Körük     | BTG 104 elektrik üretmek üzere çalıştığı için, TK104 kapalı konumdadır. |               |              |
| 17B          | Hava | TK 104 Turbo Körük     |                                                                         |               |              |
| 18A          | Hava | TK 103 Turbo Körük     | 54,980                                                                  | 25,00         | 1,013        |
| 18B          | Hava | TK 103 Turbo Körük     | 54,980                                                                  | 25,00         | 1,540        |
| 19           | YGZ  | BK 101 Buhar Kazanı    | 37,750                                                                  | 146,00        | 1,013        |
| 20           | YGZ  | BK 102 Buhar Kazanı    | 36,440                                                                  | 146,00        | 1,013        |
| 21           | YGZ  | BK 103 Buhar Kazanı    | 62,370                                                                  | 151,10        | 1,013        |
| 22           | YGZ  | BK 104 Buhar Kazanı    | 61,920                                                                  | 151,10        | 1,013        |
| 23           | YGZ  | BK 105 Buhar Kazanı    | 88,210                                                                  | 151,10        | 1,013        |
| 24A          | YGZ  | YO 101 Yanma Odası     | 137,900                                                                 | 1104,00       | 11,540       |

Çizelge 6.1 Proses akamlarının özellikleri (Erdemir, 2009) (devamı)

| Akım Bilgisi |       | Proses Cihazı                    | Akım Debisi (kg/s)                                                                                           | Sıcaklık (°C) | Basınç (bar) |
|--------------|-------|----------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|--------------|
| 24B          | YGZ   | AIK 101 Atık Isı Kazanı          | 137,900                                                                                                      | 551,80        | 1,041        |
| 24C          | EGZ   | AIK 101 Atık Isı Kazanı          | 137,900                                                                                                      | 155,80        | 1,013        |
| 25A          | YGZ   | GT-102 Gaz Türbini               | 138,500                                                                                                      | 1104,00       | 11,540       |
| 25B          | YGZ   | AIK 102 Atık Isı Kazanı          | 138,500                                                                                                      | 551,80        | 1,041        |
| 25C          | EGZ   | AIK 102 Atık Isı Kazanı          | 138,500                                                                                                      | 155,80        | 1,013        |
| 26           | Su    | DM 101 Demineralizasyon Sistemi  | 43,610                                                                                                       | 25,00         | 3,500        |
| 27           | Su    | IS 101 Isıtma Sistemi            | 43,610                                                                                                       | 25,00         | 4,000        |
| 28A          | Su    | P 103 Pompa                      | 5,770                                                                                                        | 80,00         | 0,994        |
| 28B          | Su    | P 103 Pompa                      | 5,770                                                                                                        | 80,00         | 2,896        |
| 29A          | Su    | P 102 Pompa                      | 106,940                                                                                                      | 115,20        | 2,896        |
| 29B          | Su    | P 102 Pompa                      | 106,940                                                                                                      | 116,00        | 55,000       |
| 30           | Su    | BK 101 Buhar Kazanı              | 16,120                                                                                                       | 110,00        | 55,000       |
| 31           | Su    | BK 102 Buhar Kazanı              | 13,890                                                                                                       | 110,00        | 55,000       |
| 32           | Su    | BK 103 Buhar Kazanı              | 23,620                                                                                                       | 110,00        | 55,000       |
| 33           | Su    | BK 104 Buhar Kazanı              | 23,060                                                                                                       | 110,00        | 55,000       |
| 34           | Su    | BK 105 Buhar Kazanı              | 30,280                                                                                                       | 110,00        | 55,000       |
| 35           | Su    | P 104 Pompa                      | 41,67                                                                                                        | 80,00         | 0,994        |
| 36           | Su    | P 104 Pompa                      | 41,67                                                                                                        | 80,00         | 1,447        |
| 36A          | Su    | AIK 102 Atık Isı Kazanı          | 20,830                                                                                                       | 80,00         | 1,447        |
| 36B          | Su    | AIK 102 Atık Isı Kazanı          | 20,830                                                                                                       | 80,00         | 1,447        |
| 37           | Buhar | BK 101 Buhar Kazanı              | 28,34                                                                                                        | 443,00        | 45,000       |
| 38           | Buhar | BK 102 Buhar Kazanı              | 28,34                                                                                                        | 443,00        | 45,000       |
| 39           | Buhar | BK 103 Buhar Kazanı              | 33,34                                                                                                        | 443,00        | 45,000       |
| 40           | Buhar | BK 104 Buhar Kazanı              | 33,34                                                                                                        | 443,00        | 45,000       |
| 41           | Buhar | BK 105 Buhar Kazanı              | 44,45                                                                                                        | 443,00        | 45,000       |
| 42A          | Buhar | BDI 101 Basınç Düşürme İstasyonu | 0,920                                                                                                        | 441,00        | 43,000       |
| 42B          | Buhar | BDI 101 Basınç Düşürme İstasyonu | 0,989                                                                                                        | 330,00        | 14,000       |
| 42C          | Su    | BDI 101 Basınç Düşürme İstasyonu | 0,069                                                                                                        | 116,00        | 55,000       |
| 43A          | Buhar | BT 101 Buhar Türbini             | 18,090                                                                                                       | 441,00        | 43,000       |
| 43B          | Buhar | BT 101 Buhar Türbini             | 18,090                                                                                                       | 38,70         | 0,069        |
| 43C          | Su    | YG 101 Yoğuşturucu               | 18,090                                                                                                       | 38,70         | 0,069        |
| 44A          | Buhar | BT 102 Buhar Türbini             | 13,790                                                                                                       | 441,00        | 43,000       |
| 44B          | Buhar | BT 102 Buhar Türbini             | 213,790                                                                                                      | 38,70         | 0,069        |
| 44C          | Su    | YG 102 Yoğuşturucu               | 13,790                                                                                                       | 38,70         | 0,069        |
| 45A          | Buhar | BT 104 Buhar Türbini             | 18,900                                                                                                       | 441,00        | 43,000       |
| 45B          | Buhar | BT 104 Buhar Türbini             | 18,900                                                                                                       | 38,70         | 0,069        |
| 45C          | Su    | YG 104 Yoğuşturucu               | 18,900                                                                                                       | 38,70         | 0,069        |
| 46A          | Buhar | BT 103 Buhar Türbini             | Analiz tarihinde proses yedeği olduğu için kapalı konumdadır. Bu proses cihazı için hesaplama yapılmamıştır. |               |              |
| 46B          | Buhar | BT 103 Buhar Türbini             |                                                                                                              |               |              |
| 46C          | Su    | YG 103 Yoğuşturucu               |                                                                                                              |               |              |
| 47A          | Buhar | BT 105 Buhar Türbini             |                                                                                                              |               |              |
| 47B          | Buhar | BT 105 Buhar Türbini             |                                                                                                              |               |              |
| 47C          | Buhar | BT 105 Buhar Türbini             |                                                                                                              |               |              |
| 47D          | Su    | YG 105 Yoğuşturucu               |                                                                                                              |               |              |
| 48A          | Su    | BT 106 Buhar Türbini             | 10,280                                                                                                       | 441,00        | 41,000       |
| 48B          | Su    | BT 106 Buhar Türbini             | 5,551                                                                                                        | 330,00        | 14,000       |

Çizelge 6.1 Proses akınları ve özellikleri (Erdemir, 2009) (devamı)

| Akım Bilgisi |          | Proses Cihazı                    | Akım Debisi (kg/s)                                                                                           | Sıcaklık (°C) | Basınç (bar) |
|--------------|----------|----------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|--------------|
| 48C          | Su       | BT 106 Buhar Türbini             | 4,730                                                                                                        | 38,73         | 0,069        |
| 48D          | Su       | YG 106 Yoğuşturucu               | 4,730                                                                                                        | 38,73         | 0,069        |
| 49A          | Buhar    | BT 107 Buhar Türbini             | 41,940                                                                                                       | 441,00        | 43,000       |
| 49B          | Buhar    | BT 107 Buhar Türbini             | 32,460                                                                                                       | 330,00        | 14,000       |
| 49C          | Buhar    | BT 107 Buhar Türbini             | 9,478                                                                                                        | 38,78         | 0,069        |
| 49D          | Su       | YG 107 Yoğuşturucu               | 9,478                                                                                                        | 38,78         | 0,069        |
| 50A          | Buhar    | BT 108 Buhar Türbini             | 33,610                                                                                                       | 441,00        | 43,000       |
| 50B          | Buhar    | BT 108 Buhar Türbini             | 33,610                                                                                                       | 38,78         | 0,069        |
| 50C          | Su       | YG 108 Yoğuşturucu               | 33,610                                                                                                       | 38,78         | 0,069        |
| 51A          | Buhar    | BDI 103 Basınç Düşürme İstasyonu | Analiz tarihinde proses yedeği olduğu için kapalı konumdadır. Bu proses cihazı için hesaplama yapılmamıştır. |               |              |
| 51B          | Buhar    | BDI 103 Basınç Düşürme İstasyonu |                                                                                                              |               |              |
| 51C          | Su       | BDI 103 Basınç Düşürme İstasyonu |                                                                                                              |               |              |
| 52           | Buhar    | AIK 101 Atık Isı Kazanı          | 15,280                                                                                                       | 445,00        | 45,000       |
| 53           | Buhar    | AIK 101 Atık Isı Kazanı          | 15,280                                                                                                       | 445,00        | 45,000       |
| 54A          | Su       | P 101 Pompa                      | 89,440                                                                                                       | 38,73         | 0,069        |
| 54B          | Su       | P 101 Pompa                      | 89,440                                                                                                       | 38,73         | 1,700        |
| 55           | Buhar    | AIK 102 Atık Isı Kazanı          | 5,560                                                                                                        | 330,00        | 14,000       |
| 56           | Buhar    | AIK 102 Atık Isı Kazanı          | 5,560                                                                                                        | 330,00        | 14,000       |
| 57A          | Buhar    | BDI 102 Basınç Düşürme İstasyonu | Analiz tarihinde proses yedeği olduğu için kapalı konumdadır. Bu proses cihazı için hesaplama yapılmamıştır. |               |              |
| 57B          | Buhar    | BDI 102 Basınç Düşürme İstasyonu |                                                                                                              |               |              |
| 57C          | Su       | BDI 102 Basınç Düşürme İstasyonu |                                                                                                              |               |              |
| 58A          | Buhar    | BDI 103 Basınç Düşürme İstasyonu | 16,320                                                                                                       | 330,00        | 14,000       |
| 58B          | Buhar    | BDI 103 Basınç Düşürme İstasyonu | 17,130                                                                                                       | 255,00        | 1,700        |
| 58C          | Su       | BDI 103 Basınç Düşürme İstasyonu | 0,8121                                                                                                       | 115,20        | 2,896        |
| 59A          | Buhar    | HV 101 Havalandırıcı             | 12,500                                                                                                       | 255,00        | 1,700        |
| 59B          | Buhar    | HV 101 Havalandırıcı             | 2,760                                                                                                        | 115,20        | 1,700        |
| 60           | Buhar    | IS 101 Isıtma Sistemi            | 3,820                                                                                                        | 255,00        | 1,700        |
| 61           | Buhar    | Proses Buharı                    | 33,723                                                                                                       | 330,00        | 14,000       |
| 62           | Tuzlu Su | YO 101 Yanma Odası               | 3,263                                                                                                        | 220,00        | 20,000       |
| 63           | Tuzlu Su | YO 102 Yanma Odası               | 3,286                                                                                                        | 220,00        | 20,000       |
| 66A          | Tuzlu Su | YG 101 Yoğuşturucu               | 1067,600                                                                                                     | 25,00         | 1,873        |
| 66B          | Tuzlu Su | YG 101 Yoğuşturucu               | 1067,600                                                                                                     | 35,00         | 0,869        |
| 67A          | Tuzlu Su | YG 102 Yoğuşturucu               | 813,900                                                                                                      | 25,00         | 1,873        |
| 67B          | Tuzlu Su | YG 102 Yoğuşturucu               | 813,900                                                                                                      | 35,00         | 0,869        |
| 68A          | Tuzlu Su | YG 104 Yoğuşturucu               | 1169,500                                                                                                     | 25,00         | 1,873        |
| 68B          | Tuzlu Su | YG 104 Yoğuşturucu               | 1169,500                                                                                                     | 35,00         | 0,869        |
| 69A          | Tuzlu Su | YG 103 Yoğuşturucu               | Proses yedeği (kapalı) olduğu için hesaplama yapılmamıştır.                                                  |               |              |
| 69B          | Tuzlu Su | YG 103 Yoğuşturucu               |                                                                                                              |               |              |
| 70A          | Tuzlu Su | YG 105 Yoğuşturucu               | 401,200                                                                                                      | 25,00         | 1,873        |
| 70B          | Tuzlu Su | YG 105 Yoğuşturucu               | 401,200                                                                                                      | 35,00         | 0,869        |
| 71A          | Tuzlu Su | YG 106 Yoğuşturucu               | 325,000                                                                                                      | 25,00         | 1,873        |
| 71B          | Tuzlu Su | YG 106 Yoğuşturucu               | 325,000                                                                                                      | 35,00         | 0,869        |
| 72A          | Tuzlu Su | YG 107 Yoğuşturucu               | 559,100                                                                                                      | 25,00         | 1,873        |
| 72B          | Tuzlu Su | YG 107 Yoğuşturucu               | 559,100                                                                                                      | 35,00         | 0,869        |
| 73A          | Tuzlu Su | YG 108 Yoğuşturucu               | 2041,100                                                                                                     | 25,00         | 1,873        |
| 73B          | Tuzlu Su | YG 108 Yoğuşturucu               | 2041,100                                                                                                     | 35,00         | 0,869        |



şekil 6.2 Kuvvet santrali proses akış kemasē

## 7. ENERJİ VE EKSERJİ KANALIZLERİ HESAPLAMALARI VE BULGULAR

Bu kışında, Ereğli Demir ve Çelik Fabrikaları T.A.Ş. (Erdemir)âit Kuvvet Santraline ilâikin kurulan enerji ve ekserji denâlikleri gösterilmiş, elde edilen hesaplama sonuçları çizelgeler ve grafikler halinde verilmektedir.

Kuvvet santrali, prosesin ve buhar türbinlerinin buhar ihtiyacını karşılayan 5 adet buhar kazanı her biri bir kompresör, yanma odası ve gaz türbininden oluân 2 adet gaz türbin grubu ve bunlara bağılı olarak çalışân 2 adet atık ısı kazanı yüksek basınçları ihtiyacı olan yanma havasını sağlayân ve her biri bir buhar türbini ve turbo körukten oluân 3 adet buhar türbini-turbo köruk grubu; tesisin elektrik ihtiyacını karşılamak üzere çalışân ve her biri bir buhar türbini ve jeneratörden oluân 3 adet ara kademeli buhar türbini-jeneratör grubu; yine tesisin elektrik ihtiyacını karşılayan 1 adet buhar türbini-jeneratör grubu; tesisin ihtiyacına göre yüksek basınçlara yanma havası sağlamak veya elektrik üretmek üzere çalışân 1 adet buhar türbini-turbo köruk-jeneratör grubu, buhar türbinlerine bağılı olarak çalışân 8 adet yoğurturucu, ham suyu ıkleyerek tesisin demineralize su ihtiyacını karşılayan 1 adet demineralize su tesisi, 1 adet su ısıtma sistemi, demineralize su içerisindeki çözünmüş gazların uzaklaştırılması için 1 adet havalandırıcı ve proses buhar ihtiyacına göre görev yapan 4 adet basınç düşürme istasyonundan olmaktadır.

Kuvvet santralinin her bir birimi için enerji ve ekserji denâliklerinin nasıl oluâturulduğıu birer örnek ile anlatılmaktadır. Hesaplamalarda kullanılan havanın bileşimi Çizelge 7.1âde, gaz türbini gruplarında ve buhar kazanlarda kullanılan doğıalgazın (DG) bileşimi Çizelge 7.2âde; buhar kazanlarında kullanılan yüksek basınç gazının (YFG), çelikhane gazının (ÇG), kok gazının (KG) ve katranın (KTRN) bileşimleri ve bileşenlerin standart kimyasal ekserjileri (Model II, (Bejan, 1996)), sırasıyla Çizelge 7.3, 7.4, 7.5 ve 7.6âda verilmektedir.

Çizelge 7.1 Havanın bileşimi

| Madde                     | N <sub>2</sub> | O <sub>2</sub> | CO <sub>2</sub> | H <sub>2</sub> O(g) |
|---------------------------|----------------|----------------|-----------------|---------------------|
| Bileşim (%)               | 77,48          | 20,59          | 0,03            | 1,90                |
| e <sub>km</sub> (kJ/kmol) | 720            | 3970           | 19870           | 9500                |

Çizelge 7.2 Doğalgazın (DG) bileşimi ve bileşenlerin standart kimyasal ekserjileri

| Madde                     | CH <sub>4</sub> | C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> | C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> | CO <sub>2</sub> | N <sub>2</sub> |
|---------------------------|-----------------|-------------------------------|-------------------------------|-----------------|----------------|
| Bileşim (%)               | 88,00           | 5,20                          | 1,80                          | 2,00            | 3,00           |
| e <sub>km</sub> (kJ/kmol) | 831650          | 1495840                       | 2154000                       | 19870           | 720            |

Çizelge 7.3 Yüksek fırın gazının (YFG) bilekimi ve bileşenlerin standart kimyasal ekserjileri

| Madde                     | H <sub>2</sub> | N <sub>2</sub> | CO     | CO <sub>2</sub> |
|---------------------------|----------------|----------------|--------|-----------------|
| Bileşim (%)               | 4,13           | 50,87          | 30,00  | 15,00           |
| $\bar{e}_{kim}$ (kJ/kmol) | 236100         | 720            | 275100 | 19870           |

Çizelge 7.4 Çelikhane gazının (ÇG) bilekimi ve bileşenlerin standart kimyasal ekserjileri

| Madde                     | H <sub>2</sub> | N <sub>2</sub> | O <sub>2</sub> | CO     | CO <sub>2</sub> | CH <sub>4</sub> | C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> |
|---------------------------|----------------|----------------|----------------|--------|-----------------|-----------------|-------------------------------|
| Bileşim (%)               | 0,90           | 23,90          | 0,60           | 62,00  | 12,00           | 0,40            | 0,20                          |
| $\bar{e}_{kim}$ (kJ/kmol) | 236100         | 720            | 3970           | 275100 | 19870           | 831650          | 1136100                       |

Çizelge 7.5 Kok gazının (KG) bilekimi ve bileşenlerin standart kimyasal ekserjileri

| Madde                     | H <sub>2</sub> | N <sub>2</sub> | O <sub>2</sub> | CO     | CO <sub>2</sub> | CH <sub>4</sub> | C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> |
|---------------------------|----------------|----------------|----------------|--------|-----------------|-----------------|-------------------------------|
| Bileşim (%)               | 58,00          | 5,50           | 0,25           | 6,00   | 2,00            | 26,00           | 2,25                          |
| $\bar{e}_{kim}$ (kJ/kmol) | 236100         | 720            | 3970           | 275100 | 19870           | 831650          | 1265800                       |

Çizelge 7.6 Katranın (KTRN) bilekimi ve bileşenlerin standart kimyasal ekserjileri

| Madde                     | C       | H      | N       | O       | S       | H <sub>2</sub> O |
|---------------------------|---------|--------|---------|---------|---------|------------------|
| Bileşim (%)               | 80 - 85 | 9 - 11 | 0,5 - 1 | 0,5 - 1 | 0,5 - 3 | 1 - 3            |
| $\bar{e}_{kim}$ (kJ/kmol) | 410260  | 331300 | -       | 233700  | 609600  | 9500             |

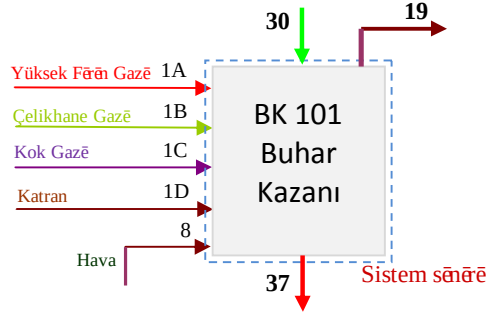
### 7.1 BK 101, 102, 103, 104 ve 105 Buhar Kazanlarına Kııkin Hesaplamalar

Buhar kazanları buhar türbinleri ve turbo körüklerin ihtiyacı olan kızıgın buharı üretmek ve aynı zamanda proses buharı olarak sahada çekitli yerlerde (ısıtma, çeliğin ısıtma işlemleri vb.) kullanılmak üzere çalışan ekipmanlardır. Buhar kazanlarında yüksek fırın gazı, çelikhane gazı, kok gazı, doğalgaz, fuel oil ve katran brülörleri vasıtasıyla aynı anda yakılabilir.

Şekil 7.1’de BK 101 buhar kazanının akış şeması gösterilmektedir. 1A, 1B, 1C ve 1D akışları ile kazana giren yakıtlar 8 nolu hava akışı ile yakılır ve elde edilen enerji suya verilerek kızıgın buharı elde edilir, yanma sonucu oluşan bacagazı 19 nolu akışla buhar kazanına terk eder. Yanma gazlarının termodinamik özellikleri Çizelge 7.7’de verilmektedir.

BK 101 buhar kazanı için sırasıyla, kütle, enerji ve ekserji denklemleri ile ekserji tahribi, ekserji verimi, enerji verimi ve geliştirme potansiyeli başlıklarında verilmektedir:





Şekil 7.1 BK 101 Buhar kazanı akış şeması

Çizelge 7.7 Yanma gazlarının termodinamik özellikleri

| Proses Cihazı              | Madde                     | N <sub>2</sub> | O <sub>2</sub> | CO <sub>2</sub> | H <sub>2</sub> O <sub>(g)</sub> |
|----------------------------|---------------------------|----------------|----------------|-----------------|---------------------------------|
|                            | $\bar{e}_{kim}$ (kJ/kmol) | 720            | 3970           | 19870           | 9500                            |
| <b>BK 101 Buhar Kazanı</b> | (%)                       | 60,641         | 5,104          | 27,148          | 7,107                           |
| <b>BK 102 Buhar Kazanı</b> | (%)                       | 60,707         | 5,104          | 27,096          | 7,093                           |
| <b>BK 103 Buhar Kazanı</b> | (%)                       | 69,856         | 5,104          | 19,590          | 5,450                           |
| <b>BK 104 Buhar Kazanı</b> | (%)                       | 69,899         | 5,104          | 19,613          | 5,384                           |
| <b>BK 105 Buhar Kazanı</b> | (%)                       | 70,232         | 5,104          | 21,200          | 3,464                           |

$$\dot{m}_{1A} + \dot{m}_{1B} + \dot{m}_{1C} + \dot{m}_{1D} + \dot{m}_8 = \dot{m}_{19} \quad (7.1)$$

$$\dot{m}_{30} = \dot{m}_{37} \quad (7.2)$$

$$\dot{E}_{1A} + \dot{E}_{1B} + \dot{E}_{1C} + \dot{E}_{1D} + \dot{E}_{18} + \dot{E}_{30} = \dot{E}_{19} + \dot{E}_{37} \quad (7.3)$$

$$\dot{E}_{1A} + \dot{E}_{1B} + \dot{E}_{1C} + \dot{E}_{1D} + \dot{E}_8 + \dot{E}_{30} = \dot{E}_{19} + \dot{E}_{37} \quad (7.4)$$

$$\dot{E}_D = \dot{E}_{1A} + \dot{E}_{1B} + \dot{E}_{1C} + \dot{E}_{1D} + \dot{E}_8 + \dot{E}_{30} - \dot{E}_{19} - \dot{E}_{37} \quad (7.5)$$

$$\dot{U} = (\dot{E}_{37} - \dot{E}_{30}) / (\dot{E}_{1A} + \dot{E}_{1B} + \dot{E}_{1C} + \dot{E}_{1D} + \dot{E}_8) \quad (7.6)$$

$$\dot{C} = (\dot{E}_{37} - \dot{E}_{30}) / (\dot{E}_{1A} + \dot{E}_{1B} + \dot{E}_{1C} + \dot{E}_{1D} + \dot{E}_8) \quad (7.7)$$

$$\dot{G}_{pot} = \dot{E}_D (1 - \omega) + \dot{E}_{19} \quad (7.8)$$

BK 102, 103, 104 ve 105 buhar kazanlarına ilişkin denklemler benzer şekilde kurulmuş ve hesaplama sonuçları aşağıdaki Çizelge 7.8, 7.9, 7.10, 7.11 ve 7.12'de verilmektedir.

Çizelge 7.8 BK 101 Buhar kazanēproses akēmnlārēm özellikleri

| Proses Cihazı          | Akım No | Açıklama          | $\dot{m}$<br>(kg/s) | P<br>(Bar) | T<br>(K) | H<br>(kJ/kg)        | H <sub>0</sub><br>(kJ/kg) | S<br>(kJ/kgK)       | S <sub>0</sub><br>(kJ/kgK) | $\dot{E}_{ph}$<br>(MW) | $\dot{E}_{kim}$<br>(MW) | $\dot{E}$<br>(MW)       | $\dot{E}$<br>(MW) |
|------------------------|---------|-------------------|---------------------|------------|----------|---------------------|---------------------------|---------------------|----------------------------|------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------|
| BK 101<br>Buhar Kazanı | 1A      | Yüksek Färân Gazē | 0,33                | 1,050      | 298,15   | 85,680              | 85,690                    | 6,5580              | 6,5680                     | 0,001                  | 1,044                   | 1,045                   | 1,117             |
|                        | 1B      | Kok Gazē          | 0,07                | 1,050      | 298,15   | 333,730             | 338,780                   | 19,9450             | 19,9950                    | 0,001                  | 2,527                   | 2,527                   | 3,097             |
|                        | 1C      | Çelikhane Gazē    | 8,42                | 1,050      | 298,15   | 96,940              | 96,950                    | 6,4560              | 6,4660                     | 0,025                  | 50,741                  | 50,766                  | 53,180            |
|                        | 1D      | Katran            | 0,83                | 8,000      | 353,15   | 146,150             | 42,990                    | 6,3150              | 6,0850                     | 0,029                  | 38,469                  | 38,498                  | 37,744            |
|                        | 8       | Hava              | 32,58               | 1,013      | 298,15   | 34,560              | 34,560                    | 6,5450              | 6,5450                     | 0,000                  | 0,082                   | 0,082                   | 1,126             |
|                        | 19      | Baca Gazē         | 37,75               | 1,013      | 419,15   | 338,005             | 157,250                   | 6,3060              | 5,7520                     | 0,588                  | 5,575                   | 6,164                   | 12,760            |
|                        | 30      | Su                | 16,12               | 55,000     | 383,15   | 464,920             | 104,730                   | 1,5030              | 0,3780                     | 0,399                  | 8,501                   | 8,900                   | 7,495             |
|                        | 37      | YB Buhar          | 16,12               | 45,000     | 716,15   | 3329,630            | 104,730                   | 7,1290              | 0,3780                     | 19,539                 | 8,501                   | 28,039                  | 53,674            |
|                        |         |                   |                     |            |          | $\dot{E}_F$<br>(MW) | $\dot{E}_P$<br>(MW)       | $\dot{E}_L$<br>(MW) | $\dot{E}_D$<br>(MW)        | X<br>(MW/ton)          | ε<br>(%)                | $\dot{G}_{pot}$<br>(MW) | η<br>(%)          |
|                        |         |                   |                     |            |          | 92,919              | 19,140                    | 6,164               | 67,616                     | 1,60                   | 20,60                   | 59,852                  | 47,97             |

Çizelge 7.9 BK 102 Buhar kazanēproses akēmnlārēm özellikleri

| Proses Cihazı          | Akım No | Açıklama                 | $\dot{m}$<br>(kg/s) | P<br>(Bar) | T<br>(K) | H<br>(kJ/kg)        | H <sub>0</sub><br>(kJ/kg) | S<br>(kJ/kgK)       | S <sub>0</sub><br>(kJ/kgK) | $\dot{E}_{ph}$<br>(MW) | $\dot{E}_{kim}$<br>(MW) | $\dot{E}$<br>(MW)       | $\dot{E}$<br>(MW) |
|------------------------|---------|--------------------------|---------------------|------------|----------|---------------------|---------------------------|---------------------|----------------------------|------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------|
| BK 102<br>Buhar Kazanı | 2A      | <i>Yüksek Fārēm Gazē</i> | 0,33                | 1,050      | 298,15   | 85,680              | 85,690                    | 6,5580              | 6,5680                     | 0,001                  | 1,044                   | 1,045                   | 1,117             |
|                        | 2B      | <i>Kok Gazē</i>          | 0,07                | 1,050      | 298,15   | 333,730             | 338,780                   | 19,9450             | 19,9950                    | 0,001                  | 2,527                   | 2,527                   | 3,097             |
|                        | 2C      | <i>Çelikhane Gazē</i>    | 8,09                | 1,050      | 298,15   | 96,940              | 96,950                    | 6,4560              | 6,4660                     | 0,024                  | 48,752                  | 48,776                  | 51,096            |
|                        | 2D      | <i>Katran</i>            | 0,83                | 8,000      | 353,15   | 146,150             | 42,990                    | 6,3150              | 6,0850                     | 0,029                  | 38,469                  | 38,498                  | 37,744            |
|                        | 9       | <i>Hava</i>              | 31,42               | 1,013      | 298,15   | 34,560              | 34,560                    | 6,5450              | 6,5450                     | 0,000                  | 0,079                   | 0,079                   | 1,086             |
|                        | 20      | <i>Baca Gazē</i>         | 36,44               | 1,013      | 419,15   | 337,627             | 157,057                   | 6,3080              | 5,7540                     | 0,561                  | 5,371                   | 5,932                   | 12,303            |
|                        | 21      | <i>Su</i>                | 13,89               | 55,000     | 383,15   | 464,920             | 104,730                   | 1,5030              | 0,3780                     | 0,344                  | 7,325                   | 7,669                   | 6,458             |
|                        | 38      | <i>YB Buhar</i>          | 13,89               | 45,000     | 716,15   | 3329,630            | 104,730                   | 7,1290              | 0,3780                     | 16,836                 | 7,325                   | 24,161                  | 46,249            |
|                        |         |                          |                     |            |          | $\dot{E}_F$<br>(MW) | $\dot{E}_P$<br>(MW)       | $\dot{E}_L$<br>(MW) | $\dot{E}_D$<br>(MW)        | <b>X</b><br>(MW/ton)   | $\mathcal{E}$<br>(%)    | $\dot{G}_{pot}$<br>(MW) | $\eta$<br>(%)     |
|                        |         |                          |                     |            |          | 90,926              | 16,492                    | 5,932               | 68,502                     | 1,82                   | 18,14                   | 62,010                  | 42,27             |

Çizelge 7.10 BK 103 Buhar kazanēproses akēnlārēnē özellikleri

| Proses Cihazı          | Akım No | Açıklama                 | $\dot{m}$<br>(kg/s) | P<br>(Bar) | T<br>(K) | H<br>(kJ/kg)                  | H <sub>0</sub><br>(kJ/kg)     | S<br>(kJ/kgK)                 | S <sub>0</sub><br>(kJ/kgK)    | $\dot{\mathcal{E}}_{ph}$<br>(MW) | $\dot{\mathcal{E}}_{kim}$<br>(MW) | $\dot{\mathcal{E}}$<br>(MW) | $\dot{E}$<br>(MW) |
|------------------------|---------|--------------------------|---------------------|------------|----------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------|-------------------|
| BK 103<br>Buhar Kazanı | 3A      | <i>Yüksek Fārēn Gazē</i> | 11,00               | 1,050      | 298,15   | 85,680                        | 85,690                        | 6,5580                        | 6,5680                        | 0,033                            | 34,812                            | 34,845                      | 37,220            |
|                        | 3B      | <i>Kok Gazē</i>          | 0,49                | 1,050      | 298,15   | 333,730                       | 338,780                       | 19,9450                       | 19,9950                       | 0,005                            | 17,686                            | 17,690                      | 21,678            |
|                        | 3C      | <i>Çelikhane Gazē</i>    | 7,72                | 1,050      | 298,15   | 96,940                        | 96,950                        | 6,4560                        | 6,4660                        | 0,023                            | 46,522                            | 46,545                      | 48,759            |
|                        | 3D      | <i>Doj algaz</i>         | 0,04                | 16,000     | 298,15   | 238,520                       | 254,320                       | 10,7070                       | 12,0070                       | 0,015                            | 1,842                             | 1,857                       | 1,999             |
|                        | 10      | <i>Hava</i>              | 43,12               | 1,013      | 298,15   | 34,560                        | 34,560                        | 6,5450                        | 6,5450                        | 0,000                            | 0,109                             | 0,109                       | 1,490             |
|                        | 21      | <i>Baca Gazē</i>         | 62,37               | 1,013      | 424,25   | 292,718                       | 128,539                       | 6,5060                        | 6,0160                        | 1,128                            | 6,735                             | 7,863                       | 18,257            |
|                        | 32      | <i>Su</i>                | 23,62               | 55,000     | 383,15   | 464,920                       | 104,730                       | 1,5030                        | 0,3780                        | 0,585                            | 12,456                            | 13,041                      | 10,981            |
|                        | 39      | <i>YB Buhar</i>          | 23,62               | 45,000     | 716,15   | 3329,630                      | 104,730                       | 7,1290                        | 0,3780                        | 28,630                           | 12,456                            | 41,085                      | 78,646            |
|                        |         |                          |                     |            |          | $\dot{\mathcal{E}}_F$<br>(MW) | $\dot{\mathcal{E}}_P$<br>(MW) | $\dot{\mathcal{E}}_L$<br>(MW) | $\dot{\mathcal{E}}_D$<br>(MW) | <b>X</b><br>(MW/ton)             | $\mathcal{E}$<br>(%)              | $\dot{G}_{pot}$<br>(MW)     | $\eta$<br>(%)     |
|                        |         |                          |                     |            |          | 101,047                       | 28,044                        | 7,863                         | 65,140                        | 1,19                             | 27,75                             | 54,924                      | 60,88             |

Çizelge 7.11 BK 104 Buhar kazanēproses akēmnlārēmōn özellikleri

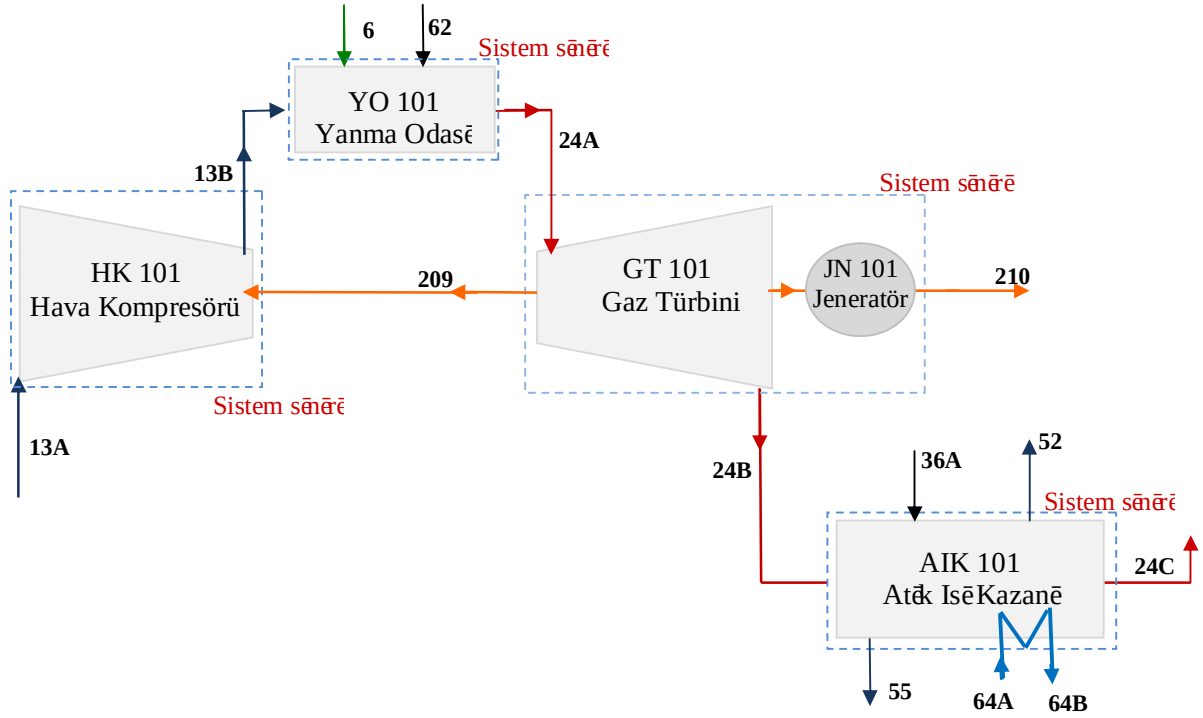
| Proses Cihazı          | Akım No | Açıklama          | $\dot{m}$<br>(kg/s) | P<br>(Bar) | T<br>(K) | H<br>(kJ/kg)                  | H <sub>0</sub><br>(kJ/kg)     | S<br>(kJ/kgK)                 | S <sub>0</sub><br>(kJ/kgK)    | $\dot{\mathcal{E}}_{ph}$<br>(MW) | $\dot{\mathcal{E}}_{kim}$<br>(MW) | $\dot{\mathcal{E}}$<br>(MW) | $\dot{E}$<br>(MW) |
|------------------------|---------|-------------------|---------------------|------------|----------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------|-------------------|
| BK 104<br>Buhar Kazanı | 4A      | Yüksek Fārēm Gazē | 12,67               | 1,050      | 298,15   | 85,68                         | 85,69                         | 6,5580                        | 6,5680                        | 0,038                            | 40,097                            | 40,135                      | 42,871            |
|                        | 4B      | Kok Gazē          | 0,54                | 1,050      | 298,15   | 333,73                        | 338,78                        | 19,9450                       | 19,9950                       | 0,005                            | 19,490                            | 19,496                      | 23,891            |
|                        | 4C      | Çelikhane Gazē    | 8,42                | 1,050      | 298,15   | 96,94                         | 96,95                         | 6,4560                        | 6,4660                        | 0,025                            | 50,741                            | 50,766                      | 53,180            |
|                        | 4D      | Doj algaz         | 0,04                | 16,000     | 298,15   | 238,52                        | 254,32                        | 10,7070                       | 12,0070                       | 0,015                            | 1,842                             | 1,857                       | 1,999             |
|                        | 11      | Hava              | 42,11               | 1,013      | 298,15   | 34,560                        | 34,560                        | 6,5450                        | 6,5450                        | 0,000                            | 0,106                             | 0,106                       | 1,455             |
|                        | 22      | Baca Gazē         | 61,92               | 1,013      | 424,25   | 291,81                        | 128,59                        | 6,5050                        | 6,0180                        | 1,116                            | 6,681                             | 7,798                       | 18,069            |
|                        | 33      | Su                | 23,06               | 55,000     | 383,15   | 464,92                        | 104,73                        | 1,5030                        | 0,3780                        | 0,571                            | 12,160                            | 12,731                      | 10,721            |
|                        | 40      | YB Buhar          | 23,06               | 45,000     | 716,15   | 3.329,63                      | 104,73                        | 7,1290                        | 0,3780                        | 27,951                           | 12,160                            | 40,111                      | 76,781            |
|                        |         |                   |                     |            |          | $\dot{\mathcal{E}}_F$<br>(MW) | $\dot{\mathcal{E}}_P$<br>(MW) | $\dot{\mathcal{E}}_L$<br>(MW) | $\dot{\mathcal{E}}_D$<br>(MW) | $X$<br>(MW/ton)                  | $\mathcal{E}$<br>(%)              | $\dot{G}_{pot}$<br>(MW)     | $\eta$<br>(%)     |
|                        |         |                   |                     |            |          | 112,360                       | 27,380                        | 7,798                         | 77,183                        | 1,35                             | 24,37                             | 66,173                      | 53,53             |

Çizelge 7.12 BK 105 Buhar kazanēproses akēmīlarēnēn özellikleri

| Proses Cihazı          | Akım No | Açıklama          | $\dot{m}$<br>(kg/s) | P<br>(Bar) | T<br>(K) | H<br>(kJ/kg)                  | H <sub>0</sub><br>(kJ/kg)     | S<br>(kJ/kgK)                 | S <sub>0</sub><br>(kJ/kgK)    | $\dot{\mathcal{E}}_{ph}$<br>(MW) | $\dot{\mathcal{E}}_{kim}$<br>(MW) | $\dot{\mathcal{E}}$<br>(MW) | $\dot{E}$<br>(MW) |
|------------------------|---------|-------------------|---------------------|------------|----------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------|-------------------|
| BK 105<br>Buhar Kazanı | 5A      | Yüksek Fārēn Gazē | 23,377              | 1,050      | 298,15   | 85,680                        | 85,690                        | 6,5580                        | 6,5680                        | 0,069                            | 73,983                            | 74,052                      | 79,101            |
|                        | 5B      | Kok Gazē          | 0,146               | 1,050      | 298,15   | 333,730                       | 338,780                       | 19,9450                       | 19,9950                       | 0,001                            | 5,280                             | 5,282                       | 6,473             |
|                        | 5C      | Çelikhane Gazē    | 9,089               | 1,050      | 298,15   | 96,940                        | 96,950                        | 6,4560                        | 6,4660                        | 0,027                            | 54,770                            | 54,798                      | 57,404            |
|                        | 5D      | Doj algaz         | 0,045               | 16,000     | 298,15   | 238,520                       | 254,320                       | 10,7070                       | 12,0070                       | 0,017                            | 2,050                             | 2,066                       | 2,224             |
|                        | 12      | Hava              | 55,550              | 1,013      | 298,15   | 34,560                        | 34,560                        | 6,5450                        | 6,5450                        | 0,000                            | 0,140                             | 0,140                       | 1,920             |
|                        | 23      | Baca Gazē         | 88,210              | 1,013      | 424,25   | 266,600                       | 133,250                       | 6,4300                        | 6,0520                        | 1,821                            | 9,716                             | 11,537                      | 23,517            |
|                        | 34      | Su                | 30,280              | 55,000     | 383,15   | 464,920                       | 104,730                       | 1,5030                        | 0,3780                        | 0,750                            | 15,968                            | 16,718                      | 14,078            |
|                        | 41      | YB Buhar          | 30,280              | 45,000     | 716,15   | 3329,630                      | 104,730                       | 7,1290                        | 0,3780                        | 36,702                           | 15,968                            | 52,670                      | 100,821           |
|                        |         |                   |                     |            |          | $\dot{\mathcal{E}}_F$<br>(MW) | $\dot{\mathcal{E}}_P$<br>(MW) | $\dot{\mathcal{E}}_L$<br>(MW) | $\dot{\mathcal{E}}_D$<br>(MW) | $X$<br>(MW/ton)                  | $\mathcal{E}$<br>(%)              | $\dot{G}_{pot}$<br>(MW)     | $\eta$<br>(%)     |
|                        |         |                   |                     |            |          | 136,338                       | 35,952                        | 11,537                        | 88,849                        | 1,25                             | 26,37                             | 76,957                      | 58,96             |

## 7.2 GTG 101 ve 102 Gaz Türbin Gruplarına İhtiyaç Hesaplamalar

Gaz türbin grupları kompresör, yanma odası, gaz türbini, jeneratör ve bu ekipmanlara bağlı olarak çalışan atık ısı kazanı olarak olmaktadır. Gaz türbin grubu GTG 101'in akış şemasine şekil 7.2'de gösterilmektedir. Gaz türbin grubunun her bir elemanı için hesaplamaların nasıl yapıldığı ilgili kısımlarda verilmektedir.

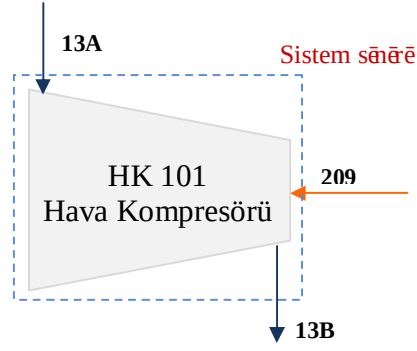


Şekil 7.2 GTG 101 Gaz türbin grubu akış şeması

### 7.2.1 HK 101 ve 102 Hava Kompresörlerine İhtiyaç Hesaplamalar

Kompresör, gaz türbin grubunun yanma odasında yanmanın gerçekleşmesi için gerekli havanın basınçlandırılmasını sağlayan ekipmandır. Türbine basınçlı hava göndermek için kompresöre çevre kartlarında giren hava, sıkıştırılarak kompresörü terk eder (Şekil 7.3).

HK 101 kompresörü için sırasıyla, kütle, enerji ve ekserji denklemleri ile ekserji tahribi, ekserji verimi, enerji verimi ve geliştirme potansiyeli aşağıda verilmektedir. HK 102 kompresörü için de benzer bağlantılar kurulmuştur:



Şekil 7.3 HK101 Hava kompresörü akış şeması

$$\dot{m}_{13A} = \dot{m}_{13B} \quad (7.9)$$

$$\dot{E}_{13A} + \dot{E}_{209} = \dot{E}_{13B} \quad (7.10)$$

$$\dot{\Sigma}_{13} + \dot{\Sigma}_{209} = \dot{\Sigma}_{13B} \quad (7.11)$$

$$\dot{\Sigma}_D = \dot{\Sigma}_{13A} + \dot{\Sigma}_{209} - \dot{\Sigma}_{13B} \quad (7.12)$$

$$\dot{U} = \frac{\dot{\Sigma}_{13B} - \dot{\Sigma}_{13A}}{\dot{\Sigma}_{209}} \quad (7.13)$$

$$\epsilon = \frac{\dot{E}_{13B}}{\dot{E}_{13A} + \dot{E}_{209}} \quad (7.14)$$

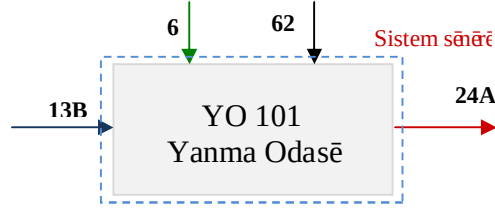
$$\dot{G}_{pot} = \dot{\Sigma}_D (1 - \omega) \quad (7.15)$$

HK 101 ve HK 102 kompresörlerine ilişkin hesaplama sonuçları Şekil 7.13 ve 7.14'de verilmektedir.

## 7.2.2 YO 101 ve 102 Yanma Odalarına İlişkin Hesaplamalar

Kompresörden gelen basınçlı hava 6 numaralı doğalgaz akımı ile birlikte yanma odasında yakılır. Alev sıcaklığı kontrol etmek amacıyla yanma odasına 62 nolu akımla buhar enjeksiyonu yapılır. Elde edilen yanma gazları 24A akımı ile türbine taşınır. YO 101 yanma odasının akış şeması Şekil 7.4'de gösterilmektedir.





Şekil 7.4 YO 101 Yanma odası akış şeması

YO 101 yanma odası için sırasıyla, kütle, enerji ve ekserji denklemleri ile ekserji tahribi, ekserji verimi, enerji verimi ve geliştirme potansiyeli başlı başına verilmektedir. YO 102 yanma odası için de benzer başlı başına kullanılmaktadır:

$$\dot{m}_{13B} + \dot{m}_6 + \dot{m}_{62} = \dot{m}_{24A} \quad (7.16)$$

$$\dot{E}_{13B} + \dot{E}_6 + \dot{E}_{62} = \dot{E}_{24A} \quad (7.17)$$

$$\dot{\Xi}_{13B} + \dot{\Xi}_6 + \dot{\Xi}_{62} = \dot{\Xi}_{24A} \quad (7.18)$$

$$\dot{\Xi}_D = \dot{\Xi}_{24A} - \dot{\Xi}_{13B} - \dot{\Xi}_6 - \dot{\Xi}_{62} \quad (7.19)$$

$$\dot{U} = \frac{\dot{\Xi}_{24A}}{\dot{\Xi}_{13B} + \dot{\Xi}_6 + \dot{\Xi}_{62}} \quad (7.20)$$

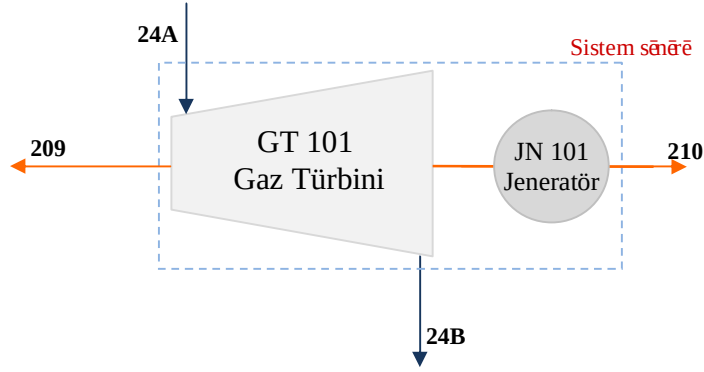
$$\epsilon = \frac{\dot{E}_{24A}}{\dot{E}_{13B} + \dot{E}_6 + \dot{E}_{62}} \quad (7.21)$$

$$\dot{G}_{pot} = \dot{\Xi}_D (1 - \omega) \quad (7.22)$$

YO 101 ve 102 yanma odalarına ilişkin hesaplama sonuçları sırası ile Çizelge 7.13 ve 7.14'de verilmektedir.

### 7.2.3 GT 101 ve 102 Gaz Türbinlerine İlişkin Hesaplamalar

Yanma odasından çıkan yanma gazları türbinde genişletilir. Yanma sonucu elde edilen kimyasal enerji burada hareket enerjine dönüştürülür. Bu hareket de türbinde kafa aktarılır ve işe dönüktür. GT 101 gaz türbininin akış şeması Şekil 7.5'de gösterilmektedir.



Şekil 7.5 GT 101 Gaz türbini akış şeması

$$\dot{m}_{24A} = \dot{m}_{24B} \quad (7.23)$$

$$\dot{E}_{24A} = \dot{E}_{24B} + \dot{E}_{209} + \dot{E}_{210} \quad (7.24)$$

$$\dot{\Sigma}_{24A} = \dot{\Sigma}_{24B} + \dot{\Sigma}_{209} + \dot{\Sigma}_{210} \quad (7.25)$$

$$\dot{\Sigma}_D = \dot{\Sigma}_{24A} - \dot{\Sigma}_{24B} - \dot{\Sigma}_{209} - \dot{\Sigma}_{210} \quad (7.26)$$

$$\dot{U} = \frac{\dot{\Sigma}_{209} + \dot{\Sigma}_{210}}{\dot{\Sigma}_{24A} - \dot{\Sigma}_{24B}} \quad (7.27)$$

$$\eta = \frac{\dot{E}_{209} + \dot{E}_{210}}{\dot{E}_{24A} - \dot{E}_{24B}} \quad (7.28)$$

$$\dot{G}_{pot} = \dot{\Sigma}_D (1 - \varepsilon) \quad (7.29)$$

GT 101 ve 102 gaz türbinlerine ilişkin hesaplama sonuçları sırası ile Çizelge 7.13 ve 7.14'de verilmektedir.

#### 7.2.4 AIK 101 ve 102 Atık Isı Kazanlarına İlişkin Hesaplamalar

Gaz türbinlerinin egzoz gazlarının atık ısılarından faydalanarak buhar üreten atık ısı kazanlarının her biri, 45 bar ve 445°C derece sıcaklıkta 60 ton/saat, 14 bar ve 335°C sıcaklıkta 20 ton/saat buhar üretme kapasitesine sahiptir. AIK 101 atık ısı kazanının akış şeması Şekil 7.6'da gösterilmektedir.



Şekil 7.6 AIK 101 Atık Isı Kazan şeması

AIK 101 atık ısı kazanı için sırasıyla, kütle, enerji ve ekserji denklikleri ile ekserji tahribi, ekserji verimi, enerji verimi ve geliştirme potansiyeli başlıklarında verilmektedir. AIK 102 atık ısı kazanı için de benzer başlıklar kullanılmaktadır:

$$\dot{m}_{36A} = \dot{m}_{52} + \dot{m}_{55} \quad (7.30)$$

$$\dot{m}_{64A} = \dot{m}_{64B} \quad (7.31)$$

$$\dot{m}_{24B} = \dot{m}_{24C} \quad (7.32)$$

$$\dot{E}_{36A} + \dot{E}_{64A} + \dot{E}_{24B} = \dot{E}_{52} + \dot{E}_{55} + \dot{E}_{64B} + \dot{E}_{24C} \quad (7.33)$$

$$\dot{\dot{E}}_{36A} + \dot{\dot{E}}_{64A} + \dot{\dot{E}}_{24B} = \dot{\dot{E}}_{52} + \dot{\dot{E}}_{55} + \dot{\dot{E}}_{64B} + \dot{\dot{E}}_{24C} \quad (7.34)$$

$$\dot{\dot{E}}_D = \dot{\dot{E}}_{36A} + \dot{\dot{E}}_{64A} + \dot{\dot{E}}_{24B} - \dot{\dot{E}}_{52} - \dot{\dot{E}}_{55} - \dot{\dot{E}}_{64B} - \dot{\dot{E}}_{24C} \quad (7.35)$$

$$\dot{U} = \frac{(\dot{\dot{E}}_{52} + \dot{\dot{E}}_{55} - \dot{\dot{E}}_{36A}) + (\dot{\dot{E}}_{64B} - \dot{\dot{E}}_{64A})}{\dot{\dot{E}}_{24B} - \dot{\dot{E}}_{24C}} \quad (7.36)$$

$$\dot{U} = \frac{(\dot{E}_{52} + \dot{E}_{55} - \dot{E}_{36A}) + (\dot{E}_{64B} - \dot{E}_{64A})}{\dot{E}_{24B} - \dot{E}_{24C}} \quad (7.37)$$

$$\dot{G}_{pot} = \dot{\dot{E}}_D (1 - \omega) + \dot{\dot{E}}_{24C} \quad (7.38)$$

AIK 101 ve 102 atık ısı kazanılarına ilişkin hesaplama sonuçları sırasıyla Çizelge 7.13 ve 7.14'de verilmektedir.

Çizelge 7.13 GTG 101 Gaz türbin grubu proses akamlarının özellikleri

| Proses Cihazı             | Akım No | Açıklama   | $\dot{m}$<br>(kg/s) | P<br>(Bar) | T<br>(K) | H<br>(kJ/kg) | H <sub>0</sub><br>(kJ/kg)     | S<br>(kJ/kgK)                 | S <sub>0</sub><br>(kJ/kgK)    | $\dot{\mathcal{E}}_{ph}$<br>(MW) | $\dot{\mathcal{E}}_{kim}$<br>(MW) | $\dot{\mathcal{E}}$<br>(MW) | $\dot{E}$<br>(MW) |
|---------------------------|---------|------------|---------------------|------------|----------|--------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------|-------------------|
| HK 101<br>Hava Kompresörü | 13A     | Hava       | 131,700             | 1,013      | 298,15   | 34,560       | 34,560                        | 6,5450                        | 6,5450                        | 0,00                             | 0,33                              | 0,33                        | 0,00              |
|                           | 13B     | Hava       | 131,700             | 11,580     | 635,05   | 386,742      | 34,560                        | 6,6250                        | 6,5450                        | 43,24                            | 0,33                              | 43,57                       | 46,38             |
|                           | 209     | Komp. Gücü | -                   | -          | -        | -            | -                             | -                             | -                             | -                                | -                                 | 53,823                      | 53,823            |
|                           |         |            |                     |            |          |              | $\dot{\mathcal{E}}_F$<br>(MW) | $\dot{\mathcal{E}}_P$<br>(MW) | $\dot{\mathcal{E}}_L$<br>(MW) | $\dot{\mathcal{E}}_D$<br>(MW)    | $\mathcal{E}$<br>(%)              | $\dot{G}_{pot}$<br>(MW)     | $\eta$<br>(%)     |
|                           |         |            |                     |            |          |              | 53,579                        | 43,241                        | -                             | 10,338                           | 80,71                             | 1,995                       | 86,57             |
|                           |         |            |                     |            |          |              |                               |                               |                               |                                  |                                   |                             |                   |
| Proses Cihazı             | Akım No | Açıklama   | $\dot{m}$<br>(kg/s) | P<br>(Bar) | T<br>(K) | H<br>(kJ/kg) | H <sub>0</sub><br>(kJ/kg)     | S<br>(kJ/kgK)                 | S <sub>0</sub><br>(kJ/kgK)    | $\dot{\mathcal{E}}_{ph}$<br>(MW) | $\dot{\mathcal{E}}_{kim}$<br>(MW) | $\dot{\mathcal{E}}$<br>(MW) | $\dot{E}$<br>(MW) |
| YO 101<br>Yanma Odası     | 13B     | Hava       | 131,700             | 11,580     | 635,05   | 386,742      | 34,560                        | 6,6250                        | 6,5450                        | 43,24                            | 0,33                              | 43,57                       | 46,38             |
|                           | 6       | Doğalgaz   | 2,913               | 19,310     | 298,15   | 238,520      | 254,320                       | 10,7070                       | 12,0070                       | 1,08                             | 134,17                            | 135,25                      | 145,60            |
|                           | 62      | Buhar Kçj. | 3,263               | 20,000     | 493,15   | 2839,800     | 104,734                       | 6,6940                        | 0,3780                        | 2,78                             | 0,00                              | 2,78                        | 8,92              |
|                           | 24A     | Yanma Gazı | 137,900             | 11,540     | 1377,15  | 1506,796     | 69,313                        | 7,7170                        | 6,1550                        | 134,01                           | 6,52                              | 140,53                      | 198,23            |
|                           |         |            |                     |            |          |              | $\dot{\mathcal{E}}_F$<br>(MW) | $\dot{\mathcal{E}}_P$<br>(MW) | $\dot{\mathcal{E}}_L$<br>(MW) | $\dot{\mathcal{E}}_D$<br>(MW)    | $\mathcal{E}$<br>(%)              | $\dot{G}_{pot}$<br>(MW)     | $\eta$<br>(%)     |
|                           |         |            |                     |            |          |              | 181,609                       | 140,526                       | -                             | 41,083                           | 77,38                             | 9,293                       | 98,67             |

Çizelge 7.13 GTG 101 Gaz türbin grubu proses akınları özellikleri (devamı)

| Proses Cihazı              | Akım No | Açıklama      | $\dot{m}$<br>(kg/s) | P<br>(Bar) | T<br>(K) | H<br>(kJ/kg) | H <sub>0</sub><br>(kJ/kg) | S<br>(kJ/kgK)       | S <sub>0</sub><br>(kJ/kgK) | $\dot{E}_{ph}$<br>(MW) | $\dot{E}_{kim}$<br>(MW) | $\dot{E}$<br>(MW)       | $\dot{E}$<br>(MW) |
|----------------------------|---------|---------------|---------------------|------------|----------|--------------|---------------------------|---------------------|----------------------------|------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------|
| GT 101<br>Gaz Türbini      | 24A     | Yanma Gazı    | 137,900             | 11,540     | 1377,15  | 1506,796     | 69,313                    | 7,7170              | 6,1550                     | 134,01                 | 6,52                    | 140,53                  | 198,23            |
|                            | 24B     | Yanma Gazı    | 137,900             | 1,041      | 824,95   | 807,530      | 69,313                    | 7,7890              | 6,1550                     | 34,62                  | 6,52                    | 41,14                   | 101,80            |
|                            | 209     | Komp. Gücü    | -                   | -          | -        | -            | -                         | -                   | -                          | -                      | -                       | 53,579                  | 53,579            |
|                            | 210     | Elek. Üretimi | -                   | -          | -        | -            | -                         | -                   | -                          | -                      | -                       | 39,509                  | 39,509            |
|                            |         |               |                     |            |          |              | $\dot{E}_F$<br>(MW)       | $\dot{E}_P$<br>(MW) | $\dot{E}_L$<br>(MW)        | $\dot{E}_D$<br>(MW)    | $\mathcal{E}$<br>(%)    | $\dot{G}_{pot}$<br>(MW) | $\eta$<br>(%)     |
|                            |         |               |                     |            |          |              | 140,526                   | 134,225             | -                          | 6,301                  | 93,66                   | 0,399                   | 96,54             |
| Proses Cihazı              | Akım No | Açıklama      | $\dot{m}$<br>(kg/s) | P<br>(Bar) | T<br>(K) | H<br>(kJ/kg) | H <sub>0</sub><br>(kJ/kg) | S<br>(kJ/kgK)       | S <sub>0</sub><br>(kJ/kgK) | $\dot{E}_{ph}$<br>(MW) | $\dot{E}_{kim}$<br>(MW) | $\dot{E}$<br>(MW)       | $\dot{E}$<br>(MW) |
| AIK 101<br>Atık Isı Kazanı | 24B     | Yanma Gazı    | 137,900             | 1,041      | 824,95   | 807,530      | 69,313                    | 7,7890              | 6,1550                     | 34,62                  | 6,52                    | 41,14                   | 101,80            |
|                            | 24C     | Yanma Gazı    | 137,900             | 1,013      | 428,95   | 354,203      | 69,313                    | 7,0520              | 6,1550                     | 2,41                   | 6,52                    | 8,92                    | 39,29             |
|                            | 36A     | Su            | 20,830              | 1,447      | 353,15   | 334,993      | 104,734                   | 1,0752              | 0,3780                     | 0,47                   | 10,98                   | 11,45                   | 4,80              |
|                            | 52      | YB Buhar      | 15,280              | 45,000     | 718,15   | 3312,815     | 104,734                   | 6,8613              | 0,3780                     | 19,48                  | 8,06                    | 27,54                   | 49,02             |
|                            | 55      | AB Buhar      | 5,556               | 14,000     | 608,15   | 3118,259     | 104,734                   | 7,0859              | 0,3780                     | 5,63                   | 2,93                    | 8,56                    | 16,74             |
|                            | 64A     | Su            | 5,556               | 3,000      | 313,15   | 167,711      | 104,734                   | 0,5720              | 0,3780                     | 0,03                   | 2,93                    | 2,96                    | 0,35              |
|                            | 64B     | Su            | 5,556               | 2,970      | 351,15   | 326,723      | 104,734                   | 1,0512              | 0,3780                     | 0,12                   | 2,78                    | 2,89                    | 1,23              |
|                            |         |               |                     |            |          |              | $\dot{E}_F$<br>(MW)       | $\dot{E}_P$<br>(MW) | $\dot{E}_L$<br>(MW)        | $\dot{E}_D$<br>(MW)    | $\mathcal{E}$<br>(%)    | $\dot{G}_{pot}$<br>(MW) | $\eta$<br>(%)     |
|                            |         |               |                     |            |          |              | 41,137                    | 24,587              | 8,925                      | 7,625                  | 76,33                   | 10,730                  | 98,94             |

Çizelge 7.14 GTG 102 Gaz türbin grubu proses akānlarānān özellikleri

| Proses Cihazı             | Akım No | Açıklama   | $\dot{m}$<br>(kg/s) | P<br>(Bar) | T<br>(K) | H<br>(kJ/kg) | H <sub>0</sub><br>(kJ/kg)     | S<br>(kJ/kgK)                 | S <sub>0</sub><br>(kJ/kgK)    | $\dot{\mathcal{E}}_{ph}$<br>(MW) | $\dot{\mathcal{E}}_{kim}$<br>(MW) | $\dot{\mathcal{E}}$<br>(MW) | $\dot{E}$<br>(MW) |
|---------------------------|---------|------------|---------------------|------------|----------|--------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------|-------------------|
| HK 102<br>Hava Kompresörü | 14A     | Hava       | 132,300             | 1,013      | 298,15   | 34,560       | 34,560                        | 6,5450                        | 6,5450                        | 0,00                             | 0,33                              | 0,33                        | 0,00              |
|                           | 14B     | Hava       | 132,300             | 11,580     | 635,05   | 386,742      | 34,560                        | 6,6250                        | 6,5450                        | 43,44                            | 0,33                              | 43,77                       | 46,59             |
|                           | 211     | Komp. Gücü | -                   | -          | -        | -            | -                             | -                             | -                             | -                                | -                                 | 53,823                      | 53,823            |
|                           |         |            |                     |            |          |              | $\dot{\mathcal{E}}_F$<br>(MW) | $\dot{\mathcal{E}}_P$<br>(MW) | $\dot{\mathcal{E}}_L$<br>(MW) | $\dot{\mathcal{E}}_D$<br>(MW)    | $\mathcal{E}$<br>(%)              | $\dot{G}_{pot}$<br>(MW)     | $\eta$<br>(%)     |
|                           |         |            |                     |            |          |              | 53,823                        | 43,438                        | -                             | 10,385                           | 80,71                             | 2,004                       | 86,57             |
|                           |         |            |                     |            |          |              |                               |                               |                               |                                  |                                   |                             |                   |
| Proses Cihazı             | Akım No | Açıklama   | $\dot{m}$<br>(kg/s) | P<br>(Bar) | T<br>(K) | H<br>(kJ/kg) | H <sub>0</sub><br>(kJ/kg)     | S<br>(kJ/kgK)                 | S <sub>0</sub><br>(kJ/kgK)    | $\dot{\mathcal{E}}_{ph}$<br>(MW) | $\dot{\mathcal{E}}_{kim}$<br>(MW) | $\dot{\mathcal{E}}$<br>(MW) | $\dot{E}$<br>(MW) |
| YO 102<br>Yanma Odası     | 14B     | Hava       | 132,300             | 11,580     | 635,05   | 386,742      | 34,560                        | 6,6250                        | 6,5450                        | 43,44                            | 0,33                              | 43,77                       | 46,59             |
|                           | 7       | Doğalgaz   | 2,927               | 19,310     | 298,15   | 238,520      | 254,320                       | 10,7070                       | 12,0070                       | 1,09                             | 134,82                            | 135,90                      | 146,30            |
|                           | 63      | Buhar Kçj. | 3,286               | 20,000     | 493,15   | 2839,800     | 104,734                       | 6,6940                        | 0,3780                        | 2,80                             | 0,00                              | 2,80                        | 9,33              |
|                           | 25A     | Yanma Gazē | 138,500             | 11,540     | 1377,15  | 1507,026     | 69,320                        | 7,7170                        | 6,1540                        | 134,58                           | 6,55                              | 141,13                      | 208,72            |
|                           |         |            |                     |            |          |              | $\dot{\mathcal{E}}_F$<br>(MW) | $\dot{\mathcal{E}}_P$<br>(MW) | $\dot{\mathcal{E}}_L$<br>(MW) | $\dot{\mathcal{E}}_D$<br>(MW)    | $\mathcal{E}$<br>(%)              | $\dot{G}_{pot}$<br>(MW)     | $\eta$<br>(%)     |
|                           |         |            |                     |            |          |              | 182,477                       | 141,131                       | -                             | 41,346                           | 77,34                             | 9,368                       | 103,22            |

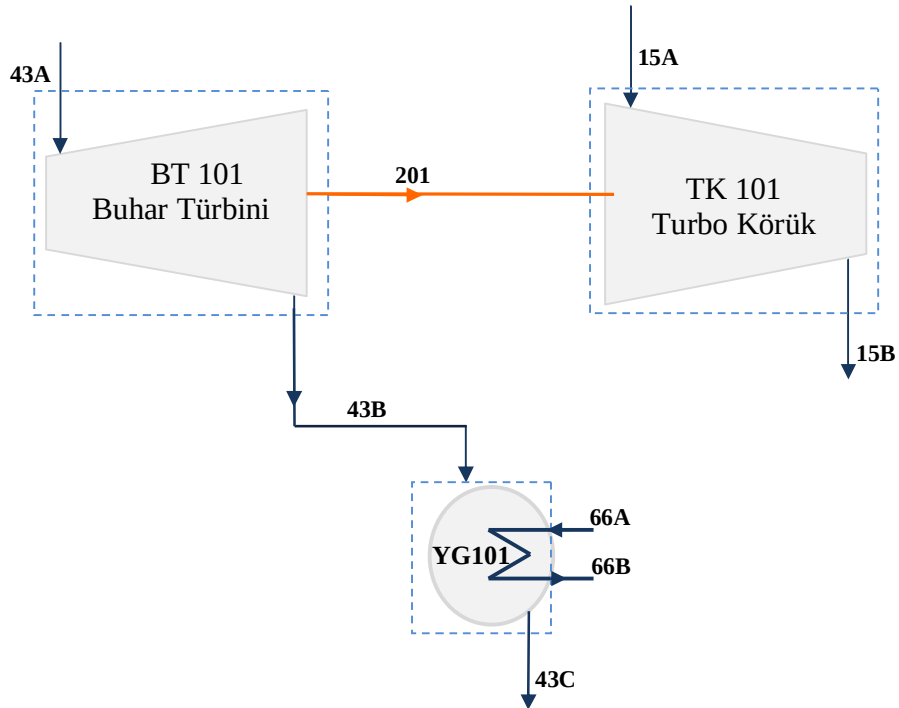
Çizelge 7.14 GTG 102 Gaz türbin grubu proses akamların özellikleri (devam)

| Proses Cihazı              | Akım No | Açıklama      | $\dot{m}$<br>(kg/s) | P<br>(Bar) | T<br>(K) | H<br>(kJ/kg) | H <sub>0</sub><br>(kJ/kg) | S<br>(kJ/kgK)       | S <sub>0</sub><br>(kJ/kgK) | $\dot{E}_{ph}$<br>(MW) | $\dot{E}_{kim}$<br>(MW) | $\dot{E}$<br>(MW)       | $\dot{E}$<br>(MW) |
|----------------------------|---------|---------------|---------------------|------------|----------|--------------|---------------------------|---------------------|----------------------------|------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------|
| GT 102<br>Gaz Türbini      | 25A     | Yanma Gazē    | 138,500             | 11,540     | 1377,15  | 1507,026     | 69,320                    | 7,7170              | 6,1540                     | 134,58                 | 6,55                    | 141,13                  | 208,72            |
|                            | 25B     | Yanma Gazē    | 138,500             | 1,041      | 824,95   | 807,838      | 69,320                    | 7,7890              | 6,1540                     | 34,77                  | 6,55                    | 41,32                   | 102,28            |
|                            | 211     | Komp. Gücü    | -                   | -          | -        | -            | -                         | -                   | -                          | -                      | -                       | 53,823                  | 53,823            |
|                            | 212     | Elek. Üretimi | -                   | -          | -        | -            | -                         | -                   | -                          | -                      | -                       | 39,705                  | 39,705            |
|                            |         |               |                     |            |          |              | $\dot{E}_F$<br>(MW)       | $\dot{E}_P$<br>(MW) | $\dot{E}_L$<br>(MW)        | $\dot{E}_D$<br>(MW)    | $\epsilon$<br>(%)       | $\dot{G}_{pot}$<br>(MW) | $\eta$<br>(%)     |
|                            |         |               |                     |            |          |              | 141,131                   | 134,848             | -                          | 6,283                  | 93,71                   | 0,395                   | 87,87             |
| Proses Cihazı              | Akım No | Açıklama      | $\dot{m}$<br>(kg/s) | P<br>(Bar) | T<br>(K) | H<br>(kJ/kg) | H <sub>0</sub><br>(kJ/kg) | S<br>(kJ/kgK)       | S <sub>0</sub><br>(kJ/kgK) | $\dot{E}_{ph}$<br>(MW) | $\dot{E}_{kim}$<br>(MW) | $\dot{E}$<br>(MW)       | $\dot{E}$<br>(MW) |
| AIK 102<br>Atık Isı Kazanı | 24B     | Yanma Gazē    | 138,500             | 1,041      | 824,95   | 807,838      | 69,320                    | 7,7890              | 6,1540                     | 34,77                  | 6,55                    | 41,32                   | 102,28            |
|                            | 24C     | Yanma Gazē    | 138,500             | 1,013      | 428,95   | 356,561      | 69,320                    | 7,0570              | 6,1540                     | 2,49                   | 6,55                    | 9,05                    | 39,78             |
|                            | 36B     | Su            | 20,830              | 1,447      | 353,15   | 334,993      | 104,734                   | 1,0752              | 0,3780                     | 0,47                   | 10,98                   | 11,45                   | 4,80              |
|                            | 52      | Y.B. Buhar    | 15,280              | 45,000     | 718,15   | 3312,815     | 104,734                   | 6,8613              | 0,3780                     | 19,48                  | 8,06                    | 27,54                   | 49,02             |
|                            | 55      | A. B. Buhar   | 5,556               | 14,000     | 608,15   | 3118,259     | 104,734                   | 7,0859              | 0,3780                     | 5,63                   | 2,93                    | 8,56                    | 16,74             |
|                            | 65A     | Su            | 5,56                | 3,000      | 313,15   | 167,711      | 104,734                   | 0,5720              | 0,3780                     | 0,03                   | 2,93                    | 2,96                    | 0,35              |
|                            | 65B     | Su            | 5,56                | 2,970      | 351,15   | 326,723      | 104,734                   | 1,0512              | 0,3780                     | 0,12                   | 2,78                    | 2,89                    | 1,23              |
|                            |         |               |                     |            |          |              | $\dot{E}_F$<br>(MW)       | $\dot{E}_P$<br>(MW) | $\dot{E}_L$<br>(MW)        | $\dot{E}_D$<br>(MW)    | $\epsilon$<br>(%)       | $\dot{G}_{pot}$<br>(MW) | $\eta$<br>(%)     |
|                            |         |               |                     |            |          |              | 32,275                    | 24,587              | 9,045                      | 7,688                  | 76,18                   | 10,877                  | 98,96             |

### 7.3 BTG 101, 102, 103, 104, 105, 106, 107 ve 108 Buhar Türbin Gruplarına İlişkin Hesaplamalar

Bu kısımda BTG 101, 102, 103, 104, 105, 106, 107 ve 108 buhar türbini gruplarına ilişkin hesaplamalar verilmektedir. Her bir proses cihazına ait denklikler ve sonuçlar bu kısımda gösterilmektedir.

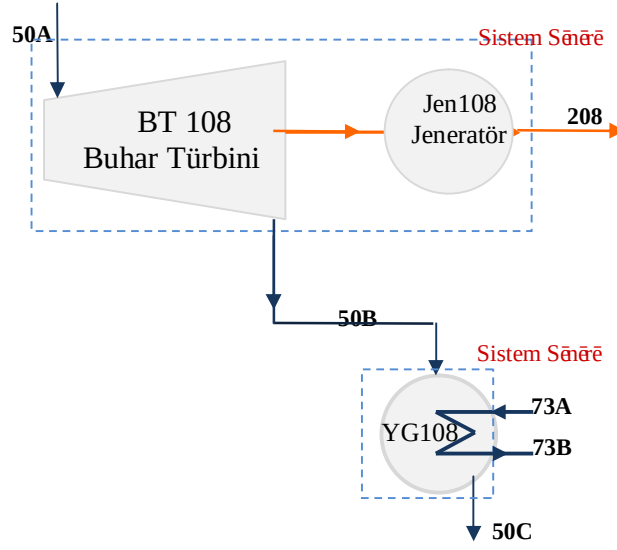
Buhar türbin grubu BTG 101, 102 ve 103; buhar türbini, turbo körük ve yoğurturucudan oluşmaktadır. Örnek olarak BTG 101'in akış şemasine şekil 7.7'de gösterilmektedir. Buhar türbin grubu BTG 104; buhar türbini, jeneratör, turbo körük ve yoğurturucudan oluşmaktadır ve akış şemasine şekil 7.8'de gösterilmektedir. Buhar türbin grubu BTG 105, 106 ve 107; ara kademeli buhar türbini, jeneratör ve yoğurturucudan oluşmaktadır ve örnek olarak BTG 105'in akış şemasine şekil 7.9'da gösterilmektedir. Buhar türbin grubu BTG 108, buhar türbini, jeneratör ve yoğurturucudan oluşmaktadır ve akış şemasine şekil 7.10'da gösterilmektedir. Buhar türbin gruplarının her bir elemanı için hesaplamaların nasıl yapılacağı ilgili kısımlarda verilmektedir.



Şekil 7.7 BTG 101 Buhar türbin grubu akış şemasine



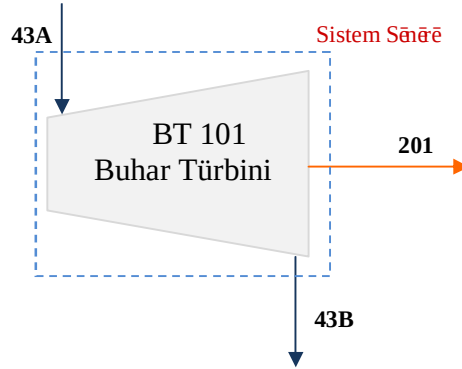
Şekil 7.9 BTG 105 Buhar türbin grubu akış keması



Şekil 7.10 BTG 108 Buhar türbin grubu akış şeması

### 7.3.1 BT 101, 102, 103, 104 ve 108 Buhar Türbinlerine Kiriş Hesaplamalar

Buhar kazanlarında elde edilen kızgın buharın buhar türbininde genleştirilmesiyle, tahvil enerji hareket enerjisine dönüştürülür. BT 101 Buhar türbini akış şeması Şekil 7.11'de gösterilmektedir.



Şekil 7.11 BT 101 Buhar türbini akış şeması

BT 101 buhar türbini için sırasıyla, kütle, enerji ve ekserji denklemleri ile ekserji tahribi, ekserji verimi, enerji verimi ve geliştirme potansiyeli başlıkları altında verilmektedir. BT 102, 103, 104 ve 108 buhar türbinleri için de benzer başlıklar kullanılmaktadır:

$$\dot{m}_{43A} = \dot{m}_{43B} \quad (7.39)$$

$$\dot{E}_{43A} + \dot{E}_{201} = \dot{E}_{43B} \quad (7.40)$$

$$\dot{\mathcal{E}}_{43A} + \dot{\mathcal{E}}_{201} = \dot{\mathcal{E}}_{43B} \quad (7.41)$$

$$\dot{\mathcal{E}}_D = \dot{\mathcal{E}}_{201} - (\dot{\mathcal{E}}_{43B} - \dot{\mathcal{E}}_{43A}) \quad (7.42)$$

$$\dot{U} = \frac{\dot{\mathcal{E}}_{201}}{\dot{\mathcal{E}}_{43b} - \dot{\mathcal{E}}_{43a}} \quad (7.43)$$

$$\dot{U} = \frac{\dot{E}_{201}}{\dot{E}_{43B} - \dot{E}_{43a}} \quad (7.44)$$

$$\dot{G}_{pot} = \dot{\mathcal{E}}_D (1 - \omega) \quad (7.45)$$

BT 101, 102, 104 ve 108 buhar türbinlerine ilişkin hesaplama sonuçları sırası ile Çizelge 7.15, 7.16, 7.17 ve 7.20'de verilmektedir. BT 103 proses yedeği olduğu için kapalı konumdadır.

### 7.3.2 BT 105, 106 ve 107 Ara Kademeli Buhar Türbinlerine İlişkin Hesaplamalar

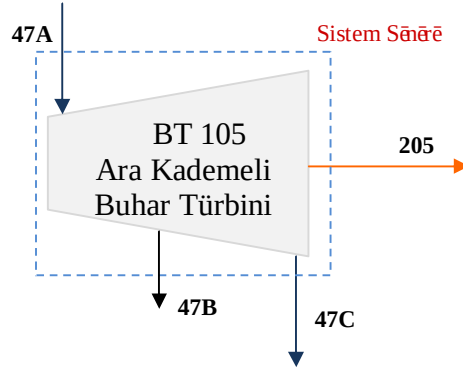
Buhar kazanlarında elde edilen kışgın buharın buhar türbininde genleştirilmesiyle, takvîti enerji hareket enerjisine dönüştürülür. Proseste bulunan diğer buhar türbinlerinden farklı olarak, ara kademeli buhar türbinlerinde ara bir kademedan buhar çekilir. Ara kademedan çekilen buhar, proses buharı olarak sahada kullanılır. BT 105 ara kademeli buhar türbininin akış şekli 7.12'de gösterilmektedir.

BT 105 ara kademeli buhar türbini için sırasıyla, kütle, enerji ve ekserji denklemleri ile ekserji tahribi, ekserji verimi, enerji verimi ve geliştirme potansiyeli hesapları yapılarak verilmektedir. BT 106 ve 107 ara kademeli buhar türbinleri için de benzer hesaplar kullanılmaktadır:

$$\dot{m}_{47A} = \dot{m}_{47B} + \dot{m}_{47C} \quad (7.46)$$

$$\dot{E}_{47A} = \dot{E}_{47B} + \dot{E}_{47C} + \dot{E}_{205} \quad (7.47)$$

$$\dot{\mathcal{E}}_{47A} = \dot{\mathcal{E}}_{47B} + \dot{\mathcal{E}}_{47C} + \dot{\mathcal{E}}_{205} \quad (7.48)$$



Şekil 7.12 BT 105 Ara kademeli buhar türbini akış şeması

$$\dot{\mathcal{E}}_D = \dot{\mathcal{E}}_{47A} - \dot{\mathcal{E}}_{47B} - \dot{\mathcal{E}}_{47C} - \dot{\mathcal{E}}_{205} \quad (7.49)$$

$$\dot{U} = \frac{\dot{\mathcal{E}}_{205} + \dot{\mathcal{E}}_{47B}}{\dot{\mathcal{E}}_{47C} - \dot{\mathcal{E}}_{47A}} \quad (7.50)$$

$$\eta = \frac{\dot{E}_{205} + \dot{E}_{47B}}{\dot{E}_{47C} - \dot{E}_{47A}} \quad (7.51)$$

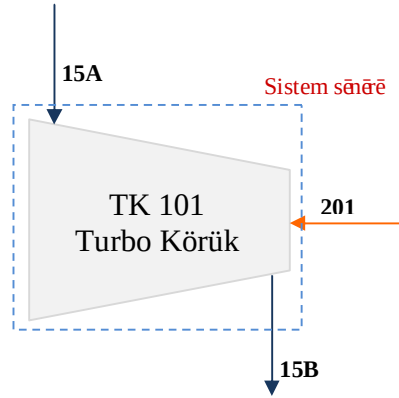
$$\dot{G}_{pot} = \dot{\mathcal{E}}_D (1 - \omega) \quad (7.52)$$

BT 106 ve 107 ara kademeli buhar türbinlerine ilişkin hesaplama sonuçları Şekil 7.18 ve 7.19'da verilmektedir. BT 105 proses yedeği olduğu için kapalı konumdadır.

### 7.3.3 TK 101, 102, 103 ve 104 Turbo Körüklerine İlişkin Hesaplamalar

Kazanlardan elde edilen kızgın buharın bir türbinde genleştirilmesiyle elde edilen ık aynı anda basınçlı buhar olarak kullanılır. Bu buharın dönmesiyle atmosfer havası emilir ve basınçlandırılarak yüksek basınçlara yanma havası olarak verilir. TK 101 turbo köpüğü akış şeması Şekil 7.13'de gösterilmektedir.

TK 101 turbo köpük için şemayla, kütle, enerji ve ekserji denklemleri ile ekserji tahribi, ekserji verimi, enerji verimi ve geliştirme potansiyeli hesaplanmıştır. TK 102, 103 ve 104 turbo köpükleri için de benzer hesaplar kullanılmıştır:



Şekil 7.13 TK 101 Turbo kırık akış şeması

$$\dot{m}_{15A} = \dot{m}_{15B} \quad (7.53)$$

$$\dot{E}_{15A} + \dot{E}_{201} = \dot{E}_{15B} \quad (7.54)$$

$$\dot{\Sigma}_{15A} + \dot{\Sigma}_{201} = \dot{\Sigma}_{15B} \quad (7.55)$$

$$\dot{\Sigma}_D = \dot{\Sigma}_{201} - (\dot{\Sigma}_{15B} - \dot{\Sigma}_{15A}) \quad (7.56)$$

$$\dot{U} = \frac{\dot{\Sigma}_{15B} - \dot{\Sigma}_{15A}}{\dot{\Sigma}_{201}} \quad (7.57)$$

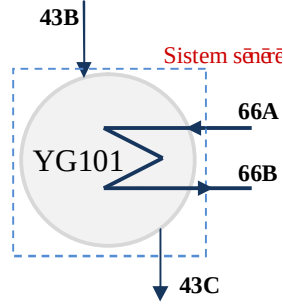
$$\dot{C} = \frac{\dot{E}_{15B} - \dot{E}_{15A}}{\dot{E}_{201}} \quad (7.58)$$

$$\dot{G}_{pot} = \dot{\Sigma}_D (1 - \omega) \quad (7.59)$$

TK 101, 102 ve 104 nolu turbo kırıklara ilişkin hesaplama sonuçları Şizelge 7.15, 7.16, 7.17'de verilmektedir. TK 103 ve 104 proses yedeğ i olduğu u için kapalı konumdadır.

### 7.3.4 YG 101, 102, 103, 104, 105, 106, 107 ve 108 Yoğ ukturucularına İlişkin Hesaplamalar

Buhar türbinlerinde genlektirilen buhar, türbin çekâklarında yoğ ukturuculara gelir. Burada, çürük buhar yoğ ukturularak elde edilen su, ana su toplayâ hattına verilir. YG 101 yoğ ukturucusunun akış şeması Şekil 7.14'de gösterilmektedir.



ȃekil 7.14 YG 101 Yoğ ıkturucu akȃk kemasȃ

YG 101 yoğ ıkturucu iȃin sȃrasȃyla, kȃtle, enerji ve ekserji denklikleri ile ekserji tahribi, ekserji verimi, enerji verimi ve geliȃtirme potansiyeli bağ ȃntȃlarȃ akȃğ ȃda verilmiktir. YG 102, 103, 104, 105, 106, 107 ve 108 yoğ ıkturucularȃiȃin de benzer bağ ȃntȃlar kullandȃmȃȃȃ:

$$\dot{m}_{43B} = \dot{m}_{43C} \quad (7.60)$$

$$\dot{m}_{66A} = \dot{m}_{66B} \quad (7.61)$$

$$\dot{E}_{43B} + \dot{E}_{66A} = \dot{E}_{43C} + \dot{E}_{66B} \quad (7.62)$$

$$\dot{\dot{E}}_{43B} + \dot{\dot{E}}_{66A} = \dot{\dot{E}}_{43C} + \dot{\dot{E}}_{66B} \quad (7.63)$$

$$\dot{\dot{E}}_D = \dot{\dot{E}}_{43B} + \dot{\dot{E}}_{66A} - \dot{\dot{E}}_{43C} - \dot{\dot{E}}_{66B} \quad (7.64)$$

$$\dot{U} = \frac{\dot{\dot{E}}_{43B} - \dot{\dot{E}}_{43C}}{\dot{\dot{E}}_{66B} - \dot{\dot{E}}_{66A}} \quad (7.65)$$

$$\dot{\omega} = \frac{\dot{E}_{43C} - \dot{E}_{43B}}{\dot{E}_{66B} - \dot{E}_{66A}} \quad (7.66)$$

$$\dot{G}_{pot} = \dot{\dot{E}}_D (1 - \omega) \quad (7.67)$$

YG 101, 102, 104, 106, 107 ve 108 yoğ ıkturucularȃna ilikkin hesaplama sonuȃlarȃ sȃrasȃ ile ȃizelge 7.15, 7.16, 7.17, 7.18, 7.19 ve 7.20ȃde verilmektedir. YG 103 ve 105 nolu yoğ ıkturucular proses yedeğ i (kapalȃ) olduklarȃiȃin onlara ilikkin hesaplama yapȃmamȃȃȃȃ.

Çizelge 7.15 BTG 101 Buhar türbin grubu proses akamlarının özellikleri

| Proses Cihazı           | Akım No | Açıklama     | $\dot{m}$<br>(kg/s) | P<br>(Bar) | T<br>(K) | H<br>(kJ/kg) | H <sub>0</sub><br>(kJ/kg) | S<br>(kJ/kgK)       | S <sub>0</sub><br>(kJ/kgK) | $\dot{E}_{ph}$<br>(MW) | $\dot{E}_{kim}$<br>(MW) | $\dot{E}$<br>(MW)       | $\dot{E}$<br>(MW) |
|-------------------------|---------|--------------|---------------------|------------|----------|--------------|---------------------------|---------------------|----------------------------|------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------|
| BT 101<br>Buhar Türbini | 43A     | HP Buhar     | 18,090              | 43,000     | 714,15   | 3320,724     | 104,734                   | 7,1190              | 0,3780                     | 21,819                 | 9,539                   | 31,359                  | 58,177            |
|                         | 43B     | DB Buhar     | 18,090              | 0,069      | 311,89   | 2554,800     | 104,734                   | 8,2288              | 0,3780                     | 1,978                  | 9,539                   | 11,518                  | 44,322            |
|                         | 201     | T.Körük Gücü | -                   | -          | -        | -            | -                         | -                   | -                          | -                      | -                       | 13,592                  | 13,592            |
|                         |         |              |                     |            |          |              | $\dot{E}_F$<br>(MW)       | $\dot{E}_P$<br>(MW) | $\dot{E}_L$<br>(MW)        | $\dot{E}_D$<br>(MW)    | $\mathcal{E}$<br>(%)    | $\dot{G}_{pot}$<br>(MW) | $\eta$<br>(%)     |
|                         |         |              |                     |            |          |              | 19,841                    | 13,592              | -                          | 6,249                  | 68,50                   | 1,968                   | 98,10             |
| Proses Cihazı           | Akım No | Açıklama     | $\dot{m}$<br>(kg/s) | P<br>(Bar) | T<br>(K) | H<br>(kJ/kg) | H <sub>0</sub><br>(kJ/kg) | S<br>(kJ/kgK)       | S <sub>0</sub><br>(kJ/kgK) | $\dot{E}_{ph}$<br>(MW) | $\dot{E}_{kim}$<br>(MW) | $\dot{E}$<br>(MW)       | $\dot{E}$<br>(MW) |
| TK 101<br>Turbo Körük   | 15A     | Hava         | 55,860              | 1,013      | 298,15   | 34,560       | 34,560                    | 6,5450              | 6,5450                     | 0,000                  | 0,141                   | 0,141                   | 0,000             |
|                         | 15B     | Hava         | 55,860              | 2,540      | 445,65   | 186,237      | 34,560                    | 6,6920              | 6,5450                     | 6,024                  | 0,141                   | 6,166                   | 8,473             |
|                         | 201     | T.Körük Gücü | -                   | -          | -        | -            | -                         | -                   | -                          | -                      | -                       | 13,592                  | 13,592            |
|                         |         |              |                     |            |          |              | $\dot{E}_F$<br>(MW)       | $\dot{E}_P$<br>(MW) | $\dot{E}_L$<br>(MW)        | $\dot{E}_D$<br>(MW)    | $\mathcal{E}$<br>(%)    | $\dot{G}_{pot}$<br>(MW) | $\eta$<br>(%)     |
|                         |         |              |                     |            |          |              | 13,592                    | 6,024               | -                          | 7,568                  | 44,32                   | 4,056                   | 62,34             |
| Proses Cihazı           | Akım No | Açıklama     | $\dot{m}$<br>(kg/s) | P<br>(Bar) | T<br>(K) | H<br>(kJ/kg) | H <sub>0</sub><br>(kJ/kg) | S<br>(kJ/kgK)       | S <sub>0</sub><br>(kJ/kgK) | $\dot{E}_{ph}$<br>(MW) | $\dot{E}_{kim}$<br>(MW) | $\dot{E}$<br>(MW)       | $\dot{E}$<br>(MW) |
| YG 101<br>Yoğuşturucu   | 43B     | DB Buhar     | 18,090              | 0,069      | 311,89   | 2554,800     | 104,734                   | 8,2288              | 0,3780                     | 1,978                  | 9,539                   | 11,518                  | 44,322            |
|                         | 43C     | Su           | 18,090              | 0,069      | 311,89   | 162,125      | 104,734                   | 0,5700              | 0,3780                     | 0,003                  | 9,539                   | 9,542                   | 1,038             |
|                         | 66A     | Tuzlu Su     | 1067,600            | 1,753      | 298,15   | 104,734      | 104,734                   | 0,3780              | 0,3780                     | 0,000                  | 489,757                 | 489,757                 | 0,000             |
|                         | 66B     | Tuzlu Su     | 1067,600            | 0,869      | 308,15   | 146,694      | 104,734                   | 0,5080              | 0,3780                     | 3,417                  | 489,757                 | 493,174                 | 44,796            |
|                         |         |              |                     |            |          |              | $\dot{E}_F$<br>(MW)       | $\dot{E}_P$<br>(MW) | $\dot{E}_L$<br>(MW)        | $\dot{E}_D$<br>(MW)    | $\mathcal{E}$<br>(%)    | $\dot{G}_{pot}$<br>(MW) | $\eta$<br>(%)     |
|                         |         |              |                     |            |          |              | 3,549                     | 1,975               | -                          | 1,573                  | 55,67                   | 0,698                   | 96,34             |

Çizelge 7.16 BTG 102 Buhar türbin grubu proses akımlarının özellikleri

| Proses Cihazı           | Akım No | Açıklama     | $\dot{m}$<br>(kg/s) | P<br>(Bar) | T<br>(K) | H<br>(kJ/kg) | H <sub>0</sub><br>(kJ/kg) | S<br>(kJ/kgK)       | S <sub>0</sub><br>(kJ/kgK) | $\dot{E}_{ph}$<br>(MW) | $\dot{E}_{kim}$<br>(MW) | $\dot{E}$<br>(MW)       | $\dot{E}$<br>(MW) |
|-------------------------|---------|--------------|---------------------|------------|----------|--------------|---------------------------|---------------------|----------------------------|------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------|
| BT 102<br>Buhar Türbini | 44A     | HP Buhar     | 13,790              | 43,000     | 714,15   | 3320,724     | 104,734                   | 7,1190              | 0,3780                     | 16,633                 | 7,272                   | 23,905                  | 44,349            |
|                         | 44B     | DB Buhar     | 13,790              | 0,069      | 311,89   | 2554,800     | 104,734                   | 8,2288              | 0,3780                     | 1,508                  | 7,272                   | 8,780                   | 33,786            |
|                         | 202     | T.Körük Gücü | -                   | -          | -        | -            | -                         | -                   | -                          | -                      | -                       | 10,362                  | 10,362            |
|                         |         |              |                     |            |          |              | $\dot{E}_F$<br>(MW)       | $\dot{E}_P$<br>(MW) | $\dot{E}_L$<br>(MW)        | $\dot{E}_D$<br>(MW)    | $\varepsilon$<br>(%)    | $\dot{G}_{pot}$<br>(MW) | $\eta$<br>(%)     |
|                         |         |              |                     |            |          |              | 15,125                    | 10,362              | -                          | 4,763                  | 68,51                   | 1,500                   | 98,11             |
| Proses Cihazı           | Akım No | Açıklama     | $\dot{m}$<br>(kg/s) | P<br>(Bar) | T<br>(K) | H<br>(kJ/kg) | H <sub>0</sub><br>(kJ/kg) | S<br>(kJ/kgK)       | S <sub>0</sub><br>(kJ/kgK) | $\dot{E}_{ph}$<br>(MW) | $\dot{E}_{kim}$<br>(MW) | $\dot{E}$<br>(MW)       | $\dot{E}$<br>(MW) |
| TK 102<br>Turbo Körük   | 16A     | Hava         | 43,270              | 1,013      | 298,15   | 34,560       | 34,560                    | 6,5450              | 6,5450                     | 0,000                  | 0,109                   | 0,109                   | 0,000             |
|                         | 16B     | Hava         | 43,270              | 2,540      | 445,65   | 186,237      | 34,560                    | 6,6920              | 6,5450                     | 4,667                  | 0,109                   | 4,776                   | 6,563             |
|                         | 202     | T.Körük Gücü | -                   | -          | -        | -            | -                         | -                   | -                          | -                      | -                       | 10,362                  | 10,362            |
|                         |         |              |                     |            |          |              | $\dot{E}_F$<br>(MW)       | $\dot{E}_P$<br>(MW) | $\dot{E}_L$<br>(MW)        | $\dot{E}_D$<br>(MW)    | $\varepsilon$<br>(%)    | $\dot{G}_{pot}$<br>(MW) | $\eta$<br>(%)     |
|                         |         |              |                     |            |          |              | 10,362                    | 4,667               | -                          | 5,695                  | 45,04                   | 3,130                   | 63,34             |
| Proses Cihazı           | Akım No | Açıklama     | $\dot{m}$<br>(kg/s) | P<br>(Bar) | T<br>(K) | H<br>(kJ/kg) | H <sub>0</sub><br>(kJ/kg) | S<br>(kJ/kgK)       | S <sub>0</sub><br>(kJ/kgK) | $\dot{E}_{ph}$<br>(MW) | $\dot{E}_{kim}$<br>(MW) | $\dot{E}$<br>(MW)       | $\dot{E}$<br>(MW) |
| YG 102<br>Yoğuşturucu   | 44B     | DB Buhar     | 13,790              | 0,069      | 311,89   | 2554,800     | 104,734                   | 8,2288              | 0,3780                     | 1,508                  | 7,272                   | 8,780                   | 33,786            |
|                         | 44C     | Su           | 13,790              | 0,069      | 311,89   | 162,125      | 104,734                   | 0,5700              | 0,3780                     | 0,002                  | 7,272                   | 7,274                   | 0,791             |
|                         | 67A     | Tuzlu Su     | 813,900             | 1,753      | 298,15   | 104,734      | 104,734                   | 0,3780              | 0,3780                     | 0,000                  | 373,373                 | 373,373                 | 0,000             |
|                         | 67B     | Tuzlu Su     | 813,900             | 0,869      | 308,15   | 146,694      | 104,734                   | 0,5080              | 0,3780                     | 2,605                  | 373,373                 | 375,978                 | 34,151            |
|                         |         |              |                     |            |          |              | $\dot{E}_F$<br>(MW)       | $\dot{E}_P$<br>(MW) | $\dot{E}_L$<br>(MW)        | $\dot{E}_D$<br>(MW)    | $\varepsilon$<br>(%)    | $\dot{G}_{pot}$<br>(MW) | $\eta$<br>(%)     |
|                         |         |              |                     |            |          |              | 2,705                     | 1,506               | -                          | 1,199                  | 55,67                   | 0,531                   | 96,33             |



Çizelge 7.17 BTG 104 Buhar türbin grubu proses akımlarının özellikleri

| Proses Cihazı           | Akım No | Açıklama      | $\dot{m}$<br>(kg/s) | P<br>(Bar) | T<br>(K) | H<br>(kJ/kg) | H <sub>0</sub><br>(kJ/kg) | S<br>(kJ/kgK)       | S <sub>0</sub><br>(kJ/kgK) | $\dot{E}_{ph}$<br>(MW) | $\dot{E}_{kim}$<br>(MW) | $\dot{E}$<br>(MW)       | $\dot{E}$<br>(MW) |
|-------------------------|---------|---------------|---------------------|------------|----------|--------------|---------------------------|---------------------|----------------------------|------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------|
| BT 104<br>Buhar Türbini | 45A     | HP Buhar      | 18,900              | 43,000     | 714,15   | 3320,724     | 104,734                   | 7,1190              | 0,3780                     | 22,796                 | 9,967                   | 32,763                  | 60,782            |
|                         | 45B     | DB Buhar      | 18,900              | 0,069      | 311,89   | 2329,800     | 104,734                   | 7,5071              | 0,3780                     | 1,881                  | 9,967                   | 11,848                  | 42,054            |
|                         | 203     | Elek. Üretimi | -                   | -          | -        | -            | -                         | -                   | -                          | -                      | -                       | 18,417                  | 18,417            |
|                         |         |               |                     |            |          |              | $\dot{E}_F$<br>(MW)       | $\dot{E}_P$<br>(MW) | $\dot{E}_L$<br>(MW)        | $\dot{E}_D$<br>(MW)    | $\mathcal{E}$<br>(%)    | $\dot{G}_{pot}$<br>(MW) | $\eta$<br>(%)     |
|                         |         |               |                     |            |          |              | 20,915                    | 18,417              | -                          | 2,498                  | 88,05                   | 0,298                   | 98,34             |
| Proses Cihazı           | Akım No | Açıklama      | $\dot{m}$<br>(kg/s) | P<br>(Bar) | T<br>(K) | H<br>(kJ/kg) | H <sub>0</sub><br>(kJ/kg) | S<br>(kJ/kgK)       | S <sub>0</sub><br>(kJ/kgK) | $\dot{E}_{ph}$<br>(MW) | $\dot{E}_{kim}$<br>(MW) | $\dot{E}$<br>(MW)       | $\dot{E}$<br>(MW) |
| TK 104<br>Turbo Köruk   | 17A     | Hava          | -                   | -          | -        | -            | -                         | -                   | -                          | -                      | -                       | -                       | -                 |
|                         | 17B     | Hava          | -                   | -          | -        | -            | -                         | -                   | -                          | -                      | -                       | -                       | -                 |
|                         | 203     | T.Körük Gücü  | -                   | -          | -        | -            | -                         | -                   | -                          | -                      | -                       | -                       | -                 |
|                         |         |               |                     |            |          |              | $\dot{E}_F$<br>(MW)       | $\dot{E}_P$<br>(MW) | $\dot{E}_L$<br>(MW)        | $\dot{E}_D$<br>(MW)    | $\mathcal{E}$<br>(%)    | $\dot{G}_{pot}$<br>(MW) | $\eta$<br>(%)     |
|                         |         |               |                     |            |          |              | -                         | -                   | -                          | -                      | -                       | -                       | -                 |
| Proses Cihazı           | Akım No | Açıklama      | $\dot{m}$<br>(kg/s) | P<br>(Bar) | T<br>(K) | H<br>(kJ/kg) | H <sub>0</sub><br>(kJ/kg) | S<br>(kJ/kgK)       | S <sub>0</sub><br>(kJ/kgK) | $\dot{E}_{ph}$<br>(MW) | $\dot{E}_{kim}$<br>(MW) | $\dot{E}$<br>(MW)       | $\dot{E}$<br>(MW) |
| YG 104<br>Yoğuşturucu   | 45B     | DB Buhar      | 18,900              | 0,069      | 311,89   | 2329,800     | 104,734                   | 7,5071              | 0,3780                     | 1,881                  | 9,967                   | 11,848                  | 42,054            |
|                         | 45C     | Su            | 18,900              | 0,069      | 311,89   | 162,125      | 104,734                   | 0,5700              | 0,3780                     | 0,003                  | 9,967                   | 9,969                   | 1,085             |
|                         | 68A     | Tuzlu Su      | 1169,500            | 1,753      | 298,15   | 104,734      | 104,734                   | 0,3780              | 0,3780                     | 0,000                  | 536,503                 | 536,503                 | 0,000             |
|                         | 68B     | Tuzlu Su      | 1169,500            | 0,869      | 308,15   | 146,694      | 104,734                   | 0,5080              | 0,3780                     | 3,743                  | 536,503                 | 540,246                 | 49,072            |
|                         |         |               |                     |            |          |              | $\dot{E}_F$<br>(MW)       | $\dot{E}_P$<br>(MW) | $\dot{E}_L$<br>(MW)        | $\dot{E}_D$<br>(MW)    | $\mathcal{E}$<br>(%)    | $\dot{G}_{pot}$<br>(MW) | $\eta$<br>(%)     |
|                         |         |               |                     |            |          |              | 3,874                     | 1,878               | -                          | 1,996                  | 48,48                   | 1,028                   | 83,26             |

Çizelge 7.18 BTG 106 Ara kademeli buhar türbin grubu proses akānlarān özellikleri

| Proses Cihazı           | Akım No | Açıklama      | $\dot{m}$<br>(kg/s) | P<br>(Bar) | T<br>(K) | H<br>(kJ/kg) | H <sub>0</sub><br>(kJ/kg) | S<br>(kJ/kgK)       | S <sub>0</sub><br>(kJ/kgK) | $\dot{E}_{ph}$<br>(MW) | $\dot{E}_{kim}$<br>(MW) | $\dot{E}$<br>(MW)       | $\dot{E}$<br>(MW) |
|-------------------------|---------|---------------|---------------------|------------|----------|--------------|---------------------------|---------------------|----------------------------|------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------|
| BT 106<br>Buhar Türbini | 48A     | YB Buhar      | 10,280              | 43,000     | 714,15   | 3.320,724    | 104,734                   | 7,1190              | 0,3780                     | 12,399                 | 5,421                   | 17,820                  | 33,060            |
|                         | 48B     | OB Buhar      | 5,551               | 14,000     | 603,15   | 3.106,315    | 104,734                   | 7,1460              | 0,3780                     | 5,461                  | 2,927                   | 8,388                   | 16,662            |
|                         | 48C     | DB Buhar      | 4,730               | 0,069      | 311,89   | 2.569,700    | 104,734                   | 8,2766              | 0,3780                     | 0,520                  | 2,494                   | 3,015                   | 11,659            |
|                         | 206     | Elek. Üretimi | -                   | -          | -        | -            | -                         | -                   | -                          | -                      | -                       | 4,357                   | 4,357             |
|                         |         |               |                     |            |          |              | $\dot{E}_F$<br>(MW)       | $\dot{E}_P$<br>(MW) | $\dot{E}_L$<br>(MW)        | $\dot{E}_D$<br>(MW)    | $\mathcal{E}$<br>(%)    | $\dot{G}_{pot}$<br>(MW) | $\eta$<br>(%)     |
|                         |         |               |                     |            |          |              | 14,806                    | 12,745              | -                          | 2,061                  | 86,08                   | 0,287                   | 98,21             |
| Proses Cihazı           | Akım No | Açıklama      | $\dot{m}$<br>(kg/s) | P<br>(Bar) | T<br>(K) | H<br>(kJ/kg) | H <sub>0</sub><br>(kJ/kg) | S<br>(kJ/kgK)       | S <sub>0</sub><br>(kJ/kgK) | $\dot{E}_{ph}$<br>(MW) | $\dot{E}_{kim}$<br>(MW) | $\dot{E}$<br>(MW)       | $\dot{E}$<br>(MW) |
| YG 106<br>Yoğuşturucu   | 48B     | DB Buhar      | 4,730               | 0,069      | 311,89   | 2.569,700    | 104,734                   | 8,2766              | 0,3780                     | 0,520                  | 2,494                   | 3,015                   | 11,659            |
|                         | 48C     | Su            | 4,730               | 0,069      | 311,89   | 162,125      | 104,734                   | 0,5700              | 0,3780                     | 0,001                  | 2,494                   | 2,495                   | 0,271             |
|                         | 71A     | Tuzlu Su      | 325,000             | 1,753      | 298,15   | 104,734      | 104,734                   | 0,3780              | 0,3780                     | 0,000                  | 149,092                 | 149,092                 | 0,000             |
|                         | 71B     | Tuzlu Su      | 325,000             | 0,869      | 308,15   | 146,694      | 104,734                   | 0,5080              | 0,3780                     | 1,040                  | 149,092                 | 150,133                 | 13,637            |
|                         |         |               |                     |            |          |              | $\dot{E}_F$<br>(MW)       | $\dot{E}_P$<br>(MW) | $\dot{E}_L$<br>(MW)        | $\dot{E}_D$<br>(MW)    | $\mathcal{E}$<br>(%)    | $\dot{G}_{pot}$<br>(MW) | $\eta$<br>(%)     |
|                         |         |               |                     |            |          |              | 1,077                     | 0,520               | -                          | 0,557                  | 48,26                   | 0,288                   | 83,28             |

Çizelge 7.19 BTG 107 Ara kademeli buhar türbin grubu proses akamların özellikleri

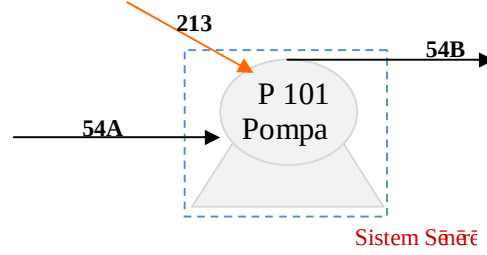
| Proses Cihazı           | Akım No | Açıklama      | $\dot{m}$<br>(kg/s) | P<br>(Bar) | T<br>(K) | H<br>(kJ/kg) | H <sub>0</sub><br>(kJ/kg)     | S<br>(kJ/kgK)                 | S <sub>0</sub><br>(kJ/kgK)    | $\dot{\mathcal{E}}_{ph}$<br>(MW) | $\dot{\mathcal{E}}_{kim}$<br>(MW) | $\dot{\mathcal{E}}$<br>(MW) | $\dot{E}$<br>(MW) |
|-------------------------|---------|---------------|---------------------|------------|----------|--------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------|-------------------|
| BT 107<br>Buhar Türbini | 49A     | YB Buhar      | 41,940              | 43,000     | 714,15   | 3.320,724    | 104,734                       | 7,1190                        | 0,3780                        | 50,586                           | 22,117                            | 72,703                      | 134,879           |
|                         | 49B     | OB Buhar      | 32,460              | 14,000     | 603,15   | 3.106,315    | 104,734                       | 7,1460                        | 0,3780                        | 31,931                           | 17,117                            | 49,048                      | 97,431            |
|                         | 49C     | DB Buhar      | 9,478               | 0,069      | 311,89   | 2.289,600    | 104,800                       | 7,3783                        | 0,3667                        | 0,894                            | 4,998                             | 5,892                       | 20,708            |
|                         | 207     | Elek. Üretimi | -                   | -          | -        | -            | -                             | -                             | -                             | -                                | -                                 | 13,798                      | 13,798            |
|                         |         |               |                     |            |          |              | $\dot{\mathcal{E}}_F$<br>(MW) | $\dot{\mathcal{E}}_P$<br>(MW) | $\dot{\mathcal{E}}_L$<br>(MW) | $\dot{\mathcal{E}}_D$<br>(MW)    | $\mathcal{E}$<br>(%)              | $\dot{G}_{pot}$<br>(MW)     | $\eta$<br>(%)     |
|                         |         |               |                     |            |          |              | 66,811                        | 62,846                        | -                             | 3,965                            | 94,07                             | 0,235                       | 97,42             |
| Proses Cihazı           | Akım No | Açıklama      | $\dot{m}$<br>(kg/s) | P<br>(Bar) | T<br>(K) | H<br>(kJ/kg) | H <sub>0</sub><br>(kJ/kg)     | S<br>(kJ/kgK)                 | S <sub>0</sub><br>(kJ/kgK)    | $\dot{\mathcal{E}}_{ph}$<br>(MW) | $\dot{\mathcal{E}}_{kim}$<br>(MW) | $\dot{\mathcal{E}}$<br>(MW) | $\dot{E}$<br>(MW) |
| YG 107<br>Yoğuşturucu   | 49B     | DB Buhar      | 9,478               | 0,069      | 311,89   | 2.289,600    | 104,800                       | 7,3783                        | 0,3667                        | 0,894                            | 4,998                             | 5,892                       | 20,708            |
|                         | 49C     | Su            | 9,478               | 0,069      | 311,89   | 162,125      | 104,734                       | 0,5700                        | 0,3780                        | 0,001                            | 4,998                             | 4,999                       | 0,544             |
|                         | 72A     | Tuzlu Su      | 559,100             | 1,753      | 298,15   | 104,734      | 104,734                       | 0,3780                        | 0,3780                        | 0,000                            | 256,485                           | 256,485                     | 0,000             |
|                         | 72B     | Tuzlu Su      | 559,100             | 0,869      | 308,15   | 146,694      | 104,734                       | 0,5080                        | 0,3780                        | 1,789                            | 256,485                           | 258,274                     | 23,460            |
|                         |         |               |                     |            |          |              | $\dot{\mathcal{E}}_F$<br>(MW) | $\dot{\mathcal{E}}_P$<br>(MW) | $\dot{\mathcal{E}}_L$<br>(MW) | $\dot{\mathcal{E}}_D$<br>(MW)    | $\mathcal{E}$<br>(%)              | $\dot{G}_{pot}$<br>(MW)     | $\eta$<br>(%)     |
|                         |         |               |                     |            |          |              | 1,852                         | 0,892                         | -                             | 0,960                            | 48,18                             | 0,497                       | 85,72             |

Çizelge 7.20 BTG 108 Buhar türbin grubu proses akamlarının özellikleri

| Proses Cihazı           | Akım No | Açıklama      | $\dot{m}$<br>(kg/s) | P<br>(Bar) | T<br>(K) | H<br>(kJ/kg) | H <sub>0</sub><br>(kJ/kg) | S<br>(kJ/kgK)       | S <sub>0</sub><br>(kJ/kgK) | $\dot{E}_{ph}$<br>(MW) | $\dot{E}_{kim}$<br>(MW) | $\dot{E}$<br>(MW)       | $\dot{E}$<br>(MW) |
|-------------------------|---------|---------------|---------------------|------------|----------|--------------|---------------------------|---------------------|----------------------------|------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------|
| BT 108<br>Buhar Türbini | 50A     | YB Buhar      | 33,610              | 43,000     | 714,15   | 3.320,724    | 104,734                   | 7,1190              | 0,3780                     | 40,539                 | 17,724                  | 58,263                  | 108,089           |
|                         | 50B     | OB Buhar      | 33,610              | 0,069      | 311,89   | 2.289,600    | 104,800                   | 7,3783              | 0,3667                     | 3,169                  | 17,724                  | 20,893                  | 73,431            |
|                         | 208     | Elek. Üretimi | -                   | -          | -        | -            | -                         | -                   | -                          | -                      | -                       | 32,871                  | 32,871            |
|                         |         |               |                     |            |          |              | $\dot{E}_F$<br>(MW)       | $\dot{E}_P$<br>(MW) | $\dot{E}_L$<br>(MW)        | $\dot{E}_D$<br>(MW)    | $\mathcal{E}$<br>(%)    | $\dot{G}_{pot}$<br>(MW) | $\eta$<br>(%)     |
|                         |         |               |                     |            |          |              | 37,370                    | 32,871              | -                          | 4,499                  | 87,96                   | 0,501                   | 94,84             |
| Proses Cihazı           | Akım No | Açıklama      | $\dot{m}$<br>(kg/s) | P<br>(Bar) | T<br>(K) | H<br>(kJ/kg) | H <sub>0</sub><br>(kJ/kg) | S<br>(kJ/kgK)       | S <sub>0</sub><br>(kJ/kgK) | $\dot{E}_{ph}$<br>(MW) | $\dot{E}_{kim}$<br>(MW) | $\dot{E}$<br>(MW)       | $\dot{E}$<br>(MW) |
| YG 108<br>Yoğuşturucu   | 50B     | DB Buhar      | 33,610              | 0,069      | 311,89   | 2.289,600    | 104,800                   | 7,3783              | 0,3667                     | 3,169                  | 17,724                  | 20,893                  | 73,431            |
|                         | 50C     | Su            | 33,610              | 0,069      | 311,89   | 162,125      | 104,734                   | 0,5700              | 0,3780                     | 0,005                  | 17,724                  | 17,729                  | 1,929             |
|                         | 73A     | Tuzlu Su      | 2041,100            | 1,753      | 298,15   | 104,734      | 104,734                   | 0,3780              | 0,3780                     | 0,000                  | 936,346                 | 936,346                 | 0,000             |
|                         | 73B     | Tuzlu Su      | 2041,100            | 0,869      | 308,15   | 146,694      | 104,734                   | 0,5080              | 0,3780                     | 6,533                  | 936,346                 | 942,879                 | 85,645            |
|                         |         |               |                     |            |          |              | $\dot{E}_F$<br>(MW)       | $\dot{E}_P$<br>(MW) | $\dot{E}_L$<br>(MW)        | $\dot{E}_D$<br>(MW)    | $\mathcal{E}$<br>(%)    | $\dot{G}_{pot}$<br>(MW) | $\eta$<br>(%)     |
|                         |         |               |                     |            |          |              | 6,762                     | 3,164               | -                          | 3,597                  | 46,80                   | 1,914                   | 83,26             |

#### 7.4 P 101, P 102, P 103 ve P 104 Pompalarına İlişkin Hesaplamalar

Pompalar kuvvet santralının çekitli kışınlarında su pompalamada kullanılmaktadır. P 101 pompasının akış şemasine şekil 7.15'de gösterilmektedir.



Şekil 7.15 P 101 Pompa akış şeması

P 101 Pompa için sırasıyla, kütle, enerji ve ekserji denklikleri ile ekserji tahribi, ekserji verimi, enerji verimi ve geliştirme potansiyeli aşağıda verilmiştir. P 102, 103 ve 104 pompaları için de benzer bağışlar kullanılmaktadır:

$$\dot{m}_{54A} = \dot{m}_{54B} \quad (7.68)$$

$$\dot{E}_{54A} + \dot{E}_{213} = \dot{E}_{54B} \quad (7.69)$$

$$\dot{\mathcal{E}}_{54A} + \dot{\mathcal{E}}_{213} = \dot{\mathcal{E}}_{54B} \quad (7.70)$$

$$\dot{\mathcal{E}}_{54A} + \dot{\mathcal{E}}_{213} = \dot{\mathcal{E}}_{54B} \quad (7.71)$$

$$\dot{\mathcal{E}}_D = \dot{\mathcal{E}}_{213} - (\dot{\mathcal{E}}_{54B} - \dot{\mathcal{E}}_{54A}) \quad (7.72)$$

$$\dot{U} = (\dot{\mathcal{E}}_{54B} - \dot{\mathcal{E}}_{54A}) / \dot{\mathcal{E}}_{213} \quad (7.73)$$

$$\dot{C} = (\dot{E}_{54B} - \dot{E}_{54A}) / \dot{E}_{213} \quad (7.74)$$

$$\dot{G}_{pot} = \dot{\mathcal{E}}_D (1 - \omega) \quad (7.75)$$

P 101, 102, 103 ve 104 pompalarına ilişkin hesaplama sonuçları sırasıyla, Çizelge 7.21, 7.22, 7.23 ve 7.24'de verilmektedir.

Çizelge 7.21 P 101 Pompasēproses akēm̄larēm̄n̄n̄n̄ özellikleri

| Proses Cihazı  | Akım No | Açıklama   | $\dot{m}$<br>(kg/s) | P<br>(Bar) | T<br>(K) | H<br>(kJ/kg) | H <sub>0</sub><br>(kJ/kg)     | S<br>(kJ/kgK)                 | S <sub>0</sub><br>(kJ/kgK)    | $\dot{\mathcal{E}}_{ph}$<br>(MW) | $\dot{\mathcal{E}}_{kim}$<br>(MW) | $\dot{\mathcal{E}}$<br>(MW) | $\dot{\mathcal{E}}$<br>(MW) |
|----------------|---------|------------|---------------------|------------|----------|--------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| P 101<br>Pompa | 54A     | Kondens Su | 89,44               | 0,069      | 311,88   | 162,144      | 104,734                       | 0,5551                        | 0,3780                        | 0,412                            | 47,165                            | 47,577                      | 5,135                       |
|                | 54B     | Kondens Su | 89,44               | 1,700      | 311,88   | 162,331      | 104,734                       | 0,5552                        | 0,3780                        | 0,426                            | 47,165                            | 47,591                      | 5,151                       |
|                | 213     | Pompa Gücü | -                   | -          | -        | -            | -                             | -                             | -                             | -                                | -                                 | 0,022                       | 0,022                       |
|                |         |            |                     |            |          |              | $\dot{\mathcal{E}}_F$<br>(MW) | $\dot{\mathcal{E}}_P$<br>(MW) | $\dot{\mathcal{E}}_L$<br>(MW) | $\dot{\mathcal{E}}_D$<br>(MW)    | $\mathcal{E}$<br>(%)              | $\dot{G}_{pot}$<br>(MW)     | $\eta$<br>(%)               |
|                |         |            |                     |            |          |              | 0,022                         | 0,014                         | -                             | 0,008                            | 63,84                             | 0,0029                      | 75,95                       |

Çizelge 7.22 P 102 Pompasēproses akēm̄larēm̄n̄n̄n̄ özellikleri

| Proses Cihazı  | Akım No | Açıklama    | $\dot{m}$<br>(kg/s) | P<br>(Bar) | T<br>(K) | H<br>(kJ/kg) | H <sub>0</sub><br>(kJ/kg)     | S<br>(kJ/kgK)                 | S <sub>0</sub><br>(kJ/kgK)    | $\dot{\mathcal{E}}_{ph}$<br>(MW) | $\dot{\mathcal{E}}_{kim}$<br>(MW) | $\dot{\mathcal{E}}$<br>(MW) | $\dot{\mathcal{E}}$<br>(MW) |
|----------------|---------|-------------|---------------------|------------|----------|--------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| P 102<br>Pompa | 29A     | Deare Su    | 106,94              | 2,896      | 388,35   | 483,429      | 104,734                       | 1,4754                        | 0,3780                        | 5,508                            | 56,394                            | 61,902                      | 40,498                      |
|                | 29B     | Basēnçlē Su | 106,94              | 55,000     | 389,15   | 490,539      | 104,734                       | 1,4796                        | 0,3780                        | 6,134                            | 56,394                            | 62,528                      | 41,258                      |
|                | 214     | Pompa Gücü  | -                   | -          | -        | -            | -                             | -                             | -                             | -                                | -                                 | 0,838                       | 0,838                       |
|                |         |             |                     |            |          |              | $\dot{\mathcal{E}}_F$<br>(MW) | $\dot{\mathcal{E}}_P$<br>(MW) | $\dot{\mathcal{E}}_L$<br>(MW) | $\dot{\mathcal{E}}_D$<br>(MW)    | $\mathcal{E}$<br>(%)              | $\dot{G}_{pot}$<br>(MW)     | $\eta$<br>(%)               |
|                |         |             |                     |            |          |              | 0,838                         | 0,626                         | -                             | 0,211                            | 74,79                             | 0,0532                      | 90,78                       |

Çizelge 7.23 P 103 Pompasēproses akānlarēnān özellikleri

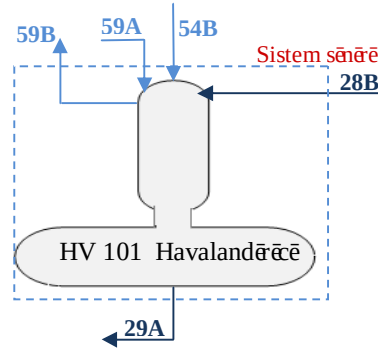
| Proses Cihazı  | Akım No | Açıklama    | $\dot{m}$<br>(kg/s) | P<br>(Bar) | T<br>(K) | H<br>(kJ/kg) | H <sub>0</sub><br>(kJ/kg)     | S<br>(kJ/kgK)                 | S <sub>0</sub><br>(kJ/kgK)    | $\dot{\mathcal{E}}_{ph}$<br>(MW) | $\dot{\mathcal{E}}_{kim}$<br>(MW) | $\dot{\mathcal{E}}$<br>(MW)       | $\dot{\mathcal{E}}$<br>(MW) |
|----------------|---------|-------------|---------------------|------------|----------|--------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------|
| P 103<br>Pompa | 28A     | Deare Su    | 5,77                | 0,994      | 353,15   | 334,957      | 104,734                       | 1,0752                        | 0,3780                        | 0,129                            | 3,043                             | 3,1717                            | 1,3284                      |
|                | 28B     | Basēnçlē Su | 5,77                | 2,896      | 353,15   | 335,107      | 104,734                       | 1,0750                        | 0,3780                        | 0,130                            | 3,043                             | 3,1729                            | 1,3293                      |
|                | 215     | Pompa Gücü  | -                   | -          | -        | -            | -                             | -                             | -                             | -                                | -                                 | 0,0017                            | 0,0017                      |
|                |         |             |                     |            |          |              | $\dot{\mathcal{E}}_F$<br>(MW) | $\dot{\mathcal{E}}_P$<br>(MW) | $\dot{\mathcal{E}}_L$<br>(MW) | $\dot{\mathcal{E}}_D$<br>(MW)    | $\mathcal{E}$<br>(%)              | $\dot{\mathcal{G}}_{pot}$<br>(MW) | $\eta$<br>(%)               |
|                |         |             |                     |            |          |              | 0,0017                        | 0,0012                        | -                             | 0,0005                           | 73,27                             | 0,0001                            | 51,12                       |

Çizelge 7.24 P 104 Pompasēproses akānlarēnān özellikleri

| Proses Cihazı  | Akım No | Açıklama   | $\dot{m}$<br>(kg/s) | P<br>(Bar) | T<br>(K) | H<br>(kJ/kg) | H <sub>0</sub><br>(kJ/kg)     | S<br>(kJ/kgK)                 | S <sub>0</sub><br>(kJ/kgK)    | $\dot{\mathcal{E}}_{ph}$<br>(MW) | $\dot{\mathcal{E}}_{kim}$<br>(MW) | $\dot{\mathcal{E}}$<br>(MW)       | $\dot{\mathcal{E}}$<br>(MW) |
|----------------|---------|------------|---------------------|------------|----------|--------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------|
| P 104<br>Pompa | 35      | Sēcak Su   | 41,67               | 0,994      | 353,15   | 334,957      | 104,734                       | 1,0752                        | 0,3780                        | 0,931                            | 21,974                            | 22,905                            | 9,5934                      |
|                | 36      | Sēcak Su   | 41,67               | 1,433      | 353,15   | 334,992      | 104,734                       | 1,0752                        | 0,3780                        | 0,933                            | 21,974                            | 22,907                            | 9,5949                      |
|                | 216     | Pompa Gücü | -                   | -          | -        | -            | -                             | -                             | -                             | -                                | -                                 | 0,0027                            | 0,0027                      |
|                |         |            |                     |            |          |              | $\dot{\mathcal{E}}_F$<br>(MW) | $\dot{\mathcal{E}}_P$<br>(MW) | $\dot{\mathcal{E}}_L$<br>(MW) | $\dot{\mathcal{E}}_D$<br>(MW)    | $\mathcal{E}$<br>(%)              | $\dot{\mathcal{G}}_{pot}$<br>(MW) | $\eta$<br>(%)               |
|                |         |            |                     |            |          |              | 0,0027                        | 0,0019                        | -                             | 0,0008                           | 71,98                             | 0,0002                            | 54,38                       |

### 7.5 HV 101 Havalandırıcıya İlişkin Hesaplamalar

54B akım ile yoğ ıkturuculardan gelen su ve 28B akım ile demineralize sisteminden gelen su, 59A buhar akım ile HV 101'de havalandırarak içerisinde özünmük bulunan gazlar 59B akım ile uzaklaştırdı ve havalandırdı su 29A akım ile havalandırıcıya terk eder (ekil 7.12).



Şekil 7.16 HV 101 Havalandırıcı (degazör-dearator) akım keması

HV 101 havalandırıcı için sırasıyla, kütle, enerji ve ekserji denklıkları ile ekserji tahribi, ekserji verimi, enerji verimi ve geliştirme potansiyeli bağıntıları

$$\dot{m}_{54} + \dot{m}_{59A} + \dot{m}_{28B} = \dot{m}_{29A} + \dot{m}_{59B} \quad (7.76)$$

$$\dot{E}_{54} + \dot{E}_{59A} + \dot{E}_{28B} = \dot{E}_{29A} + \dot{E}_{59B} \quad (7.77)$$

$$\dot{\Xi}_{54} + \dot{\Xi}_{59A} + \dot{\Xi}_{28B} = \dot{\Xi}_{29A} + \dot{\Xi}_{59B} \quad (7.78)$$

$$\dot{\Xi}_D = \dot{\Xi}_{54} + \dot{\Xi}_{59A} + \dot{\Xi}_{28B} - \dot{\Xi}_{29A} - \dot{\Xi}_{59B} \quad (7.79)$$

$$\dot{U} = \frac{\dot{\Xi}_{29A}}{\dot{\Xi}_{54} + \dot{\Xi}_{59A} + \dot{\Xi}_{28A}} \quad (7.80)$$

$$\epsilon = \frac{\dot{E}_{29A}}{\dot{E}_{54} + \dot{E}_{59A} + \dot{E}_{28A}} \quad (7.81)$$

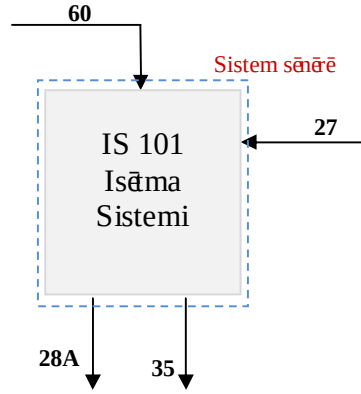
$$G_{pot} = \dot{\Xi}_D (1 - \omega) \quad (7.82)$$

HV 101 havalandırıcı iilkin hesaplama sonuçları izelge 7.25'de verilmektedir.



## 7.6 IS 101 Isıtma Sistemine Kırkin Hesaplamalar

Demineralizasyon sisteminden gelen ıkenmik su, IS 101 sisteminde 60 olarak 28A akēmē ile HV 101 havalandırma (dearatör, degazör) ve 35 nolu akēm ile de AIK 101 ve AIK 102 öye gönderilir (şekil 7.13).



Şekil 7.17 IS 101 Isıtma sistemi akēm keması

IS 101 ısıtma sistemi için sınırla, kütle, enerji ve ekserji denklemleri ile ekserji tahribi, ekserji verimi, enerji verimi ve geliştirme potansiyeli hesaplanmaktadır.

$$\dot{m}_{27} + \dot{m}_{60} = \dot{m}_{28A} + \dot{m}_{35} \quad (7.83)$$

$$\dot{E}_{27} + \dot{E}_{60} = \dot{E}_{28A} + \dot{E}_{35} \quad (7.84)$$

$$\dot{\Xi}_{27} + \dot{\Xi}_{60} = \dot{\Xi}_{28A} + \dot{\Xi}_{35} \quad (7.85)$$

$$\dot{\Xi}_D = \dot{\Xi}_{27} + \dot{\Xi}_{60} - \dot{\Xi}_{28A} - \dot{\Xi}_{35} \quad (7.86)$$

$$\dot{U} = \frac{\dot{\Xi}_{28A} + \dot{\Xi}_{35}}{\dot{\Xi}_{27} + \dot{\Xi}_{60}} \quad (7.87)$$

$$\eta = \frac{\dot{E}_{28A} + \dot{E}_{35}}{\dot{E}_{27} + \dot{E}_{60}} \quad (7.88)$$

$$G_{pot} = \dot{\Xi}_D (1 - \omega) \quad (7.89)$$

IS 101 ısıtma sistemine ilişkin hesaplama sonuçları Çizelge 7.26'da verilmektedir.

Çizelge 7.25 HV 101 Havalandırma proses akımlarının özellikleri

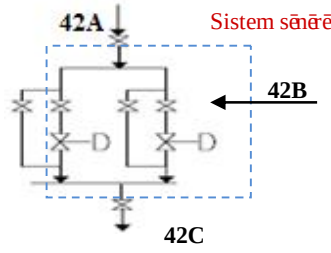
| Proses Cihazı        | Akım No | Açıklama    | $\dot{m}$<br>(kg/s) | P<br>(Bar) | T<br>(K) | H<br>(kJ/kg) | H <sub>0</sub><br>(kJ/kg)     | S<br>(kJ/kgK)                 | S <sub>0</sub><br>(kJ/kgK)    | $\dot{\mathcal{E}}_{ph}$<br>(MW) | $\dot{\mathcal{E}}_{kim}$<br>(MW) | $\dot{\mathcal{E}}$<br>(MW) | $\dot{E}$<br>(MW) |
|----------------------|---------|-------------|---------------------|------------|----------|--------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------|-------------------|
| HV 101 Havalandırıcı | 54      | Kondens Su  | 89,44               | 1,700      | 311,88   | 162,331      | 104,734                       | 0,5552                        | 0,3780                        | 0,426                            | 47,165                            | 47,591                      | 5,151             |
|                      | 59      | DB Buhar    | 12,50               | 1,700      | 528,15   | 2982,243     | 104,734                       | 7,8051                        | 0,3780                        | 8,289                            | 6,592                             | 14,881                      | 35,969            |
|                      | 28B     | Su          | 5,77                | 2,896      | 353,15   | 335,107      | 104,734                       | 1,0750                        | 0,3780                        | 0,130                            | 3,043                             | 3,173                       | 1,329             |
|                      | 29A     | Deare Su    | 106,94              | 2,896      | 388,35   | 483,429      | 104,734                       | 1,4754                        | 0,3780                        | 5,508                            | 56,394                            | 61,902                      | 40,498            |
|                      | 29V     | Uzak. Buhar | 2,76                | 1,700      | 388,35   | 2699,029     | 104,734                       | 7,1815                        | 0,3780                        | 1,562                            | 1,456                             | 3,018                       | 7,163             |
|                      |         |             |                     |            |          |              | $\dot{\mathcal{E}}_F$<br>(MW) | $\dot{\mathcal{E}}_P$<br>(MW) | $\dot{\mathcal{E}}_L$<br>(MW) | $\dot{\mathcal{E}}_D$<br>(MW)    | $\mathcal{E}$<br>(%)              | $\dot{G}_{pot}$<br>(MW)     | $\eta$<br>(%)     |
|                      |         |             |                     |            |          |              | 65,645                        | 61,902                        | 0,000                         | 3,743                            | 94,30                             | 0,2135                      | 95,40             |

Çizelge 7.26 IS 101 Isıtma sistemi proses akımlarının özellikleri

| Proses Cihazı         | Akım No | Açıklama | $\dot{m}$<br>(kg/s) | P<br>(Bar) | T<br>(K) | H<br>(kJ/kg) | H <sub>0</sub><br>(kJ/kg)     | S<br>(kJ/kgK)                 | S <sub>0</sub><br>(kJ/kgK)    | $\dot{\mathcal{E}}_{ph}$<br>(MW) | $\dot{\mathcal{E}}_{kim}$<br>(MW) | $\dot{\mathcal{E}}$<br>(MW) | $\dot{E}$<br>(MW) |
|-----------------------|---------|----------|---------------------|------------|----------|--------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------|-------------------|
| IS 101 Isıtma Sistemi | 27      | Su       | 43,61               | 1,013      | 311,88   | 104,734      | 104,734                       | 0,3780                        | 0,3780                        | 0,000                            | 22,997                            | 22,997                      | 0,000             |
|                       | 60      | DB Buhar | 3,82                | 1,700      | 528,15   | 2982,243     | 104,734                       | 7,8051                        | 0,3780                        | 2,533                            | 2,014                             | 4,548                       | 10,992            |
|                       | 28A     | Sıcak Su | 5,77                | 0,994      | 353,15   | 334,957      | 104,734                       | 1,0752                        | 0,3780                        | 0,129                            | 3,043                             | 3,172                       | 1,328             |
|                       | 35      | Sıcak Su | 41,67               | 0,994      | 388,35   | 334,957      | 104,734                       | 1,0752                        | 0,3780                        | 0,931                            | 21,974                            | 22,905                      | 9,593             |
|                       |         |          |                     |            |          |              | $\dot{\mathcal{E}}_F$<br>(MW) | $\dot{\mathcal{E}}_P$<br>(MW) | $\dot{\mathcal{E}}_L$<br>(MW) | $\dot{\mathcal{E}}_D$<br>(MW)    | $\mathcal{E}$<br>(%)              | $\dot{G}_{pot}$<br>(MW)     | $\eta$<br>(%)     |
|                       |         |          |                     |            |          |              | 27,545                        | 3,172                         | 0,000                         | 24,373                           | 94,67                             | 1,2987                      | 99,36             |

### 7.7 BDI 101 ve 103 Basınç Dükürme İstasyonlarına İlişkin Hesaplamalar

Basınç dükürme istasyonları buhar kazanlarında ve atık ısı kazanlarında üretilen kızgın buharın, ihtiyaç halinde ve 45 ve 14 bar ana buhar takviye hatlarından çekilerek prosesin çekitli kısımlarında basınçlarını ayarlanarak kullanılması ve buhar takviye hatlarının emniyetinin sağlanması için kullanılmaktadır (Şekil 7.15).



Şekil 7.18 BDI 101 Basınç dükürme istasyonu akış şeması

BDI 101 basınç dükürme istasyonu için sırasıyla, kütle, enerji ve ekserji denklilikleri ile ekserji tahribi, ekserji verimi, enerji verimi ve geliştirme potansiyeli başlıklarına başlıklarına aşağıda verilmiştir. BDI 103 basınç dükürme istasyonu için de benzer başlıklar kullanılmaktadır:

$$\dot{m}_{42A} + \dot{m}_{42B} = \dot{m}_{42C} \quad (7.90)$$

$$\dot{E}_{42A} + \dot{E}_{42B} = \dot{E}_{42C} \quad (7.91)$$

$$\dot{\Xi}_{42A} + \dot{\Xi}_{42B} = \dot{\Xi}_{42C} \quad (7.92)$$

$$\dot{\Xi}_T = \dot{\Xi}_{42A} + \dot{\Xi}_{42B} - \dot{\Xi}_{42C} \quad (7.93)$$

$$\dot{U} = \dot{\Xi}_{42C} / (\dot{\Xi}_{42A} + \dot{\Xi}_{42B}) \quad (7.94)$$

$$\epsilon = \dot{E}_{42C} / (\dot{E}_{42A} + \dot{E}_{42B}) \quad (7.95)$$

$$G_{pot} = \dot{\Xi}_T (1 - \omega) \quad (7.96)$$

BDI 101 ve 103 basınç dükürme istasyonlarına ilişkin hesaplama sonuçları Çizelge 7.27 ve 7.28'de verilmektedir.

Çizelge 7.27 BDI 101 Basınç düşürme istasyonu proses akınları özellikleri

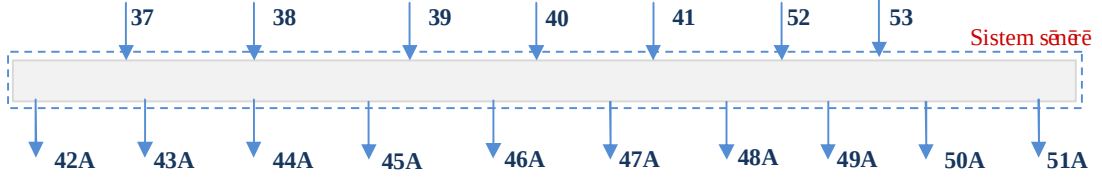
| Proses Cihazı              | Akım No | Açıklama    | $\dot{m}$<br>(kg/s) | P<br>(Bar) | T<br>(K) | H<br>(kJ/kg) | H <sub>0</sub><br>(kJ/kg) | S<br>(kJ/kgK)       | S <sub>0</sub><br>(kJ/kgK) | $\dot{E}_{ph}$<br>(MW) | $\dot{E}_{kim}$<br>(MW) | $\dot{E}$<br>(MW)       | $\dot{E}$<br>(MW) |
|----------------------------|---------|-------------|---------------------|------------|----------|--------------|---------------------------|---------------------|----------------------------|------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------|
| BDK101<br>Basınç Düş. İst. | 42A     | YB Buhar    | 0,9200              | 43,000     | 714,15   | 3306,378     | 104,857                   | 6,8724              | 0,3670                     | 1,161                  | 0,485                   | 1,646                   | 2,945             |
|                            | 42B     | Basınçlı Su | 0,0698              | 55,000     | 389,15   | 490,623      | 104,857                   | 1,4797              | 0,3670                     | 0,004                  | 0,037                   | 0,041                   | 0,027             |
|                            | 42C     | OB Buhar    | 0,9898              | 14,000     | 603,15   | 3107,511     | 104,857                   | 7,0681              | 0,3670                     | 0,994                  | 0,522                   | 1,516                   | 2,972             |
|                            |         |             |                     |            |          |              | $\dot{E}_F$<br>(MW)       | $\dot{E}_P$<br>(MW) | $\dot{E}_L$<br>(MW)        | $\dot{E}_D$<br>(MW)    | $\mathcal{E}$<br>(%)    | $\dot{G}_{pot}$<br>(MW) | $\eta$<br>(%)     |
|                            |         |             |                     |            |          |              | 1,687                     | 1,516               | 0,000                      | 0,170                  | 89,90                   | 0,0172                  | 99,99             |

Çizelge 7.28 BDI 103 Basınç düşürme istasyonu proses akınları özellikleri

| Proses Cihazı              | Akım No | Açıklama    | $\dot{m}$<br>(kg/s) | P<br>(Bar) | T<br>(K) | H<br>(kJ/kg) | H <sub>0</sub><br>(kJ/kg) | S<br>(kJ/kgK)       | S <sub>0</sub><br>(kJ/kgK) | $\dot{E}_{ph}$<br>(MW) | $\dot{E}_{kim}$<br>(MW) | $\dot{E}$<br>(MW)       | $\dot{E}$<br>(MW) |
|----------------------------|---------|-------------|---------------------|------------|----------|--------------|---------------------------|---------------------|----------------------------|------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------|
| BDK103<br>Basınç Düş. İst. | 58A     | OB Buhar    | 16,3200             | 14,000     | 603,15   | 3107,402     | 104,734                   | 7,0680              | 0,3780                     | 16,451                 | 8,606                   | 25,057                  | 49,004            |
|                            | 58B     | Basınçlı Su | 0,8121              | 2,896      | 388,35   | 483,429      | 104,734                   | 1,4754              | 0,3780                     | 0,042                  | 0,428                   | 0,470                   | 0,308             |
|                            | 58C     | DB Buhar    | 17,1300             | 1,700      | 528,15   | 2982,243     | 104,734                   | 7,8051              | 0,3780                     | 11,359                 | 9,033                   | 20,393                  | 49,292            |
|                            |         |             |                     |            |          |              | $\dot{E}_F$<br>(MW)       | $\dot{E}_P$<br>(MW) | $\dot{E}_L$<br>(MW)        | $\dot{E}_D$<br>(MW)    | $\mathcal{E}$<br>(%)    | $\dot{G}_{pot}$<br>(MW) | $\eta$<br>(%)     |
|                            |         |             |                     |            |          |              | 25,528                    | 20,393              | 0,000                      | 5,135                  | 79,88                   | 1,0329                  | 99,96             |

## 7.8 45 ve 14 Bar Ana Buhar Takıyıc Hatlarına İlişkin Hesaplamalar

45 ve 14 ana buhar takıyıc hatlarē buhar kazanlarē buhar tūrbınlerinin ara kademeleri ve basēnē dūkūrme istasyonlarēndan gelen kēzgēn buharēn proses iēerinde takēnmasēnda kullanēlmaktadır. 45 bar ana buhar takıyıc hattēnēn akēm kemasēşekil 7.16ōda gōsterilmektedir.



şekil 7.19 45 bar Ana buhar takıyıc hattē akēm kemasē

45 bar ana buhar takıyıc hattē iēin sērasēyla, kūtle, enerji ve ekserji denklikleri ile ekserji tahribi, ekserji verimi, enerji verimi ve geliktirme potansiyeli baē ēntdarē akāē āda verilmiētir. 14 bar ana buhar takıyıc hattē iēin de benzer baē ēntdar kullanēlmāētır. 45 ve 14 ana buhar takıyıc hatlarēna ilikkin hesaplama sonuēlarēÇizelge 7.29 ve 7.30ōda verilmektedir.

$$\dot{m}_{37} + \dot{m}_{38} + \dot{m}_{39} + \dot{m}_{40} + \dot{m}_{41} + \dot{m}_{52} + \dot{m}_{53} = \dot{m}_{43A} + \dot{m}_{44A} + \dot{m}_{45A} + \dot{m}_{46A} + \dot{m}_{47A} + \dot{m}_{48A} + \dot{m}_{49A} + \dot{m}_{50A} + \dot{m}_{51A} \quad (7.97)$$

$$\dot{E}_{37} + \dot{E}_{38} + \dot{E}_{39} + \dot{E}_{40} + \dot{E}_{41} + \dot{E}_{52} + \dot{E}_{53} = \dot{E}_{43A} + \dot{E}_{44A} + \dot{E}_{45A} + \dot{E}_{46A} + \dot{E}_{47A} + \dot{E}_{48A} + \dot{E}_{49A} + \dot{E}_{50A} + \dot{E}_{51A} \quad (7.98)$$

$$\dot{\Xi}_{37} + \dot{\Xi}_{38} + \dot{\Xi}_{39} + \dot{\Xi}_{40} + \dot{\Xi}_{41} + \dot{\Xi}_{52} + \dot{\Xi}_{53} = \dot{\Xi}_{43A} + \dot{\Xi}_{44A} + \dot{\Xi}_{45A} + \dot{\Xi}_{46A} + \dot{\Xi}_{47A} + \dot{\Xi}_{48A} + \dot{\Xi}_{49A} + \dot{\Xi}_{50A} + \dot{\Xi}_{51A} \quad (7.99)$$

$$\dot{\Xi}_D = \dot{\Xi}_{37} + \dot{\Xi}_{38} + \dot{\Xi}_{39} + \dot{\Xi}_{40} + \dot{\Xi}_{41} + \dot{\Xi}_{52} + \dot{\Xi}_{53} - \dot{\Xi}_{43A} - \dot{\Xi}_{44A} - \dot{\Xi}_{45A} - \dot{\Xi}_{46A} - \dot{\Xi}_{47A} - \dot{\Xi}_{48A} - \dot{\Xi}_{49A} - \dot{\Xi}_{50A} - \dot{\Xi}_{51A} \quad (7.100)$$

$$\dot{U} = \frac{\dot{\Xi}_{43A} + \dot{\Xi}_{44A} + \dot{\Xi}_{45A} + \dot{\Xi}_{46A} + \dot{\Xi}_{47A} + \dot{\Xi}_{48A} + \dot{\Xi}_{49A} + \dot{\Xi}_{50A} + \dot{\Xi}_{51A}}{\dot{\Xi}_{37} + \dot{\Xi}_{38} + \dot{\Xi}_{39} + \dot{\Xi}_{40} + \dot{\Xi}_{41} + \dot{\Xi}_{52} + \dot{\Xi}_{53}} \quad (7.101)$$

$$\epsilon = \frac{\dot{E}_{43A} + \dot{E}_{44A} + \dot{E}_{45A} + \dot{E}_{46A} + \dot{E}_{47A} + \dot{E}_{48A} + \dot{E}_{49A} + \dot{E}_{50A} + \dot{E}_{51A}}{\dot{E}_{37} + \dot{E}_{38} + \dot{E}_{39} + \dot{E}_{40} + \dot{E}_{41} + \dot{E}_{52} + \dot{E}_{53}} \quad (7.102)$$

$$G_{pot} = \dot{\Xi}_D (1 - \omega) \quad (7.103)$$

Çizelge 7.29 45 bar Ana buhar taşıyıcı hattı proses akımları özellikleri

| Proses Cihazı                   | Akım No | Açıklama | $\dot{m}$<br>(kg/s) | P<br>(Bar) | T<br>(K) | H<br>(kJ/kg) | H <sub>0</sub><br>(kJ/kg) | S<br>(kJ/kgK)       | S <sub>0</sub><br>(kJ/kgK) | $\dot{E}_{ph}$<br>(MW) | $\dot{E}_{kim}$<br>(MW) | $\dot{E}$<br>(MW)       | $\dot{E}$<br>(MW) |
|---------------------------------|---------|----------|---------------------|------------|----------|--------------|---------------------------|---------------------|----------------------------|------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------|
| 45 Bar Ana Buhar Taşıyıcı Hattı | 37      | YB Buhar | 16,12               | 45,00      | 716,15   | 3329,630     | 104,730                   | 7,1290              | 0,3780                     | 19,539                 | 8,501                   | 28,039                  | 51,985            |
|                                 | 38      | YB Buhar | 13,89               | 45,00      | 716,15   | 3329,630     | 104,730                   | 7,1290              | 0,3780                     | 16,836                 | 7,325                   | 24,161                  | 44,794            |
|                                 | 39      | YB Buhar | 23,62               | 45,00      | 716,15   | 3329,630     | 104,730                   | 7,1290              | 0,3780                     | 28,630                 | 12,456                  | 41,085                  | 76,172            |
|                                 | 40      | YB Buhar | 23,06               | 45,00      | 716,15   | 3329,630     | 104,730                   | 7,1290              | 0,3780                     | 27,951                 | 12,160                  | 40,111                  | 74,366            |
|                                 | 41      | YB Buhar | 30,28               | 45,00      | 716,15   | 3329,630     | 104,730                   | 7,1290              | 0,3780                     | 36,702                 | 15,968                  | 52,670                  | 97,650            |
|                                 | 52      | YB Buhar | 15,28               | 45,00      | 716,15   | 3312,815     | 104,734                   | 6,8613              | 0,3780                     | 19,483                 | 8,058                   | 27,541                  | 49,019            |
|                                 | 53      | YB Buhar | 15,28               | 45,00      | 716,15   | 3312,815     | 104,734                   | 6,8613              | 0,3780                     | 19,483                 | 8,058                   | 27,541                  | 49,019            |
|                                 | 47A     | YB Buhar | 10,28               | 45,00      | 716,15   | 3320,724     | 104,734                   | 7,1190              | 0,3780                     | 12,399                 | 5,421                   | 17,820                  | 33,060            |
|                                 | 48A     | YB Buhar | 41,94               | 45,00      | 716,15   | 3320,724     | 104,734                   | 7,1190              | 0,3780                     | 50,586                 | 22,116                  | 72,703                  | 134,879           |
|                                 | 49A     | YB Buhar | 33,61               | 45,00      | 716,15   | 3320,724     | 104,734                   | 7,1190              | 0,3780                     | 40,539                 | 17,724                  | 58,263                  | 108,089           |
|                                 | 50A     | YB Buhar | 18,09               | 45,00      | 716,15   | 3320,724     | 104,734                   | 7,1190              | 0,3780                     | 21,819                 | 9,539                   | 31,359                  | 58,177            |
|                                 | 43A     | YB Buhar | 13,79               | 45,00      | 716,15   | 3320,724     | 104,734                   | 7,1190              | 0,3780                     | 16,633                 | 7,272                   | 23,905                  | 44,349            |
|                                 | 44A     | YB Buhar | 18,90               | 45,00      | 716,15   | 3320,724     | 104,734                   | 7,1190              | 0,3780                     | 22,796                 | 9,967                   | 32,763                  | 60,782            |
|                                 | 45A     | YB Buhar | 0,92                | 45,00      | 716,15   | 3320,724     | 104,734                   | 7,1190              | 0,3780                     | 1,110                  | 0,485                   | 1,595                   | 2,959             |
|                                 |         |          |                     |            |          |              | $\dot{E}_F$<br>(MW)       | $\dot{E}_P$<br>(MW) | $\dot{E}_L$<br>(MW)        | $\dot{E}_D$<br>(MW)    | $\mathcal{E}$<br>(%)    | $\dot{G}_{pot}$<br>(MW) | $\eta$<br>(%)     |
|                                 |         |          |                     |            |          |              | 241,147                   | 238,407             | -                          | 2,740                  | 98,86                   | 0,0311                  | 99,84             |

Çizelge 7.30 14 bar Ana buhar takēyēcē hattēproses akēm larē özellikleri

| Proses Cihazı                   | Akım No | Açıklama | $\dot{m}$<br>(kg/s) | P<br>(Bar) | T<br>(K) | H<br>(kJ/kg) | H <sub>0</sub><br>(kJ/kg)     | S<br>(kJ/kgK)                 | S <sub>0</sub><br>(kJ/kgK)    | $\dot{\mathcal{E}}_{ph}$<br>(MW) | $\dot{\mathcal{E}}_{kim}$<br>(MW) | $\dot{\mathcal{E}}$<br>(MW) | $\dot{E}$<br>(MW) |
|---------------------------------|---------|----------|---------------------|------------|----------|--------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------|-------------------|
| 14 Bar Ana Buhar Takēyēcē Hattē | 42B     | OB Buhar | 0,990               | 14,000     | 603,15   | 3320,724     | 104,734                       | 7,1190                        | 0,3780                        | 1,194                            | 0,522                             | 1,716                       | 3,183             |
|                                 | 48B     | OB Buhar | 5,551               | 14,000     | 603,15   | 3106,315     | 104,734                       | 7,1460                        | 0,3780                        | 5,461                            | 2,927                             | 8,388                       | 16,662            |
|                                 | 49B     | OB Buhar | 32,460              | 14,000     | 603,15   | 3106,315     | 104,734                       | 7,1460                        | 0,3780                        | 31,931                           | 17,117                            | 49,048                      | 97,431            |
|                                 | 55      | OB Buhar | 5,556               | 14,000     | 608,15   | 3118,259     | 104,734                       | 7,0859                        | 0,3780                        | 5,631                            | 2,930                             | 8,561                       | 16,743            |
|                                 | 56      | OB Buhar | 5,556               | 14,000     | 608,15   | 3118,259     | 104,734                       | 7,0859                        | 0,3780                        | 5,631                            | 2,930                             | 8,561                       | 16,743            |
|                                 | 58A     | OB Buhar | 16,320              | 14,000     | 603,15   | 2982,243     | 104,734                       | 7,8051                        | 0,3780                        | 10,822                           | 8,606                             | 19,428                      | 46,961            |
|                                 | 61      | OB Buhar | 33,723              | 14,000     | 603,15   | 2982,243     | 104,734                       | 7,8051                        | 0,3780                        | 22,362                           | 17,783                            | 40,146                      | 97,038            |
|                                 |         |          |                     |            |          |              | $\dot{\mathcal{E}}_F$<br>(MW) | $\dot{\mathcal{E}}_P$<br>(MW) | $\dot{\mathcal{E}}_L$<br>(MW) | $\dot{\mathcal{E}}_D$<br>(MW)    | $\mathcal{E}$<br>(%)              | $\dot{G}_{pot}$<br>(MW)     | $\eta$<br>(%)     |
|                                 |         |          |                     |            |          |              | 76,274                        | 59,574                        | -                             | 16,700                           | 78,10                             | 3,6566                      | 95,51             |

Ereğli Demir Çelik Fabrikası'nın Kuvvet Santrali için yapılan ekserji analizine ait sonuçlar aşağıda verilmektedir.

- BK 101, 102, 103, 104 ve 105 nolu buhar kazanlarında 45 bar ve 443°C'de sırasıyla saatte 58, 50, 86, 83 ve 103 ton, toplamda 380 ton/h kâğıt buhar üretilmiştir. Enerji verimleri BK 101 için %47,97, BK 102 için %42,27, BK 103 için %60,88, BK 104 için %53,53 ve BK 105 için %58,96 olarak; ekserji verimleri ise, BK 101 için %20,60; BK 102 için %18,14; BK 103 için %27,75; BK 104 için %24,37 ve BK 105 için %26,37 olarak bulunmuştur.
- GTG 101 ve 102 gaz türbin gruplarından sırasıyla 39,509 MW ve 39,705 MW net elektrik üretilmiştir. Toplam elde edilen güç 186,616 MW'dır. Bu gücün 53579 MW'ı HK 101'in, 53823 MW'ı HK 102'nin iletilmesi için gerekli olan güçtür, geriye kalan kısım ise jeneratörler vasıtasıyla elektrik enerjisine dönüştürülmüştür. Bununla birlikte, türbin çalışırken yanma gazının atık ısı kazanlarından geçirilmesiyle AIK 101 ve 102'nin her birinde 45 ve 14 bar basınçta, sırasıyla, 55 ton/h ve 20 ton/h saat kâğıt buhar elde edilmiştir.
- GTG 101 ve 102'nin enerji verimi en yüksek birimleri atık ısı kazanları (AIK 101, %98,94; AIK 102, %98,96) olurken onları yanma odaları (YO 101, %77,38; YO 102, %77,34) gaz türbinleri (GT 101, %96,54; GT 102, %96,58) ve hava kompresörleri (HK 101, %86,57; HK 102, %86,57) izlemektedir.
- GTG 101 ve 102'nin ekserji verimi en yüksek birimleri gaz türbinleri (GT 101, %93,66; GT 102, %93,71) olurken onları hava kompresörleri (HK 101, %80,71; HK 102, %80,71); yanma odaları (YO 101, %77,38; YO 102, %77,34) ve atık ısı kazanları (AIK 101, %76,33; AIK 102, %76,18) izlemektedir.
- GTG 101 ve 102'de ekserji tahribinin en yüksek olduğu yer yanma odalarıdır. Buna göre, YO 101'de 41,083 MW, YO 102'de 41,346 MW ekserjinin tahrip edildiği belirlenmiştir. En yüksek ekserji verimine sahip GT 101 ve 102, en düşük ekserji tahribi ve geliştirme potansiyeli değerlerine sahiptir (GT 101 için,  $\dot{E}_D = 6,301$  MW ve  $\dot{G}_{pot} = 0,399$  MW; GT 102 için,  $\dot{E}_D = 6,283$  MW ve  $\dot{G}_{pot} = 0,395$  MW). Geliştirme potansiyeli en yüksek birimlerin AIK 101 (10,730 MW) ve AIK 102 (10,877 MW) olduğu tespit edilmiştir.



- BTG 101 ve 102 buhar türbin gruplarında elde edilen güç, grubun üfleme birimleri olan TK 101 ve 102'nin işletilmesinde kullanılmaktadır. BTG 101 ve 102'de üretilen toplam güç 23,954 MW; yüksek basınçlara üflenene basınçlı hava dakikada 5079,25 m<sup>3</sup>'tür. BT 101 ve 102'nin ekserji verimleri sırasıyla, %68,50 ve %68,51; TK 101 ve 102'nin ekserji verimleri ise %44,32 ve %45,04'dir.
- BT 101 ve 102 çarklarındaki çürük buhar YG 101 ve 102 yoğulturucularına gelir. YG 101 ve 102'nin enerji verimleri %96,34 ve %96,33; ekserji verimleri ise, her iki yoğulturucu için %55,67 olarak bulunmuştur.
- BTG 103 buhar türbin grubu, BT 103, TK 103 ve YG 103'den oluşmaktadır. Analiz tarihinde sistem yedeği idir ve kapalı konumdadır.
- BTG 104 diğer türbin gruplarından farklı olarak, buhar türbin - turbo köruk - jeneratör grubudur. Tesisin ihtiyacına göre yüksek basınçlara hava üfledebilmekte veya elektrik enerjisi üretebilmektedir. Analiz tarihinde, BTG 104 elektrik enerjisi üretmektedir. BTG 104'de üretilen toplam güç 18,417 MW'dır. BT 104'ün ekserji ve enerji verimleri sırasıyla, %88,05 ve %98,34'dür. BT 104'de tahrip edilen ekserji miktarı 2,498 MW, geliştirme potansiyeli 0,298 MW'dır. YG 104'ün ekserji ve enerji verimleri ise sırasıyla, %48,48 ve %83,26 olarak bulunmuştur.
- BTG 105 buhar türbin grubu, BT 105 ara kademeli buhar türbini ve YG 105 yoğulturucusundan oluşmaktadır. Analiz tarihinde sistem yedeği idir ve kapalı konumdadır.
- BTG 106, 107 ve 108 buhar türbinlerinde elde edilen güç jeneratörler vasıtasıyla elektrik enerjine dönüştürülmektedir. BTG 106 ve 107 türbin gruplarına kademeli buhar türbinlerine sahiptir. BT 106 ve 107'nin ara kademesinden, 14 bar 330°C'de, sırasıyla, saatte 20 ton ve 117 ton kuru buhar çekilmektedir. BTG 108'nin ara buhar kademesi bulunmamaktadır. Ekserji ve enerji verimleri, sırasıyla, BT 106 için %86,08 ve %98,21, BT 107 için %94,07 ve %97,42, BT 108 için %87,96 ve %94,84 bulunmuştur. Toplam elektrik üretimi 69,443 MW'dır.
- YG 106, 107 ve 108 yoğulturucularının ekserji ve enerji verimleri sırasıyla, YG 106 için %48,26 ve %83,28, YG 107 için %48,18 ve %85,72, YG 108 için %46,80 ve %83,26 olarak

bulunmaktadır. Yoğ ukturucularda saatte toplam 172,14 ton çürük buhar yoğ ukturulmakta, bu esnada 5,114 MW ekserji tahrip olmaktadır.

- P 101, 102, 103 ve 104 nolu pompalar için s̄as̄yla; ekserji verimleri, %63,84, %74,79, 73,27 ve %71,98 olarak, enerji verimleri ise, %75,95, %90,78, %51,12 ve %54,38 olarak hesaplanm̄t̄.
- HV 101 havaland̄r̄s̄nda (degazör-dearatör) yoğ uktuculardan gelen 321,98 ton/h su ve s̄ma sisteminden gelen 20,77 ton/h s̄cak su, 45 ton d̄k̄k bas̄nçl̄buhar ilavesi ile s̄darak gazlar̄ giderilmekte (deare edilmekte) ve 384,98 ton/h ıkenmik su elde edilmektedir. Bu iklem s̄as̄nda içerinde çözünm̄k gazlar bulunan 9,94 ton/h buhar üst k̄s̄ndan HV 101i terk etmektedir. HV 101 için ekserji verimi, %94,30 enerji verimi, %95,40 olarak bulunmuştur. Tahrip edilen ekserji miktar̄3,743 MW geliktirme potansiyeli 0,214 MWd̄.
- IS 101de Demineralize su sisteminden gelen 157 ton/h su 13,75 ton/h d̄k̄k bas̄nçl̄ k̄zḡn buhar ile s̄dm̄maktadır. IS 101in ekserji verimi %94,67, enerji verimi %99,36, tahrip edilen ekserji miktar̄24,373 MW, geliktirme potansiyeli 1,2987MW olarak hesaplanm̄t̄.
- BDI 101 bas̄nç d̄k̄rme istasyonunda 3,312 ton/h k̄zḡn buhar, 43 bar ve 441°Cden genikletilerek ve 0,251 ton/h bas̄nçl̄su ilavesi ile 14 bar ve 330°Cöye d̄k̄r̄lmektedir. BDI 101in ekserji verimi %89,90 enerji verimi ise %99,99 olarak hesaplanm̄t̄.
- BDI 103 bas̄nç d̄k̄rme istasyonunda 58,75 ton/h k̄zḡn buhar, 14 bar ve 330°Cden genikletilerek ve 2,92 ton/h bas̄nçl̄su ilavesi ile 1,7 bar ve 255°Cöye d̄k̄r̄lmektedir. BDI 103in ekserji verimi %79,88 enerji verimi ise %99,96 olarak hesaplanm̄t̄.
- ABH 45 ana buhar tak̄ȳc̄ hatt̄ buhar kazanlar̄ ve at̄k s̄e kazanlar̄nda üretilen 45 barıdaki k̄zḡn buhar̄ tak̄makta ihtiyaca göre türbinlere beslemektedir. ABH 45in ekserji verimi %98,96 enerji verimi %98,94, ekserji tahribi 2,740 MW ve geliktirme potansiyeli 0,0311 MWd̄.
- ABH 14 ana buhar tak̄ȳc̄ hatt̄ara kademeli buhar türbinleri ve at̄k s̄e kazanlar̄nda üretilen 14 barıdaki k̄zḡn buhar̄ tak̄makta, ihtiyaca göre prosese vermektedir. ABH 14in ekserji verimi %78,10 enerji verimi %95,51, ekserji tahribi 16,70 MW ve geliktirme potansiyeli 3,65 MWd̄.

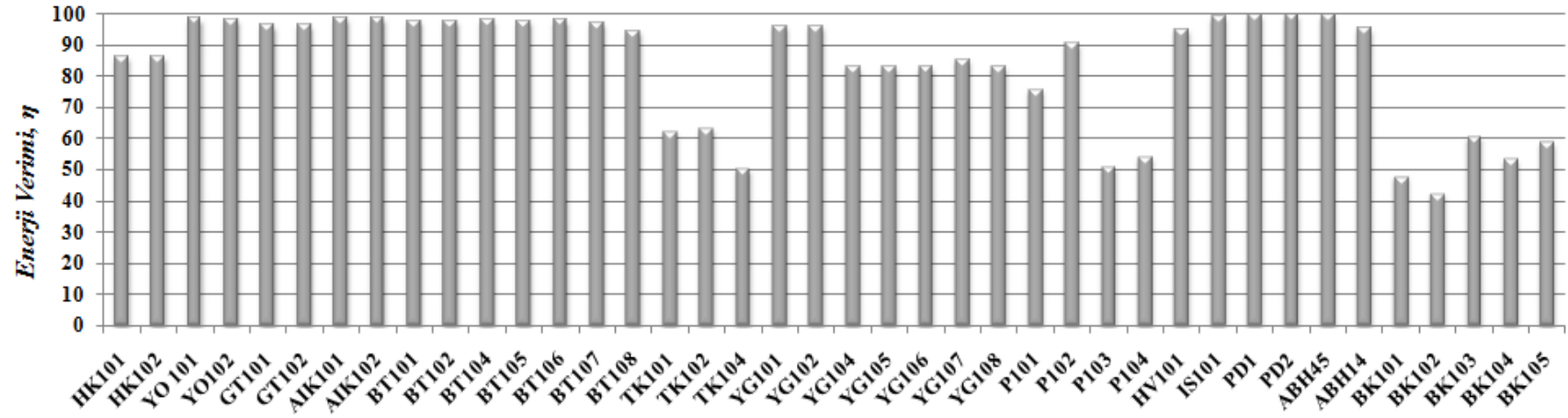
Bu çalışmada yapılan enerji ve ekserji analizine ait sonuçlar toplu şekilde grafiksel ve karkaktmal olarak şekil 7.20, 7.21, 7.22 ve 7.23'de verilmektedir.

şekil 7.20 incelendiğinde, en yüksek enerji verimine başıç dükürme istasyonları BDI 101 ( $\eta=99,89$ ) ve BDI 102 ( $\eta=99,86$ ), 45 bar ana buhar takıyıc hattı ABH 45 ( $\eta=99,84$ ), ısıma sistemi IS 101 ( $\eta=99,36$ ) ve buhar türbinlerinin (BT 104 ( $\eta=98,34$ ), BT 106 ( $\eta=98,21$ ), BT 102 ( $\eta=98,11$ ), BT 101 ( $\eta=98,10$ ), ve BT 107 ( $\eta=97,42$ ), BT 108 ( $\eta=94,84$ )) sahip olduğu görülmektedir. En düşük verime, en eski proses cihazları olan BK 102 ( $\eta=42,97$ ) ve BK 101 ( $\eta=47,97$ ) sahiptir. Bu birimleri, diğ er buhar kazanları takip etmektedir: BK104 ( $\eta=53,53$ ), BK105 ( $\eta=58,96$ ) ve BK103 ( $\eta=60,88$ ). Buhar kazanları proste gerekli olan miktarda buhar üretmek üzere çalışmaktadır; tam kapasitede iletildikleri durumlarda, enerji ve ekserji verimleri artar, tahrip edilen ekserji miktarı düşer.

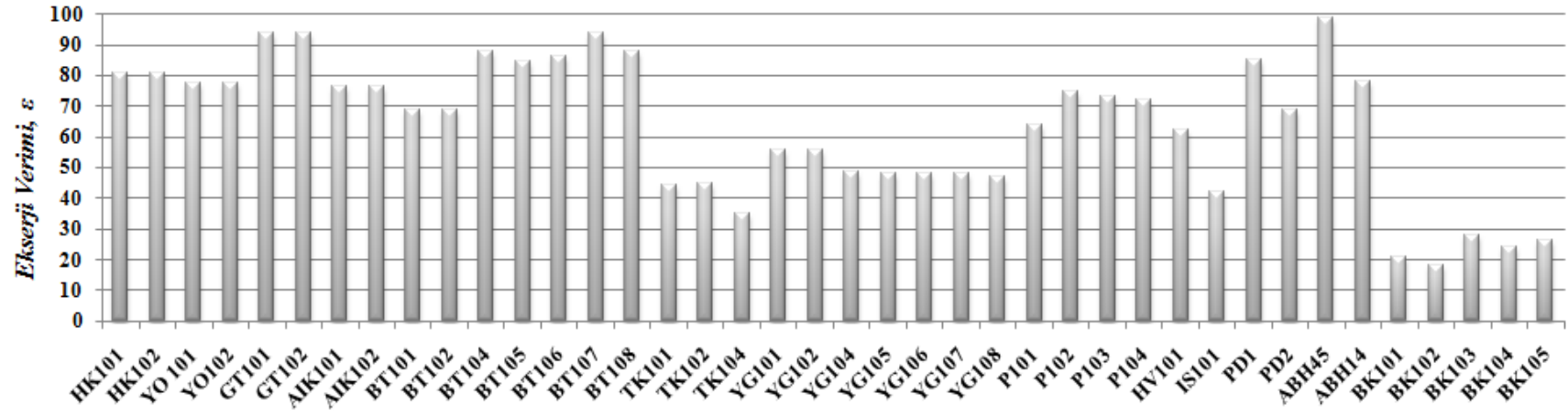
şekil 7.21 incelendiğinde, en yüksek ekserji verimine sahip ilk bek proses cihazları 45 bar ana buhar takıyıc hattı ( $\varepsilon=98,86$ ), BT 107 ( $\varepsilon=94,07$ ), GT 102 ( $\varepsilon=93,71$ ), GT 101 ( $\varepsilon=93,66$ ) ve BT 104 ( $\varepsilon=88,05$ ) olduğu; en düşük ekserji verimine sahip proses cihazları ise BK 102 ( $\varepsilon=18,14$ ), BK 101 ( $\varepsilon=20,60$ ), BK 104 ( $\varepsilon=24,37$ ), BK105 ( $\varepsilon=26,37$ ) ve BK 103 ( $\varepsilon=27,75$ ) olduğu görülmektedir. Buhar kazanları ile ilgili ekserji verimlerinin düşük bulunmasının temel nedeni, buhar kazanları yakıla verilen yakı ekserjisinin yalnızca kızıgın buhar elde etmek için değ il, kazanın nominal iletmesi için gerekli olan kazan içi ekipmanları (buhar tahrikli pompa ve türbin, döner hava ısıtıcı ekonomizer) iletmesi için de kullanılmasıdır.

şekil 7.22 incelendiğinde, en yüksek ekserji tahriplerinin sırasıyla, BK 105 (88,85 MW), BK 104 (77,18 MW), BK 103 (65,14 MW), BK 102 (68,50 MW) ve BK 101 (67,62 MW) buhar kazanlarında meydana geldiği; onları GTG 102 ve GTG 101 gaz türbini grupları ile YO 102 (41,35 MW) ve YO 101 (41,08 MW) yanma odaları izlediği görülmektedir.

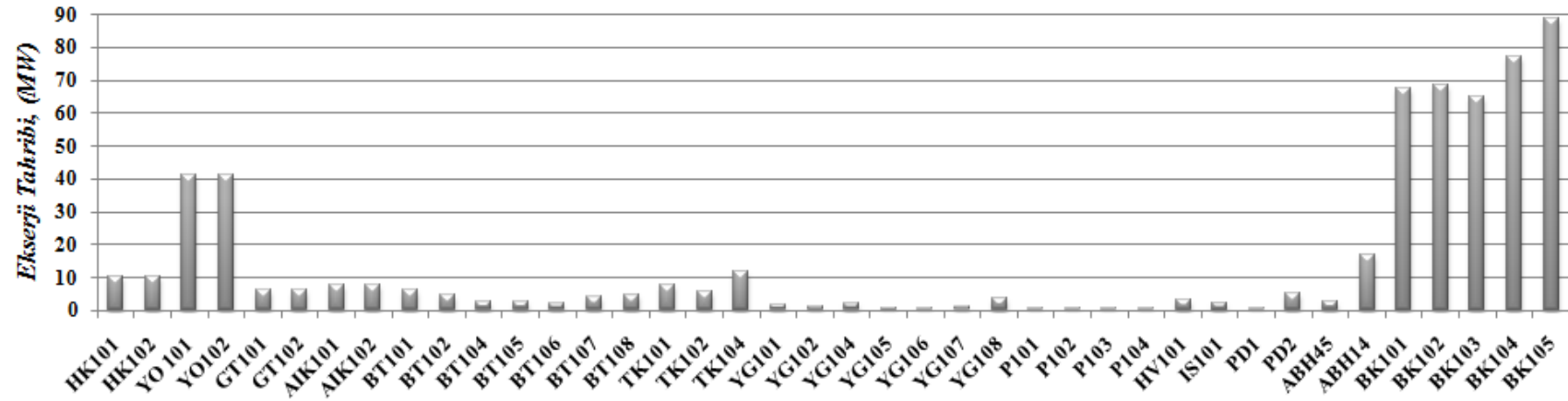
şekil 7.23 incelendiğinde, en yüksek geliştirme potansiyeli değerlerinin BK 105 (76,96 MW), BK 104 (66,17 MW), BK 103 (54,92 MW), BK 102 (62,00 MW), BK 101 (59,85 MW) buhar kazanlarında olduğu; ayrıca, AIK 102 (10,88 MW) ve AIK 101 (10,73 MW) atık ısı kazanları ile, YO 102 (9,37 MW) ve YO 101 (9,29 MW) yanma odalarından daha yüksek geliştirme potansiyeli değerlerine sahip olduğu da görülmektedir.



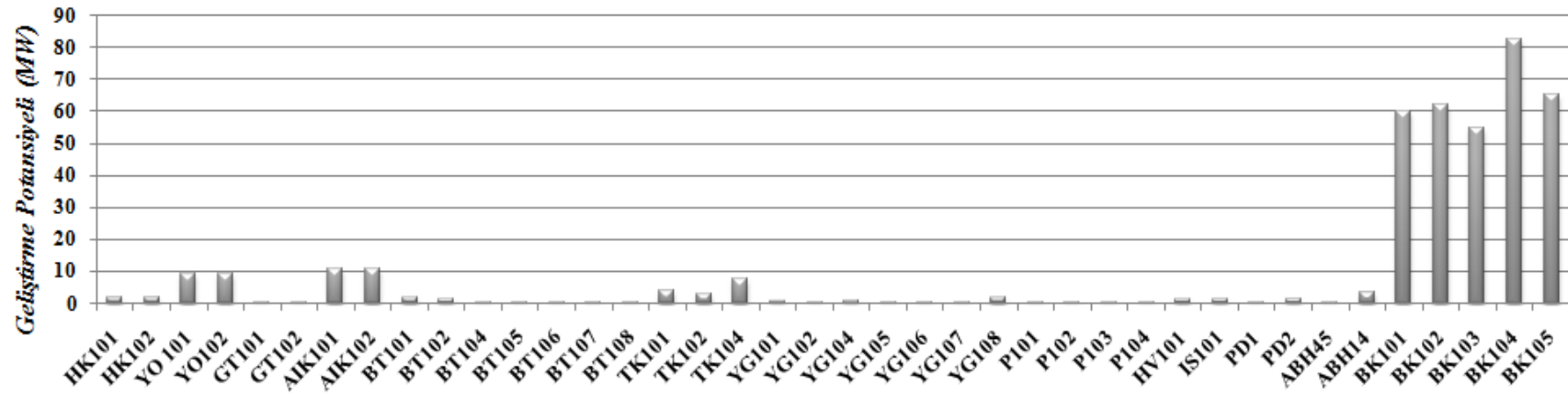
Şekil 7.20 Proses birimlerinin enerji verimleri



Şekil 7.21 Proses birimlerinin ekserji verimleri



Şekil 7.22 Proses birimlerinin ekserji tahripleri



Şekil 7.23 Proses birimlerinin geliştirme potansiyelleri

## 8. TERMOEKONOMİK ANALİZ HESAPLAMALARI VE BULGULAR

Bu bölümde, 7. Bölümde enerji ve ekserji analizleri yapıdan kuvvet santralinin ekserji maliyetlendirmesi yapılmıştır. Ekserji maliyetlendirmesine ilişkin her bir ekipman için ayrı ayrı geliştirilen denklikler, yardımcıdenklikler ve analiz sonuçlarıbu bölümde gösterilmektedir.

Hesaplamalarda kullanılan yakaların birim ekserji maliyetleri Çizelge 8.1'de verilmektedir (Erdemir, 2009).

Çizelge 8.1 Kuvvet Santralinde kullanılan yakaların birim ekserji maliyetleri

| <i>Yakā</i>                   | <i>Birim ekserji maliyeti*,<br/>c (\$/GJ)</i> |
|-------------------------------|-----------------------------------------------|
| <i>Çelikhane Gazē (ÇG)</i>    | 3,08                                          |
| <i>Doğ algaz (DG)</i>         | 8,49                                          |
| <i>Yüksek fāēn Gazē (YFG)</i> | 4,05                                          |
| <i>Kok Gazē (KG)</i>          | 4,42                                          |
| <i>Katran (KTRN)</i>          | 4,25                                          |

\* Erdemir'den alınan veriler (Erdemir, 2009) ile yakaların kalorifik değerleri kullanılarak hesaplanmıştır.

Bununla birlikte;

- Buhar kazanlarında yanmanın gerçekleşmesi için gerekli olan havayē emmek için ek maliyet harcanmadığı için kazanlarda çevreden emilen havanın maliyetleri  $c_8=c_9=c_{10}=c_{11}=c_{12}=0$  alınmıştır.
- Hava kompresörleri HK 101 ve HK 102'de atmosferden emilen hava için ek maliyet gerekmediği için  $c_{13A}=c_{14A}=0$  alınmıştır.
- Turbo körükler, TK 101, TK 102, TK 103 ve TK 104'de atmosferden emilen hava için ek maliyet gerekmediği için  $c_{15A}=c_{16A}=c_{17A}=c_{18A}=0$  alınmıştır.
- Yoğuturucularda kullanılan tuzlu su için ek maliyet gerekmediği için,  $c_{66A}=c_{67A}=c_{68A}=c_{69A}=c_{70A}=c_{71A}=c_{72A}=c_{73A}=0$  alınmıştır.

Kuvvet Santralinde bulunan proses birimlerinin seviyelendirilmik maliyetleri, Erdemir'den alınan veriler (Erdemir, 2009) doğ rultusunda Bölüm 3.5'deki Ekitlik (3.11), (3.12) ve (3.13) kullanılarak hesaplanmıştır (Çizelge 8.2).

Çizelge 8.2 Kuvvet Santralindeki proses birimlerinin seviyelendirilmik maliyetleri

| <i>Proses Birimi</i>             | <i>Seviyelendirilmik<br/>Satın Alma<br/>Maliyeti<br/><math>\dot{Z}_k^{CI}</math> (\$/h)</i> | <i>Seviyelendirilmik<br/>İklatme ve Bakım<br/>Maliyeti<br/><math>\dot{Z}_k^{OM}</math> (\$/h)</i> | <i>Seviyelendirilmik<br/>Toplam Maliyeti<br/><math>\dot{Z}_k</math> (\$/h)</i> |
|----------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|
| BK 101 Buhar Kazanē              | 213,65                                                                                      | 8,43                                                                                              | 221,99                                                                         |
| BK 102 Buhar Kazanē              | 213,65                                                                                      | 7,10                                                                                              | 220,75                                                                         |
| BK 103 Buhar Kazanē              | 246,51                                                                                      | 9,49                                                                                              | 256,00                                                                         |
| BK 104 Buhar Kazanē              | 295,81                                                                                      | 10,68                                                                                             | 306,49                                                                         |
| BK 105 Buhar Kazanē              | 328,65                                                                                      | 12,85                                                                                             | 341,50                                                                         |
| HK101 Hava Kompresörü            | 64,92                                                                                       | 0,49                                                                                              | 65,41                                                                          |
| YO 101 Yanma Odası               | 27,12                                                                                       | 0,21                                                                                              | 27,32                                                                          |
| GT 101 Gaz Türbini               | 85,46                                                                                       | 0,65                                                                                              | 86,11                                                                          |
| AIK 101 Atık Isı Kazanē          | 57,25                                                                                       | 8,50                                                                                              | 65,75                                                                          |
| HK 102 Hava Kompresörü           | 64,92                                                                                       | 0,49                                                                                              | 65,41                                                                          |
| YO 102 Yanma Odası               | 27,12                                                                                       | 0,21                                                                                              | 27,32                                                                          |
| GT 102 Gaz Türbini               | 85,46                                                                                       | 0,65                                                                                              | 86,11                                                                          |
| AIK 102 Atık Isı Kazanē          | 57,25                                                                                       | 8,50                                                                                              | 65,75                                                                          |
| BT 101 Buhar Türbini             | 198,85                                                                                      | 2,49                                                                                              | 201,34                                                                         |
| BT 102 Buhar Türbini             | 216,93                                                                                      | 2,71                                                                                              | 219,64                                                                         |
| BT 103 Buhar Türbini             | 188,99                                                                                      | 2,36                                                                                              | 191,36                                                                         |
| BT 104 Buhar Türbini             | 283,30                                                                                      | 3,54                                                                                              | 286,84                                                                         |
| BT 105 Buhar Türbini             | 205,43                                                                                      | 2,57                                                                                              | 208,00                                                                         |
| BT 106 Buhar Türbini             | 205,43                                                                                      | 2,57                                                                                              | 208,00                                                                         |
| BT 107 Buhar Türbini             | 241,58                                                                                      | 3,02                                                                                              | 244,60                                                                         |
| BT 108 Buhar Türbini             | 249,80                                                                                      | 3,12                                                                                              | 252,92                                                                         |
| TK 101 Turbo Kōrük               | 31,39                                                                                       | 0,79                                                                                              | 32,17                                                                          |
| TK 102 Turbo Kōrük               | 38,13                                                                                       | 0,95                                                                                              | 39,08                                                                          |
| TK 103 Turbo Kōrük               | 37,14                                                                                       | 0,93                                                                                              | 38,07                                                                          |
| TK 104 Turbo Kōrük               | 30,40                                                                                       | 0,76                                                                                              | 31,16                                                                          |
| YG 101 Yoğurturucusu             | 7,53                                                                                        | 0,26                                                                                              | 7,79                                                                           |
| YG 102 Yoğurturucusu             | 13,64                                                                                       | 0,48                                                                                              | 14,12                                                                          |
| YG 103 Yoğurturucusu             | 6,00                                                                                        | 0,21                                                                                              | 6,21                                                                           |
| YG 104 Yoğurturucusu             | 15,28                                                                                       | 0,54                                                                                              | 15,82                                                                          |
| YG 105 Yoğurturucusu             | 12,33                                                                                       | 0,43                                                                                              | 12,76                                                                          |
| YG 106 Yoğurturucusu             | 12,327                                                                                      | 0,43                                                                                              | 12,76                                                                          |
| YG 107 Yoğurturucusu             | 23,83                                                                                       | 0,83                                                                                              | 24,66                                                                          |
| YG 108 Yoğurturucusu             | 40,26                                                                                       | 1,41                                                                                              | 41,67                                                                          |
| P 101 Pompası                    | 0,04                                                                                        | 0,01                                                                                              | 0,05                                                                           |
| P 102 Pompası                    | 0,89                                                                                        | 0,02                                                                                              | 0,91                                                                           |
| P 103 Pompası                    | 0,03                                                                                        | 0,01                                                                                              | 0,03                                                                           |
| P 104 Pompası                    | 0,04                                                                                        | 0,01                                                                                              | 0,04                                                                           |
| ABH 45 Ana Buhar Tıkayıcısı      | 4,36                                                                                        | 0,11                                                                                              | 4,46                                                                           |
| ABH 14 Ana Buhar Tıkayıcısı      | 4,27                                                                                        | 0,11                                                                                              | 4,38                                                                           |
| BDI 101 Basınç Dükürme İstasyonu | 1,23                                                                                        | 0,03                                                                                              | 1,26                                                                           |
| BDI 103 Basınç Dükürme İstasyonu | 1,23                                                                                        | 0,03                                                                                              | 1,26                                                                           |
| HV 101 Havalandırıcısı           | 36,97                                                                                       | 0,92                                                                                              | 37,89                                                                          |
| IS 101 Isı Sistemİ               | 22,19                                                                                       | 0,56                                                                                              | 22,74                                                                          |

### 8.1 BK 101, 102, 103, 104 ve 105 Buhar Kazanlarına Hükkin Kurulan Denklikler

Bu bölümde, termoekonomik analiz çalışması sonucu buhar kazanları için oluşturulan maliyet denklikleri ve ilgili yardımcıdenklikler verilmektedir.

#### • BK 101 Buhar Kazan Denklikleri

##### BK 101 Ana Maliyet Denkliği:

$$\dot{C}_{1A} + \dot{C}_{1B} + \dot{C}_{1C} + \dot{C}_{1D} + \dot{C}_8 + \dot{C}_{30} + \dot{Z}_{BK101} = \dot{C}_{19} + \dot{C}_{37} \quad (8.1)$$

##### BK 101 Açık Maliyet Denkliği:

$$c_{1A} \cdot \varepsilon_{1A} + c_{1B} \cdot \varepsilon_{1B} + c_{1C} \cdot \varepsilon_{1C} + c_{1D} \cdot \varepsilon_{1D} + c_8 \cdot \varepsilon_8 + c_{30} \cdot \varepsilon_{30} + \dot{Z}_{BK101} = c_{19} \cdot \varepsilon_{19} + c_{37} \cdot \varepsilon_{37} \quad (8.2)$$

##### YardımcıDenklikler (Çizelge 8.1 ve 8.2):

$$\left. \begin{array}{lll} c_8 = 0 & c_{19} = 0 & c_{30} = 0 \\ \dot{C}_8 = 0 & \dot{C}_{19} = 0 & \dot{C}_{30} = 0 \\ c_{1A} = 4,05 \text{ \$ / GJ} & c_{1B} = 4,42 \text{ \$ / GJ} & \\ c_{1C} = 3,08 \text{ \$ / GJ} & c_{1D} = 4,25 \text{ \$ / GJ} & \\ \dot{Z}_{BK101}^{CI} = 213,65 \text{ \$ / h} & \dot{Z}_{BK101}^{OM} = 8,43 \text{ \$ / h} & \dot{Z}_{BK101} = 222,08 \text{ \$ / h} \end{array} \right\} \quad (8.3)$$

Yukarıdaki denklikler kullanılarak Eşitlik (8.4) elde edilmiştir.

$$c_{37} = \frac{c_{1A} \cdot \varepsilon_{1A} + c_{1B} \cdot \varepsilon_{1B} + c_{1C} \cdot \varepsilon_{1C} + c_{1D} \cdot \varepsilon_{1D} + \dot{Z}_{BK101}}{\varepsilon_{37}} \quad (8.4)$$

Burada,  $c_{37}$ , BK 101 buhar kazanından elde edilen buharın (akēm 37) (şekil 6.1) birim ekserji maliyetini ifade etmektedir.

Hesaplamalarda kullanılan değerler ve  $c_{37}$  için elde edilen değer Çizelge 8.3'de verilmektedir.



Çizelge 8.3 BK 101 Buhar kazanē için termoekonomik analizden elde edilen değ erler

| BK 101 Buhar Kazanē            |                  |                  |                              |                  |              |                   |
|--------------------------------|------------------|------------------|------------------------------|------------------|--------------|-------------------|
| $Z^{CI} = 213,65 \text{ \$/h}$ |                  |                  | $Z^{OM} = 8,43 \text{ \$/h}$ |                  |              |                   |
| Akēn No                        | Açāklama         | $\dot{m}$ (kg/s) | $e$ (MJ/kg)                  | $\dot{\Xi}$ (MW) | $c$ (\\$/GJ) | $\dot{C}$ (\\$/h) |
| 1A                             | Yüksek Fēān Gazē | 0,33             | 3,1667                       | 1,045            | 4,05         | 15,22             |
| 1B                             | Kok Gazē         | 0,07             | 36,1000                      | 2,527            | 3,08         | 28,01             |
| 1C                             | Çelikhane Gazē   | 8,42             | 6,0292                       | 50,766           | 4,42         | 807,60            |
| 1D                             | Katran           | 0,83             | 46,3831                      | 38,498           | 4,25         | 589,57            |
| 8                              | Hava             | 32,58            | 0,0025                       | 0,082            | 0,00         | 0,00              |
| 19                             | Baca Gazē        | 37,75            | 0,1633                       | 6,164            | 0,00         | 0,00              |
| 30                             | Su               | 16,12            | 0,5521                       | 8,900            | 0,00         | 0,00              |
| 37                             | YB Buhar         | 16,12            | 1,7394                       | 28,039           | 14,33        | 1446,88           |

• BK 102 Buhar Kazanē Denklikleri

**BK 102 Ana Maliyet Denklī i:**

$$\dot{C}_{2A} + \dot{C}_{2B} + \dot{C}_{2C} + \dot{C}_{2D} + \dot{C}_9 + \dot{C}_{31} + \dot{Z}_{BK102} = \dot{C}_{20} + \dot{C}_{38} \quad (8.5)$$

**BK 102 Açāk Maliyet Denklī i:**

$$c_{2A} \cdot \Xi_{2A} + c_{2B} \cdot \Xi_{2B} + c_{2C} \cdot \Xi_{2C} + c_{2D} \cdot \Xi_{2D} + c_9 \cdot \Xi_9 + c_{31} \cdot \Xi_{31} + \dot{Z}_{BK102} = c_{20} \cdot \Xi_{20} + c_{38} \cdot \Xi_{38} \quad (8.6)$$

**Yardāncē Denklikler (Çizelge 8.1 ve 8.2):**

$$\left. \begin{array}{lll} c_9 = 0 & c_{20} = 0 & c_{31} = 0 \\ \dot{C}_9 = 0 & \dot{C}_{20} = 0 & \dot{C}_{31} = 0 \\ c_{1A} = 4,05 \text{ \$ / GJ} & c_{1B} = 4,42 \text{ \$ / GJ} & \\ c_{1C} = 3,08 \text{ \$ / GJ} & c_{1D} = 4,25 \text{ \$ / GJ} & \\ \dot{Z}_{BK102}^{CI} = 213,65 \text{ \$ / h} & \dot{Z}_{BK102}^{OM} = 7,10 \text{ \$ / h} & \dot{Z}_{BK102} = 220,75 \text{ \$ / h} \end{array} \right\} \quad (8.7)$$

Yukarıdaki denklıklar kullanarak Ekitlik (8.8) elde edilmiştir.

$$c_{38} = \frac{c_{2A} \cdot \dot{\varepsilon}_{2A} + c_{2B} \cdot \dot{\varepsilon}_{2B} + c_{2C} \cdot \dot{\varepsilon}_{2C} + c_{2D} \cdot \dot{\varepsilon}_{2D} + \dot{Z}_{BK102}}{\dot{\varepsilon}_{38}} \quad (8.8)$$

Burada,  $c_{38}$ , BK 102 buhar kazanından elde edilen buharın (akēm 38) (şekil 6.1) birim ekserji maliyetini ifade etmektedir.

Hesaplamalarda kullanılan değ erler ve  $c_{38}$  için elde edilen değ er Çizelge 8.4'de verilmektedir.

Çizelge 8.4 BK 102 Buhar kazanı için termoekonomik analizden elde edilen değ erler

| BK 102 Buhar Kazanē    |                   |                  |             |                          |             |                  |
|------------------------|-------------------|------------------|-------------|--------------------------|-------------|------------------|
| $Z^{CI} = 213,65 \$/h$ |                   |                  |             | $Z^{OM} = 7,10 \$/h$     |             |                  |
| Akēm No                | Açıklama          | $\dot{m}$ (kg/s) | $e$ (MJ/kg) | $\dot{\varepsilon}$ (MW) | $c$ (\$/GJ) | $\dot{C}$ (\$/h) |
| 2A                     | Yüksek Fārēn Gazē | 0,33             | 3,1667      | 1,045                    | 4,05        | 15,22            |
| 2B                     | Kok Gazē          | 0,07             | 36,1000     | 2,527                    | 3,08        | 28,01            |
| 2C                     | Çelikhane Gazē    | 8,09             | 6,0292      | 48,776                   | 4,42        | 775,95           |
| 2D                     | Katran            | 0,83             | 46,3831     | 38,498                   | 4,25        | 589,57           |
| 9                      | Hava              | 31,42            | 0,0025      | 0,079                    | 0,00        | 0,00             |
| 20                     | Baca Gazē         | 36,44            | 0,1628      | 5,932                    | 0,00        | 0,00             |
| 21                     | Su                | 13,89            | 0,5521      | 7,669                    | 0,00        | 0,00             |
| 38                     | YB Buhar          | 13,89            | 1,7394      | 24,161                   | 18,73       | 1629,43          |

- BK 103 Buhar Kazanē Denklıkları

**BK 103 Ana Maliyet Denklī i:**

$$\dot{C}_{3A} + \dot{C}_{3B} + \dot{C}_{3C} + \dot{C}_{3D} + \dot{C}_{10} + \dot{C}_{32} + \dot{Z}_{BK103} = \dot{C}_{21} + \dot{C}_{39} \quad (8.9)$$

**BK 103 Açık Maliyet Denklī i:**

$$c_{3A} \cdot \dot{\varepsilon}_{3A} + c_{3B} \cdot \dot{\varepsilon}_{3B} + c_{3C} \cdot \dot{\varepsilon}_{3C} + c_{3D} \cdot \dot{\varepsilon}_{3D} + c_{10} \cdot \dot{\varepsilon}_{10} + c_{32} \cdot \dot{\varepsilon}_{32} + \dot{Z}_{BK103} = c_{21} \cdot \dot{\varepsilon}_{21} + c_{39} \cdot \dot{\varepsilon}_{39} \quad (8.10)$$

**Yardāncē Denklikler (Çizelge 8.1 ve 8.2):**

$$\left. \begin{aligned}
c_{10} &= 0 & c_{21} &= 0 & c_{32} &= 0 \\
\dot{C}_{10} &= 0 & \dot{C}_{21} &= 0 & \dot{C}_{32} &= 0 \\
c_{1A} &= 4,05 \text{ \$ / } \mathbf{GJ} & c_{1B} &= 4,42 \text{ \$ / } \mathbf{GJ} \\
c_{1C} &= 3,08 \text{ \$ / } \mathbf{GJ} & c_{1D} &= 8,49 \text{ \$ / } \mathbf{GJ} \\
\dot{Z}_{BK103}^{c\bar{e}} &= 246,51 \text{ \$ / } \mathbf{h} & \dot{Z}_{BK103}^{OM} &= 9,49 \text{ \$ / } \mathbf{h} & \dot{Z}_{BK103} &= 256,00 \text{ \$ / } \mathbf{h}
\end{aligned} \right\} \quad (8.11)$$

Yukarıdaki denklikler kullanılarak Ekitlik (8.12) elde edilmiştir.

$$c_{39} = \frac{c_{3A} \cdot \bar{\varepsilon}_{3A} + c_{3B} \cdot \bar{\varepsilon}_{3B} + c_{3C} \cdot \bar{\varepsilon}_{3C} + c_{3D} \cdot \bar{\varepsilon}_{3D} + Z_{BK103}}{\bar{\varepsilon}_{39}} \quad (8.12)$$

Burada,  $c_{39}$ , BK 103 buhar kazanından elde edilen buharın (akēm 39) (şekil 6.1) birim ekserji maliyetini ifade etmektedir.

Hesaplamalarda kullanılan değerler ve  $c_{39}$  için elde edilen değer Çizelge 8.5'de verilmektedir.

Çizelge 8.5 BK 103 Buhar kazanı için termoekonomik analizden elde edilen değerler

| BK 103 Buhar Kazanē              |                  |                  |                                |                          |              |                   |
|----------------------------------|------------------|------------------|--------------------------------|--------------------------|--------------|-------------------|
| $Z^{CI} = 246,51 \text{ \$ / h}$ |                  |                  | $Z^{OM} = 9,49 \text{ \$ / h}$ |                          |              |                   |
| Akēm No                          | Açıklama         | $\dot{m}$ (kg/s) | $e$ (MJ/kg)                    | $\dot{\varepsilon}$ (MW) | $c$ (\\$/GJ) | $\dot{C}$ (\\$/h) |
| 3A                               | Yüksek Fārē Gazē | 11,00            | 3,1677                         | 34,845                   | 4,05         | 507,25            |
| 3B                               | Kok Gazē         | 0,49             | 36,1020                        | 17,690                   | 3,08         | 196,08            |
| 3C                               | Çelikhane Gazē   | 7,72             | 6,0291                         | 46,545                   | 4,42         | 740,45            |
| 3D                               | Doğalgaz         | 0,04             | 46,425                         | 1,857                    | 8,49         | 56,76             |
| 10                               | Hava             | 43,12            | 0,0025                         | 0,109                    | 0,00         | 0,00              |
| 21                               | Baca Gazē        | 62,37            | 0,1260                         | 7,863                    | 0,00         | 0,00              |
| 32                               | Su               | 23,62            | 0,5521                         | 13,041                   | 0,00         | 0,00              |
| 39                               | YB Buhar         | 23,62            | 1,7394                         | 41,085                   | 11,88        | 1756,52           |

• **BK 104 Buhar Kazanē Denklikleri**

**BK 104 Ana Maliyet Denklii:**

$$\dot{C}_{4A} + \dot{C}_{4B} + \dot{C}_{4C} + \dot{C}_{4D} + \dot{C}_{11} + \dot{C}_{33} + \dot{Z}_{BK104} = \dot{C}_{22} + \dot{C}_{40} \quad (8.13)$$

**BK 104 Açık Maliyet Denklii:**

$$\begin{aligned} c_{4A} \cdot \varepsilon_{4A} + c_{4B} \cdot \varepsilon_{4B} + c_{4C} \cdot \varepsilon_{4C} + c_{4D} \cdot \varepsilon_{4D} \\ + c_{11} \cdot \varepsilon_{11} + c_{33} \cdot \varepsilon_{33} + \dot{Z}_{BK104} = c_{22} \cdot \varepsilon_{22} + c_{40} \cdot \varepsilon_{40} \end{aligned} \quad (8.14)$$

**Yardımcı Denklikler (Çizelge 8.1 ve 8.2):**

$$\left. \begin{aligned} c_{11} &= 0 & c_{22} &= 0 & c_{33} &= 0 \\ \dot{C}_{11} &= 0 & \dot{C}_{22} &= 0 & \dot{C}_{33} &= 0 \\ c_{1A} &= 4,05 \text{ \$ / } \mathbf{GJ} & c_{1B} &= 4,42 \text{ \$ / } \mathbf{GJ} \\ c_{1C} &= 3,08 \text{ \$ / } \mathbf{GJ} & c_{1D} &= 8,49 \text{ \$ / } \mathbf{GJ} \\ \dot{Z}_{BK104}^{CI} &= 295,81 \text{ \$ / } \mathbf{h} & \dot{Z}_{BK104}^{OM} &= 10,68 \text{ \$ / } \mathbf{h} & \dot{Z}_{BK104} &= 306,49 \text{ \$ / } \mathbf{h} \end{aligned} \right\} \quad (8.15)$$

Yukarıdaki denklikler kullanılarak Ekitlik (8.16) elde edilmiştir.

$$c_{40} = \frac{c_{4A} \cdot \varepsilon_{4A} + c_{4B} \cdot \varepsilon_{4B} + c_{4C} \cdot \varepsilon_{4C} + c_{4D} \cdot \varepsilon_{4D} + \dot{Z}_{BK104}}{\varepsilon_{40}} \quad (8.16)$$

Burada,  $c_{40}$ , BK 104 buhar kazanēndan elde edilen buharēn (akēm 40) (şekil 6.1) birim ekserji maliyetini ifade etmektedir.

Hesaplamalarda kullanılan değ erler ve  $c_{40}$  için elde edilen değ er Çizelge 8.6'de verilmektedir.

Çizelge 8.6 BK 104 Buhar kazanēiçin termoeekonomik analizden elde edilen deĝ erler

| BK 104 Buhar Kazanē    |                  |                  |                       |                          |             |                  |
|------------------------|------------------|------------------|-----------------------|--------------------------|-------------|------------------|
| $Z^{CI} = 295,81 \$/h$ |                  |                  | $Z^{OM} = 10,68 \$/h$ |                          |             |                  |
| Akēn No                | Açēklama         | $\dot{m}$ (kg/s) | $e$ (MJ/kg)           | $\dot{\mathcal{E}}$ (MW) | $c$ (\$/GJ) | $\dot{C}$ (\$/h) |
| 4A                     | Yüksek Fēān Gazē | 12,67            | 3,1677                | 40,135                   | 4,05        | 584,26           |
| 4B                     | Kok Gazē         | 0,54             | 36,1037               | 19,496                   | 3,08        | 216,10           |
| 4C                     | Çelikhane Gazē   | 8,42             | 6,0292                | 50,766                   | 4,42        | 807,60           |
| 4D                     | Doĝ algaz        | 0,04             | 41,2666               | 1,857                    | 8,49        | 50,46            |
| 11                     | Hava             | 42,11            | 0,0025                | 0,106                    | 0,00        | 0,00             |
| 22                     | Baca Gazē        | 61,92            | 0,1259                | 7,798                    | 0,00        | 0,00             |
| 33                     | Su               | 23,06            | 0,5520                | 12,731                   | 0,00        | 0,00             |
| 40                     | YB Buhar         | 23,06            | 1,7394                | 40,111                   | 13,61       | 1964,82          |

• BK 105 Buhar Kazanē Denklikleri

**BK 105 Ana Maliyet Denklî i:**

$$\dot{C}_{5A} + \dot{C}_{5B} + \dot{C}_{5C} + \dot{C}_{5D} + \dot{C}_{12} + \dot{C}_{34} + \dot{Z}_{BK105} = \dot{C}_{23} + \dot{C}_{41} \quad (8.17)$$

**BK 105 Açēk Maliyet Denklî i:**

$$c_{5A} \cdot \mathcal{E}_{5A} + c_{5B} \cdot \mathcal{E}_{5B} + c_{5C} \cdot \mathcal{E}_{5C} + c_{5D} \cdot \mathcal{E}_{5D} + c_{12} \cdot \mathcal{E}_{12} + c_{34} \cdot \mathcal{E}_{34} + \dot{Z}_{BK105} = c_{23} \cdot \mathcal{E}_{23} + c_{41} \cdot \mathcal{E}_{41} \quad (8.18)$$

**Yardāncē Denklikler (Çizelge 8.1 ve 8.2):**

$$\left. \begin{array}{lll} c_{12} = 0 & c_{23} = 0 & c_{34} = 0 \\ \dot{C}_{12} = 0 & \dot{C}_{23} = 0 & \dot{C}_{34} = 0 \\ c_{1A} = 4,05 \$/GJ & c_{1B} = 4,42 \$/GJ & \\ c_{1C} = 3,08 \$/GJ & c_{1D} = 8,49 \$/GJ & \\ \dot{Z}_{BK105}^{CI} = 328,68 \$/h & \dot{Z}_{BK105}^{OM} = 12,58 \$/h & \dot{Z}_{BK105} = 341,26 \$/h \end{array} \right\} \quad (8.19)$$

Yukarıdaki denklıklar kullanarak Etkilik (8.20) elde edilmektedir.

$$c_{41} = \frac{c_{5A} \cdot \dot{E}_{5A} + c_{5B} \cdot \dot{E}_{5B} + c_{5C} \cdot \dot{E}_{5C} + c_{5D} \cdot \dot{E}_{5D} + Z_{BK105}}{\dot{E}_{41}} \quad (8.20)$$

Burada,  $c_{41}$ , BK 105 buhar kazanından elde edilen buharın (akın 41) (şekil 6.1) birim ekserji maliyetini ifade etmektedir.

Hesaplamalarda kullanılan değerler ve  $c_{41}$  için elde edilen değer Çizelge 8.7'de verilmektedir.

Çizelge 8.7 BK 105 Buhar kazanı için termoekonomik analizden elde edilen değerler

| BK 105 Buhar Kazanē            |                   |                  |             |                               |              |                   |
|--------------------------------|-------------------|------------------|-------------|-------------------------------|--------------|-------------------|
| $Z^{CI} = 328,68 \text{ \$}/h$ |                   |                  |             | $Z^{OM} = 12,85 \text{ \$}/h$ |              |                   |
| Akēn No                        | Açıklama          | $\dot{m}$ (kg/s) | $e$ (MJ/kg) | $\dot{E}$ (MW)                | $c$ (\\$/GJ) | $\dot{C}$ (\\$/h) |
| 5A                             | Yüksek Fārēn Gazē | 23,377           | 3,1677      | 74,052                        | 4,05         | 1078,00           |
| 5B                             | Kok Gazē          | 0,146            | 36,1037     | 5,282                         | 3,08         | 58,43             |
| 5C                             | Çelikhane Gazē    | 9,089            | 6,0292      | 54,798                        | 4,42         | 871,77            |
| 5D                             | Doğalgaz          | 0,045            | 45,9111     | 2,066                         | 8,49         | 63,15             |
| 12                             | Hava              | 55,550           | 0,0025      | 0,140                         | 0,00         | 0,00              |
| 23                             | Baca Gazē         | 88,210           | 0,1307      | 11,537                        | 0,00         | 0,00              |
| 34                             | Su                | 30,280           | 0,5521      | 16,718                        | 0,00         | 0,00              |
| 41                             | YB Buhar          | 30,280           | 1,7394      | 52,670                        | 12,73        | 2412,77           |

## 8.2 GTG 101 ve 102 Gaz Türbin Gruplarına Kiri Kurulan Denklıklar

Bu bölümde, termoekonomik analiz çalışması sonucu gaz türbin grupları için oluşturulan maliyet denklıkları ve ilgili yardımcı denklıklar verilmektedir.

### 8.2.1 GTG 101 Gaz Türbin Grubuna Kiri Denklıklar

GTG 101 gaz türbini grubunu oluşturan HK 101 hava kompresörü, YO 101 yanma odası GT 101 gaz türbini ve AIK 101 atık ısı kazanı için kurulan denklıklar sırasıyla aşağıda verilmektedir.

- **HK 101 Hava Kompresörü Denklikleri**

**HK 101 Ana Maliyet Denkliğ i:**

$$\dot{C}_{13A} + \dot{C}_{209} + \dot{Z}_{HK101} = \dot{C}_{13B} \quad (8.21)$$

**HK 101 Açđk Maliyet Denkliğ i:**

$$c_{13A} \cdot \dot{\mathcal{E}}_{13A} + c_{209} \cdot \dot{\mathcal{E}}_{209} + \dot{Z}_{HK101} = c_{13B} \cdot \dot{\mathcal{E}}_{13B} \quad (8.22)$$

**Yardāncē Denklikler (Çizelge 8.1 ve 8.2):**

$$\left. \begin{array}{lll} c_{13A} = 0 & \dot{C}_{13A} = 0 & c_{209} = c_{210} = 17,84 \text{ \$ / GJ} \\ \dot{Z}_{HK101}^{CI} = 64,92 \text{ \$ / h} & \dot{Z}_{HK101}^{OM} = 0,49 \text{ \$ / h} & \dot{Z}_{HK101} = 65,41 \text{ \$ / h} \end{array} \right\} \quad (8.23)$$

Yukarıdaki denklikler kullanılarak Ekitlik (8.24) elde edilmiştir.

$$c_{13B} = \frac{c_{209} \cdot \dot{\mathcal{E}}_{209} + \dot{Z}_{HK101}}{\dot{\mathcal{E}}_{13B}} \quad (8.24)$$

Burada,  $c_{13B}$ , HK 101 hava kompresöründen elde edilen basınçlı havanın (akām 13B) (şekil 6.1) birim ekserji maliyetini ifade etmektedir.

Hesaplamalarda kullanılan değ erler ve  $c_{13B}$  için elde edilen değ er Çizelge 8.8’de verilmektedir.

- **YO 101 Yanma Odası Denklikleri**

**YO 101 Ana Maliyet Denkliğ i:**

$$\dot{C}_6 + \dot{C}_{62} + \dot{C}_{13B} + \dot{Z}_{YO101} = \dot{C}_{24A} \quad (8.25)$$

**YO 101 Açđk Maliyet Denkliğ i:**

$$c_6 \cdot \dot{\mathcal{E}}_6 + c_{62} \cdot \dot{\mathcal{E}}_{62} + c_{13B} \cdot \dot{\mathcal{E}}_{13B} + \dot{Z}_{YO101} = c_{24A} \cdot \dot{\mathcal{E}}_{24A} \quad (8.26)$$

**Yardımcı Denklikler:**

$$\left. \begin{aligned} c_6 &= 8,49 \text{ \$ / } \mathbf{GJ} & c_{13B} &= 23,57 \text{ \$ / } \mathbf{GJ} & c_{24A} &= c_{24B} = c_{24C} & c_{62} &= 11,88 \text{ \$ / } \mathbf{GJ} \\ \dot{\mathbf{Z}}_{YO101}^{CI} &= 27,12 \text{ \$ / } \mathbf{h} & \dot{\mathbf{Z}}_{YO101}^{OM} &= 0,21 \text{ \$ / } \mathbf{h} & \dot{\mathbf{Z}}_{YO101} &= 27,32 \text{ \$ / } \mathbf{h} \end{aligned} \right\} \quad (8.27)$$

Yukarıdaki denklikler kullanılarak Ekitlik (8.28) elde edilmiştir.

$$c_{24A} = \frac{c_6 \cdot \dot{\mathbf{E}}_6 + c_{62} \cdot \dot{\mathbf{E}}_{62} + c_{13B} \cdot \dot{\mathbf{E}}_{13B} + \dot{\mathbf{Z}}_{YO101}}{\dot{\mathbf{E}}_{24A}} \quad (8.28)$$

Burada,  $c_{24A}$ , YO 101'den çıkan yanma gazının (akın 24A) (şekil 6.1) için birim ekserji maliyetini ifade etmektedir.

Hesaplamalarda kullanılan değerler ve  $c_{24A}$  için elde edilen değer Çizelge 8.8'de verilmektedir.

- **GT 101 Gaz Türbini Denklikleri**

**GT 101 Ana Maliyet Denkliği:**

$$\dot{\mathbf{C}}_{24A} + \dot{\mathbf{Z}}_{GT101} = \dot{\mathbf{C}}_{209} + \dot{\mathbf{C}}_{210} + \dot{\mathbf{C}}_{24B} \quad (8.29)$$

**GT 101 Açık Maliyet Denkliği:**

$$c_{24A} \cdot \dot{\mathbf{E}}_{24A} + \dot{\mathbf{Z}}_{GT101} = c_{209} \cdot \dot{\mathbf{E}}_{209} + c_{210} \cdot \dot{\mathbf{E}}_{210} + c_{24B} \cdot \dot{\mathbf{E}}_{24B} \quad (8.30)$$

**Yardımcı Denklikler:**

$$\left. \begin{aligned} c_{209} &= c_{210} = c_{w_{GT101}} & c_{24A} &= c_{24B} = 15,91 \text{ \$ / } \mathbf{GJ} \\ \dot{\mathbf{Z}}_{GT101}^{CI} &= 85,46 \text{ \$ / } \mathbf{h} & \dot{\mathbf{Z}}_{GT101}^{OM} &= 0,65 \text{ \$ / } \mathbf{h} & \dot{\mathbf{Z}}_{GT101} &= 86,11 \text{ \$ / } \mathbf{h} \end{aligned} \right\} \quad (8.31)$$

Yukarıdaki denklikler kullanılarak Ekitlik (8.32) elde edilmiştir.



$$c_{209} = c_{210} = \frac{c_{24A} \cdot (\dot{\varepsilon}_{24A} - \dot{\varepsilon}_{24B}) + \dot{Z}_{GT101}}{(\dot{\varepsilon}_{209} + \dot{\varepsilon}_{210})} \quad (8.32)$$

Burada,  $c_{209} = c_{210}$ , GT 101 gaz türbininden elde edilen birim güç (şekil 6.1) için ekserji maliyetini ifade etmektedir.

Hesaplamalarda kullanılan değerler,  $c_{209}$  ve  $c_{210}$  için elde edilen değer Çizelge 8.8'de verilmektedir.

- **AIK 101 Atık Isı Kazan Denklikleri**

**AIK 101 Ana Maliyet Denkliği:**

$$\dot{C}_{24B} + \dot{C}_{36A} + \dot{C}_{64A} + \dot{Z}_{AIK101} = \dot{C}_{24C} + \dot{C}_{52} + \dot{C}_{55} + \dot{C}_{64B} \quad (8.33)$$

**AIK 101 Açık Maliyet Denkliği:**

$$c_{24B} \cdot \dot{\varepsilon}_{24B} + c_{36A} \cdot \dot{\varepsilon}_{36A} + c_{64A} \cdot \dot{\varepsilon}_{64A} + \dot{Z}_{AIK101} = c_{24C} \cdot \dot{\varepsilon}_{24C} + c_{52} \cdot \dot{\varepsilon}_{52} + c_{55} \cdot \dot{\varepsilon}_{55} + c_{64B} \cdot \dot{\varepsilon}_{64B} \quad (8.34)$$

**Yardımcı Denklikler:**

$$\left. \begin{aligned} c_{24A} = c_{24B} = c_{24C} &= 15,91 \text{ \$ / GJ} & c_{36A} &= 0 & c_{64A} = c_{64B} &= 0 & c_{52} = c_{55} \\ \dot{Z}_{AIK101}^{CI} &= 57,52 \text{ \$ / h} & \dot{Z}_{AIK101}^{OM} &= 8,50 \text{ \$ / h} & \dot{Z}_{AIK101} &= 66,02 \text{ \$ / h} \end{aligned} \right\} \quad (8.35)$$

Yukarıdaki denklikler kullanılarak Eşitlik (8.36) elde edilmiştir.

$$c_{52} = c_{55} = \frac{c_{24B} \cdot \dot{\varepsilon}_{24B} + c_{36A} \cdot \dot{\varepsilon}_{36A} + \dot{Z}_{AIK101}}{\dot{\varepsilon}_{52} + \dot{\varepsilon}_{55}} \quad (8.36)$$

Burada,  $c_{52}$  ve  $c_{55}$ , AIK 101'den elde edilen kâğıt buharı (akım 52 ve 55) (şekil 6.1) birim ekserji maliyetini göstermektedir.

Hesaplamalarda kullanılan değerler,  $c_{52}$  ve  $c_{55}$  için elde edilen değer Çizelge 8.8'de verilmektedir.

Çizelge 8.8 GTG 101 Gaz türbin grubu için termoekonomik analizden elde edilen değerler

| HK 101 Hava Kompresörü        |                |                     |                              |                   |                |                     |
|-------------------------------|----------------|---------------------|------------------------------|-------------------|----------------|---------------------|
| $Z^{CI} = 64,92 \text{ \$}/h$ |                |                     | $Z^{OM} = 0,49 \text{ \$}/h$ |                   |                |                     |
| Akân No                       | Açıklama       | $\dot{m}$<br>(kg/s) | $e$<br>(MJ/kg)               | $\dot{E}$<br>(MW) | $c$<br>(\$/GJ) | $\dot{C}$<br>(\$/h) |
| 13A                           | Hava           | 131,700             | 0,0000                       | 0,00              | 0,00           | 0,00                |
| 13B                           | Hava           | 131,700             | 0,3522                       | 43,57             | 23,57          | 3696,85             |
| 209                           | Kompresör Gücü | -                   | -                            | 53,823            | 17,86          | 3461,38             |
| YO 101 Yanma Odası            |                |                     |                              |                   |                |                     |
| $Z^{CI} = 27,12 \text{ \$}/h$ |                |                     | $Z^{OM} = 0,21 \text{ \$}/h$ |                   |                |                     |
| Akân No                       | Açıklama       | $\dot{m}$<br>(kg/s) | $e$<br>(MJ/kg)               | $\dot{E}$<br>(MW) | $c$<br>(\$/GJ) | $\dot{C}$<br>(\$/h) |
| 13B                           | Hava           | 131,700             | 0,3308                       | 43,57             | 23,57          | 3696,85             |
| 6                             | Doğalgaz       | 2,913               | 46,4298                      | 135,25            | 8,49           | 4134,27             |
| 62                            | Buhar ıfj.     | 3,263               | 0,8520                       | 2,78              | 11,88          | 118,86              |
| 24A                           | Yanma Gazı     | 137,900             | 1,0190                       | 140,53            | 15,91          | 8048,49             |
| GT 101 Gaz Türbini            |                |                     |                              |                   |                |                     |
| $Z^{CI} = 85,46 \text{ \$}/h$ |                |                     | $Z^{OM} = 0,65 \text{ \$}/h$ |                   |                |                     |
| Akân No                       | Açıklama       | $\dot{m}$<br>(kg/s) | $e$<br>(MJ/kg)               | $\dot{E}$<br>(MW) | $c$<br>(\$/GJ) | $\dot{C}$<br>(\$/h) |
| 24A                           | Yanma Gazı     | 137,900             | 1,0190                       | 140,53            | 15,91          | 8048,49             |
| 24B                           | Yanma Gazı     | 137,900             | 0,298                        | 41,14             | 15,91          | 2356,19             |
| 209                           | Komp. Gücü     | -                   | -                            | 53,823            | 17,86          | 3461,38             |
| 210                           | Elek. Üretimi  | -                   | -                            | 39,509            | 17,86          | 2540,84             |
| AIK 101 Atık Isı Kazanı       |                |                     |                              |                   |                |                     |
| $Z^{CI} = 57,52 \text{ \$}/h$ |                |                     | $Z^{OM} = 8,50 \text{ \$}/h$ |                   |                |                     |
| Akân No                       | Açıklama       | $\dot{m}$<br>(kg/s) | $e$<br>(MJ/kg)               | $\dot{E}$<br>(MW) | $c$<br>(\$/GJ) | $\dot{C}$<br>(\$/h) |
| 24B                           | Yanma Gazı     | 137,900             | 0,298                        | 41,14             | 15,91          | 2356,19             |
| 24C                           | Yanma Gazı     | 137,900             | 0,0646                       | 8,92              | 15,91          | 510,87              |
| 36A                           | Su             | 20,830              | 0,5496                       | 11,45             | 0,00           | 0,00                |
| 52                            | YB Buhar       | 15,280              | 1,8023                       | 27,54             | 14,71          | 1458,11             |
| 55                            | AB Buhar       | 5,556               | 1,5406                       | 8,56              | 14,71          | 453,21              |
| 64A                           | Su             | 5,556               | 0,5323                       | 2,96              | 0,00           | 0,00                |
| 64B                           | Su             | 5,556               | 0,5197                       | 2,89              | 0,00           | 0,00                |

### 8.2.2 GTG 102 Gaz Türbin Grubuna Kirişkin Denklikler

GTG 102 gaz türbini grubunu oluşturan HK 102 hava kompresörü, YO 102 yanma odası GT 102 gaz türbini ve AIK 102 atık ısı kazanı için kurulan denklikler sırasıyla aşağıda verilmektedir.

- **HK 102 Hava Kompresörü Denklikleri**

**HK 102 Ana Maliyet Denkliği:**

$$\dot{C}_{14A} + \dot{C}_{211} + \dot{Z}_{HK102} = \dot{C}_{14B} \quad (8.37)$$

**HK 102 Açık Maliyet Denkliği:**

$$c_{14A} \cdot \dot{\bar{E}}_{14A} + c_{211} \cdot \dot{\bar{E}}_{211} + \dot{Z}_{HK102} = c_{14B} \cdot \dot{\bar{E}}_{14B} \quad (8.38)$$

**Yardımcı Denklikler (Çizelge 8.1 ve 8.2):**

$$\left. \begin{array}{l} c_{14A} = 0 \quad \dot{C}_{14A} = 0 \quad c_{211} = c_{212} = 17,78 \text{ \$ / GJ} \\ \dot{Z}_{HK102}^{CI} = 64,92 \text{ \$ / h} \quad \dot{Z}_{HK102}^{OM} = 0,49 \text{ \$ / h} \quad \dot{Z}_{HK102} = 65,41 \text{ \$ / h} \end{array} \right\} \quad (8.39)$$

Yukarıdaki denklikler kullanılarak Eşitlik (8.40) elde edilmiştir.

$$c_{14B} = \frac{c_{210} \cdot \dot{\bar{E}}_{210} + \dot{Z}_{HK102}}{\dot{\bar{E}}_{14B}} \quad (8.40)$$

Burada,  $c_{14B}$ , HK 102 hava kompresöründen elde edilen basınçlı havanın (akış 14B) (Şekil 6.1) birim ekserji maliyetini ifade etmektedir.

Hesaplamalarda kullanılan değerler ve  $c_{14B}$  için elde edilen değer Çizelge 8.9'da verilmektedir.

- **YO 102 Yanma Odası Denklikleri**

**YO 102 Ana Maliyet Denkliği:**

$$\dot{C}_7 + \dot{C}_{63} + \dot{C}_{14B} + \dot{Z}_{YO102} = \dot{C}_{25A} \quad (8.41)$$

**YO 102 Açık Maliyet Denkliği i:**

$$c_7 \cdot \dot{\varepsilon}_7 + c_{63} \cdot \dot{\varepsilon}_{63} + c_{14B} \cdot \dot{\varepsilon}_{14B} + \dot{Z}_{YO102} = c_{25A} \cdot \dot{\varepsilon}_{25A} \quad (8.42)$$

**Yardımcı Denklikler (Çizelge 8.1 ve 8.2):**

$$\left. \begin{array}{lll} c_7 = 8,49 \text{ \$ / GJ} & c_{14B} = 23,47 \text{ \$ / GJ} & c_{63} = 11,88 \text{ \$ / GJ} \\ \dot{Z}_{YO102}^{CI} = 27,12 \text{ \$ / h} & \dot{Z}_{YO102}^{OM} = 0,21 \text{ \$ / h} & \dot{Z}_{YO102} = 27,32 \text{ \$ / h} \end{array} \right\} \quad (8.43)$$

Yukarıdaki denklikler kullanılarak Ekitlik (8.44) elde edilmiştir.

$$c_{25A} = \frac{c_7 \cdot \dot{\varepsilon}_7 + c_{63} \cdot \dot{\varepsilon}_{63} + c_{14B} \cdot \dot{\varepsilon}_{14B} + \dot{Z}_{YO102}}{\dot{\varepsilon}_{25A}} \quad (8.44)$$

Burada,  $c_{25A}$ , YO 102'den çıkan yanma gazının (akın 25A) (şekil 6.1) birim ekserji maliyetini ifade etmektedir.

Hesaplamalarda kullanılan değerler ve  $c_{25A}$  için elde edilen değer Çizelge 8.9'da verilmektedir.

- GT 102 Gaz Türbini Denklikleri

**GT 102 Ana Maliyet Denkliği i:**

$$\dot{C}_{24A} + \dot{Z}_{GT102} = \dot{C}_{209} + \dot{C}_{210} + \dot{C}_{24B} \quad (8.45)$$

**GT 102 Açık Maliyet Denkliği i:**

$$c_{24A} \cdot \dot{\varepsilon}_{24A} + \dot{Z}_{GT102} = c_{209} \cdot \dot{\varepsilon}_{209} + c_{210} \cdot \dot{\varepsilon}_{210} + c_{24B} \cdot \dot{\varepsilon}_{24B} \quad (8.46)$$

**Yardımcı Denklikler:**

$$\left. \begin{array}{lll} c_{211} = c_{212} = 17,78 \text{ \$ / GJ} & c_{25A} = c_{25B} = 15,89 \text{ \$ / GJ} & \\ \dot{Z}_{GT102}^{CI} = 85,46 \text{ \$ / h} & \dot{Z}_{GT102}^{OM} = 0,65 \text{ \$ / h} & \dot{Z}_{GT102} = 86,11 \text{ \$ / h} \end{array} \right\} \quad (8.47)$$

Yukarıdaki denklemler kullanılarak Eşitlik (8.48) elde edilmiştir.

$$c_{211} = c_{212} = \frac{c_{25A} \cdot (\dot{\dot{E}}_{25B} - \dot{\dot{E}}_{25A}) + \dot{Z}_{GT102}}{(\dot{\dot{E}}_{211} + \dot{\dot{E}}_{212})} \quad (8.48)$$

Burada,  $c_{211} = c_{212}$  GT 102 gaz türbininden elde edilen birim güç (akım 211 ve 212) (Şekil 6.1) için ekserji maliyetini ifade etmektedir.

Hesaplamalarda kullanılan değerler,  $c_{211}$  ve  $c_{212}$  için elde edilen değer Çizelge 8.9'da verilmektedir.

- **AIK 102 Atık Isı Kazan Denklemleri**

**AIK 102 Ana Maliyet Denkliği:**

$$\dot{C}_{24B} + \dot{C}_{36A} + \dot{C}_{64A} + \dot{Z}_{AIK102} = \dot{C}_{24C} + \dot{C}_{52} + \dot{C}_{55} + \dot{C}_{64B} \quad (8.49)$$

**AIK 102 Açık Maliyet Denkliği:**

$$c_{24B} \cdot \dot{\dot{E}}_{24B} + c_{36A} \cdot \dot{\dot{E}}_{36A} + c_{64A} \cdot \dot{\dot{E}}_{64A} + \dot{Z}_{AIK102} = c_{24C} \cdot \dot{\dot{E}}_{24C} + c_{52} \cdot \dot{\dot{E}}_{52} + c_{55} \cdot \dot{\dot{E}}_{55} + c_{64B} \cdot \dot{\dot{E}}_{64B} \quad (8.50)$$

**Yardımcı Denklemler (Çizelge 8.1 ve 8.2):**

$$\left. \begin{aligned} c_{25A} = c_{25B} &= 15,89 \text{ \$ / GJ} & c_{36B} &= 0 & c_{65A} = c_{65B} &= 0 & c_{53} = c_{56} \\ \dot{Z}_{AIK102}^{CI} &= 57,52 \text{ \$ / h} & \dot{Z}_{AIK102}^{OM} &= 8,50 \text{ \$ / h} & \dot{Z}_{AIK102} &= 66,02 \text{ \$ / h} \end{aligned} \right\} \quad (8.51)$$

Yukarıdaki denklemler kullanılarak Eşitlik (8.52) elde edilmiştir.

$$c_{53} = c_{56} = \frac{c_{25B} \cdot \dot{\dot{E}}_{25B} + c_{36B} \cdot \dot{\dot{E}}_{36B} + \dot{Z}_{AIK102}}{\dot{\dot{E}}_{53} + \dot{\dot{E}}_{56}} \quad (8.52)$$

Burada,  $c_{53}$  ve  $c_{56}$ , AIK 102'den elde edilen kurgun buharın (akım 53 ve 56) (Şekil 6.1) birim ekserji maliyetini göstermektedir. Hesaplamalarda kullanılan değerler,  $c_{53}$  ve  $c_{56}$  için elde edilen değer Çizelge 8.9'da verilmektedir.

Çizelge 8.9 GTG 102 Gaz türbin grubu için termoekonomik analizden elde edilen değerler

| HK 102 Hava Kompresörü        |               |                  |                              |                |              |                   |
|-------------------------------|---------------|------------------|------------------------------|----------------|--------------|-------------------|
| $Z^{CI} = 64,92 \text{ \$}/h$ |               |                  | $Z^{OM} = 0,49 \text{ \$}/h$ |                |              |                   |
| Akân No                       | Açıklama      | $\dot{m}$ (kg/s) | $e$ (MJ/kg)                  | $\dot{E}$ (MW) | $c$ (\\$/GJ) | $\dot{C}$ (\\$/h) |
| 14A                           | Hava          | 132,300          | 0,0025                       | 0,330          | 0,00         | 0,00              |
| 14B                           | Hava          | 132,300          | 0,3308                       | 43,77          | 23,47        | 3698,53           |
| 211                           | Komp. Gücü    | -                | -                            | 53,823         | 17,87        | 3463,12           |
| YO 102 Yanma Odası            |               |                  |                              |                |              |                   |
| $Z^{CI} = 27,12 \text{ \$}/h$ |               |                  | $Z^{OM} = 0,21 \text{ \$}/h$ |                |              |                   |
| Akân No                       | Açıklama      | $\dot{m}$ (kg/s) | $e$ (MJ/kg)                  | $\dot{E}$ (MW) | $c$ (\\$/GJ) | $\dot{C}$ (\\$/h) |
| 14B                           | Hava          | 132,300          | 0,3308                       | 43,77          | 23,47        | 3698,53           |
| 7                             | Doğalgaz      | 2,927            | 46,4297                      | 135,90         | 8,49         | 4154,14           |
| 63                            | Buhar ıfj.    | 3,286            | 0,8521                       | 2,80           | 11,88        | 119,71            |
| 25A                           | Yanma Gazē    | 138,500          | 1,0190                       | 141,13         | 15,89        | 8070,66           |
| GT 102 Gaz Türbini            |               |                  |                              |                |              |                   |
| $Z^{CI} = 85,46 \text{ \$}/h$ |               |                  | $Z^{OM} = 0,65 \text{ \$}/h$ |                |              |                   |
| Akân No                       | Açıklama      | $\dot{m}$ (kg/s) | $e$ (MJ/kg)                  | $\dot{E}$ (MW) | $c$ (\\$/GJ) | $\dot{C}$ (\\$/h) |
| 25A                           | Yanma Gazē    | 138,500          | 1,0190                       | 141,13         | 15,89        | 8070,66           |
| 25B                           | Yanma Gazē    | 138,500          | 0,2983                       | 41,32          | 15,89        | 2362,93           |
| 211                           | Komp. Gücü    | -                | -                            | 53,823         | 17,87        | 3463,12           |
| 212                           | Elek. Üretimi | -                | -                            | 39,705         | 17,87        | 2554,73           |
| AIK 102 Atık Isı Kazanē       |               |                  |                              |                |              |                   |
| $Z^{CI} = 57,52 \text{ \$}/h$ |               |                  | $Z^{OM} = 8,50 \text{ \$}/h$ |                |              |                   |
| Akân No                       | Açıklama      | $\dot{m}$ (kg/s) | $e$ (MJ/kg)                  | $\dot{E}$ (MW) | $c$ (\\$/GJ) | $\dot{C}$ (\\$/h) |
| 25B                           | Yanma Gazē    | 138,500          | 0,2983                       | 41,32          | 15,89        | 2362,93           |
| 25C                           | Yanma Gazē    | 138,500          | 0,0653                       | 9,05           | 15,89        | 517,53            |
| 36B                           | Su            | 20,830           | 0,5496                       | 11,45          | 0,00         | 0,00              |
| 53                            | YB Buhar      | 15,280           | 1,8023                       | 27,54          | 14,71        | 1458,21           |
| 56                            | AB Buhar      | 5,556            | 1,5406                       | 8,56           | 14,71        | 453,24            |
| 65A                           | Su            | 5,560            | 0,5323                       | 2,96           | 0,00         | 0,00              |
| 65B                           | Su            | 5,560            | 0,5197                       | 2,89           | 0,00         | 0,00              |

### 8.3 BTG 101, 102, 103, 104, 105, 106, 107 ve 108 Buhar Türbin Gruplarına İlişkin Kurulan Denklikler

Bu bölümde, termoekonomik analiz çalışması sonucu buhar türbin grupları için oluşturulan maliyet denklikleri ve ilgili yardımcı denklikler verilmektedir.

#### 8.3.1 BTG 101 Buhar Türbin Grubuna İlişkin Denklikler

BTG 101 buhar türbin grubunu oluşturan BT 101 buhar türbini, TK 101 turbo körük ve YG 101 yoğulturucusu için kurulan denklikler sırasıyla aşağıda verilmektedir.

- BT 101 Buhar Türbini Denklikleri

##### BT 101 Ana Maliyet Denkliği:

$$\dot{C}_{43A} + \dot{Z}_{BT101} = \dot{C}_{201} + \dot{C}_{43B} \quad (8.53)$$

##### BT 101 Açık Maliyet Denkliği:

$$c_{43A} \cdot \dot{\bar{E}}_{43A} + \dot{Z}_{BT101} = c_{201} \cdot \dot{\bar{E}}_{201} + c_{43B} \cdot \dot{\bar{E}}_{43B} \quad (8.54)$$

##### Yardımcı Denklikler (Çizelge 8.1 ve 8.2):

$$\left. \begin{aligned} c_{43A} = c_{43B} &= 14,16 \text{ \$ / GJ} \\ \dot{Z}_{BT101}^{CI} &= 198,85 \text{ \$ / h} \quad \dot{Z}_{BT101}^{OM} = 2,49 \text{ \$ / h} \quad \dot{Z}_{BT101} = 201,34 \text{ \$ / h} \end{aligned} \right\} \quad (8.55)$$

Yukarıdaki denklikler kullanılarak Eşitlik (8.56) elde edilmiştir.

$$c_{201} = \frac{c_{43A} \cdot (\dot{\bar{E}}_{43A} - \dot{\bar{E}}_{43B}) + \dot{Z}_{BT101}}{\dot{\bar{E}}_{201}} \quad (8.56)$$

Burada,  $c_{201}$ , BT 101 buhar türbininden elde edilen birim güç (akım 201) (Şekil 6.1) için ekserji maliyetini ifade etmektedir.

Hesaplamalarda kullanılan değerler ve  $c_{201}$  için elde edilen değer Çizelge 8.10'da verilmektedir.

- **TK 101 Turbo Körük Denklikleri**

**TK 101 Ana Maliyet Denklii:**

$$\dot{C}_{15A} + \dot{C}_{201} + \dot{Z}_{TK102} = \dot{C}_{15B} \quad (8.57)$$

**TK 101 Açık Maliyet Denklii:**

$$c_{15A} \cdot \dot{\dot{E}}_{15A} + c_{202} \cdot \dot{\dot{E}}_{202} + \dot{Z}_{TK101} = c_{15B} \cdot \dot{\dot{E}}_{15B} \quad (8.58)$$

**Yardımcı Denklikler (Çizelge 8.1 ve 8.2):**

$$\left. \begin{aligned} c_{201} &= 24,79 \text{ \$ / GJ} & c_{15A} &= 0 & \dot{C}_{15A} &= 0 \\ \dot{Z}_{TK101}^{CI} &= 31,39 \text{ \$ / h} & \dot{Z}_{TK101}^{OM} &= 0,79 \text{ \$ / h} & \dot{Z}_{TK101} &= 32,17 \text{ \$ / h} \end{aligned} \right\} \quad (8.59)$$

Yukarıdaki denklikler kullanılarak Etkilik (8.60) elde edilmiştir.

$$c_{15B} = (c_{202} \cdot \dot{\dot{E}}_{202} + \dot{Z}_{TK101}) / \dot{\dot{E}}_{15B} \quad (8.60)$$

$c_{15B}$ , TK 101 turbo körüğünden elde edilen ve yüksek fırınlara gönderilen basınçlı havanın (akım 15B) (Şekil 6.1) birim ekserji maliyetini ifade etmektedir.

Hesaplamalarda kullanılan değerler ve  $c_{15B}$  için elde edilen değer Çizelge 8.10'da verilmektedir.

- **YG 101 Yoğurturucu Denklikleri**

**YG 101 Ana Maliyet Denklii:**

$$\dot{C}_{43B} + \dot{C}_{66A} + \dot{Z}_{YG101} = \dot{C}_{43C} + \dot{C}_{66B} \quad (8.61)$$

**YG 101 Açık Maliyet Denklii:**

$$c_{43B} \cdot \dot{\dot{E}}_{43B} + c_{66A} \cdot \dot{\dot{E}}_{66A} + \dot{Z}_{YG101} = c_{43C} \cdot \dot{\dot{E}}_{43C} + c_{66B} \cdot \dot{\dot{E}}_{66B} \quad (8.62)$$

**Yardımcı Denklikler (Çizelge 8.1 ve 8.2):**

$$\left. \begin{aligned} c_{66A} &= c_{66B} = 0 & c_{43A} &= c_{43B} = 14,16 \text{ \$ / GJ} \\ \dot{Z}_{YG101}^{CI} &= 7,53 \text{ \$ / h} & \dot{Z}_{YG101}^{OM} &= 0,26 \text{ \$ / h} & \dot{Z}_{YG101} &= 7,79 \text{ \$ / h} \end{aligned} \right\} \quad (8.63)$$



Yukarıdaki denklemler kullanılarak Etkilik (8.64) elde edilmiştir.

$$c_{43C} = \frac{c_{43B} \cdot \dot{E}_{43B} + c_{66A} \cdot \dot{E}_{66A} + \dot{Z}_{YG101} - c_{66B} \cdot \dot{E}_{66B}}{\dot{E}_{43C}} \quad (8.64)$$

Burada,  $c_{43C}$ , YG 101 yoğukturucusunda elde edilen yoğuktuk suyun (akām 43C) (şekil 6.1) birim ekserji maliyetini ifade etmektedir.

Hesaplamalarda kullanılan değerler ve  $c_{43C}$  için elde edilen değer Çizelge 8.10'da verilmektedir.

Çizelge 8.10 BTG 101 Buhar türbin grubu için termoekonomik analizden elde edilen değerler

| BT 101 Buhar Türbini           |              |                  |                              |                |              |                   |
|--------------------------------|--------------|------------------|------------------------------|----------------|--------------|-------------------|
| $Z^{CI} = 198,85 \text{ \$/h}$ |              |                  | $Z^{OM} = 2,49 \text{ \$/h}$ |                |              |                   |
| Akām No                        | Açıklama     | $\dot{m}$ (kg/s) | $e$ (MJ/kg)                  | $\dot{E}$ (MW) | $c$ (\\$/GJ) | $\dot{C}$ (\\$/h) |
| 43A                            | YB Buhar     | 18,09            | 1,733                        | 31,359         | 14,16        | 1598,56           |
| 43B                            | DB Buhar     | 18,090           | 0,6367                       | 11,518         | 14,16        | 587,14            |
| 201                            | T.Körük Gücü | -                | -                            | 13,592         | 24,79        | 1212,76           |
| TK 101 Turbo Körük             |              |                  |                              |                |              |                   |
| $Z^{CI} = 31,39 \text{ \$/h}$  |              |                  | $Z^{OM} = 0,79 \text{ \$/h}$ |                |              |                   |
| Akām No                        | Açıklama     | $\dot{m}$ (kg/s) | $e$ (MJ/kg)                  | $\dot{E}$ (MW) | $c$ (\\$/GJ) | $\dot{C}$ (\\$/h) |
| 15A                            | Hava         | 55,860           | 0,0025                       | 0,141          | 0,00         | 0,00              |
| 15B                            | Hava         | 55,860           | 0,1104                       | 6,166          | 56,08        | 1244,93           |
| 201                            | T.Körük Gücü | -                | -                            | 13,592         | 24,79        | 1212,76           |
| YG 101 Yoğukturucu             |              |                  |                              |                |              |                   |
| $Z^{CI} = 7,53 \text{ \$/h}$   |              |                  | $Z^{OM} = 0,26 \text{ \$/h}$ |                |              |                   |
| Akām No                        | Açıklama     | $\dot{m}$ (kg/s) | $e$ (MJ/kg)                  | $\dot{E}$ (MW) | $c$ (\\$/GJ) | $\dot{C}$ (\\$/h) |
| 43B                            | DB Buhar     | 18,090           | 0,6367                       | 11,518         | 14,16        | 587,14            |
| 43C                            | Su           | 18,090           | 0,5274                       | 9,542          | 17,32        | 594,93            |
| 66A                            | Tuzlu Su     | 1067,600         | 0,4587                       | 489,757        | 0,00         | 0,00              |
| 66B                            | Tuzlu Su     | 1067,600         | 0,4619                       | 493,174        | 0,00         | 0,00              |

### 8.3.2 BTG 102 Buhar Türbin Grubuna Kirişkin Denklikler

BTG 102 buhar türbin grubunu oluşturan BT 102 buhar türbini, TK 102 turbo körük ve YG 102 yoğ ukturucusu için kurulan denklikler sēasēyla aķađ ıda verilmektedir.

- BT 102 Buhar Türbini Denklikleri

**BT 102 Ana Maliyet Denkliğ i:**

$$\dot{C}_{44A} + \dot{Z}_{BT102} = \dot{C}_{202} + \dot{C}_{44B} \quad (8.65)$$

**BT 102 Aķđk Maliyet Denkliğ i:**

$$c_{44A} \cdot \dot{\dot{E}}_{44A} + \dot{Z}_{BT102} = c_{202} \cdot \dot{\dot{E}}_{202} + c_{44B} \cdot \dot{\dot{E}}_{44B} \quad (8.66)$$

**Yardāncē Denklikler (Çizelge 8.1 ve 8.2):**

$$\left. \begin{aligned} c_{44A} = c_{44B} &= 14,16 \text{ \$ / } GJ \\ \dot{Z}_{BT102}^{CI} &= 216,932 \text{ \$ / } h \quad \dot{Z}_{BT102}^{OM} = 2,712 \text{ \$ / } h \quad \dot{Z}_{BT102} = 219,644 \text{ \$ / } h \end{aligned} \right\} \quad (8.67)$$

Yukarıdaki denklikler kullanılarak Ekitlik (8.68) elde edilmiştir.

$$c_{202} = \frac{c_{44A} \cdot (\dot{\dot{E}}_{44A} - \dot{\dot{E}}_{44B}) + \dot{Z}_{BT102}}{\dot{\dot{E}}_{202}} \quad (8.68)$$

Burada,  $c_{202}$ , BT 102 buhar türbininden elde edilen birim güç (akēm 202) (ķekil 6.1) için ekserji maliyetini ifade etmektedir.

Hesaplamalarda kullanılan değ erler ve  $c_{202}$  için elde edilen değ er Çizelge 8.11’de verilmektedir.

- TK 102 Turbo Körük Denklikleri

**TK 102 Ana Maliyet Denkliğ i:**

$$\dot{C}_{16A} + \dot{C}_{202} + \dot{Z}_{TK102} = \dot{C}_{16B} \quad (8.69)$$

**TK 102 Açık Maliyet Denkliği i:**

$$c_{16A} \cdot \dot{\varepsilon}_{16A} + c_{202} \cdot \dot{\varepsilon}_{202} + \dot{Z}_{TK102} = c_{16B} \cdot \dot{\varepsilon}_{16B} \quad (8.70)$$

**Yardımcı Denklikler (Çizelge 8.1 ve 8.2):**

$$\left. \begin{aligned} c_{202} &= 26,56 \text{ \$ / } GJ & c_{16A} &= 0 & \dot{C}_{16A} &= 0 \\ \dot{Z}_{TK102}^{CI} &= 38,13 \text{ \$ / } h & \dot{Z}_{TK102}^{OM} &= 0,95 \text{ \$ / } h & \dot{Z}_{TK102} &= 39,08 \text{ \$ / } h \end{aligned} \right\} \quad (8.71)$$

Yukarıdaki denklikler kullanılarak Ekitlik (8.72) elde edilmiştir.

$$c_{16B} = \frac{c_{202} \cdot \dot{\varepsilon}_{202} + \dot{Z}_{TK102}}{\dot{\varepsilon}_{16B}} \quad (8.72)$$

Burada,  $c_{16B}$ , TK 102 turbo körüfünden elde edilen ve yüksek fırınlara gönderilen basınçlı havanın (akım 16B) (şekil 6.1) birim ekserji maliyetini ifade etmektedir.

Hesaplamalarda kullanılan değerler ve  $c_{16B}$  için elde edilen değer Çizelge 8.11'de verilmektedir.

- **YG 102 Yoğurturucu Denklikleri**

**YG 102 Ana Maliyet Denkliği i:**

$$\dot{C}_{44B} + \dot{C}_{67A} + \dot{Z}_{YG102} = \dot{C}_{44C} + \dot{C}_{67B} \quad (8.73)$$

**YG 102 Açık Maliyet Denkliği i:**

$$c_{44B} \cdot \dot{\varepsilon}_{44B} + c_{67A} \cdot \dot{\varepsilon}_{67A} + \dot{Z}_{YG102} = c_{44C} \cdot \dot{\varepsilon}_{44C} + c_{67B} \cdot \dot{\varepsilon}_{67B} \quad (8.74)$$

**Yardımcı Denklikler (Çizelge 8.1 ve 8.2):**

$$\left. \begin{aligned} c_{67A} &= c_{67B} = 0 & c_{44A} &= c_{44B} = 14,16 \text{ \$ / } GJ \\ \dot{Z}_{YG102}^{CI} &= 13,64 \text{ \$ / } h & \dot{Z}_{YG102}^{OM} &= 0,48 \text{ \$ / } h & \dot{Z}_{YG102} &= 14,12 \text{ \$ / } h \end{aligned} \right\} \quad (8.75)$$

Yukarıdaki denklikler kullanılarak Ekitlik (8.76) elde edilmiştir.

$$c_{44C} = \frac{c_{44B} \cdot \dot{E}_{44B} + c_{67A} \cdot \dot{E}_{67A} + \dot{Z}_{YG102} - c_{67B} \cdot \dot{E}_{67B}}{\dot{E}_{44C}} \quad (8.76)$$

Burada,  $c_{44C}$ , YG 102 yoğ ıkturucusunda elde edilen yoğ ıkmuk suyun (akēm 44C) (ķekil 6.1) birim ekserji maliyetini ifade etmektedir.

Hesaplamalarda kullanılan değ erler ve  $c_{44C}$  için elde edilen değ er Çizelge 8.11âde verilmektedir.

Çizelge 8.11 BTG 102 Buhar türbin grubu için termoekonomik analizden elde edilen değ erler

| BT 102 Buhar Türbini           |              |                  |                              |                |              |                   |
|--------------------------------|--------------|------------------|------------------------------|----------------|--------------|-------------------|
| $Z^{CI} = 216,93 \text{ \$/h}$ |              |                  | $Z^{OM} = 2,71 \text{ \$/h}$ |                |              |                   |
| Akēm No                        | Açđıklama    | $\dot{m}$ (kg/s) | $e$ (MJ/kg)                  | $\dot{E}$ (MW) | $c$ (\\$/GJ) | $\dot{C}$ (\\$/h) |
| 44A                            | YB Buhar     | 13,790           | 1,733                        | 23,905         | 14,16        | 1218,58           |
| 44B                            | DB Buhar     | 13,790           | 0,6367                       | 8,780          | 14,16        | 447,57            |
| 202                            | T.Körük Gücü | -                | -                            | 10,362         | 26,56        | 990,66            |
| TK 102 Turbo Körük             |              |                  |                              |                |              |                   |
| $Z^{CI} = 38,13 \text{ \$/h}$  |              |                  | $Z^{OM} = 0,95 \text{ \$/h}$ |                |              |                   |
| Akēm No                        | Açđıklama    | $\dot{m}$ (kg/s) | $e$ (MJ/kg)                  | $\dot{E}$ (MW) | $c$ (\\$/GJ) | $\dot{C}$ (\\$/h) |
| 16A                            | Hava         | 43,270           | 0,0025                       | 0,109          | 0,00         | 0,00              |
| 16B                            | Hava         | 43,270           | 0,1104                       | 4,776          | 59,89        | 1029,74           |
| 202                            | T.Körük Gücü | -                | -                            | 10,362         | 26,56        | 990,66            |
| YG 102 Yoğ ıkturucu            |              |                  |                              |                |              |                   |
| $Z^{CI} = 13,64 \text{ \$/h}$  |              |                  | $Z^{OM} = 0,48 \text{ \$/h}$ |                |              |                   |
| Akēm No                        | Açđıklama    | $\dot{m}$ (kg/s) | $e$ (MJ/kg)                  | $\dot{E}$ (MW) | $c$ (\\$/GJ) | $\dot{C}$ (\\$/h) |
| 44B                            | DB Buhar     | 13,790           | 0,6367                       | 8,780          | 14,16        | 447,57            |
| 44C                            | Su           | 13,790           | 0,5274                       | 7,274          | 17,63        | 461,67            |
| 67A                            | Tuzlu Su     | 813,900          | 0,4587                       | 373,373        | 0,00         | 0,00              |
| 67B                            | Tuzlu Su     | 813,900          | 0,4619                       | 375,978        | 0,00         | 0,00              |

### 8.3.3 BTG 103 Buhar Türbin Grubuna Kirişkin Denklikler

BTG 103 buhar türbin grubunu oluşturan BT 103 buhar türbini, TK 103 turbo körük ve YG 103 yoğ ukturucusu için kurulan denklikler sērasēyla aķađ ıda verilmektedir.

- **BT 103 Buhar Türbini Denklikleri**

**BT 103 Ana Maliyet Denkliğ i:**

$$\dot{C}_{46A} + \dot{Z}_{BT103} = \dot{C}_{204} + \dot{C}_{46B} \quad (8.77)$$

**BT 103 Aķđk Maliyet Denkliğ i:**

$$c_{46A} \cdot \dot{\dot{E}}_{46A} + \dot{Z}_{BT103} = c_{204} \cdot \dot{\dot{E}}_{204} + c_{46B} \cdot \dot{\dot{E}}_{46B} \quad (8.78)$$

**Yardāncē Denklikler (Çizelge 8.1 ve 8.2):**

$$\left. \begin{aligned} c_{46A} &= c_{46B} \\ \dot{Z}_{BT103}^{CI} &= 188,99 \text{ \$ / h} & \dot{Z}_{BT103}^{OM} &= 2,36 \text{ \$ / h} & \dot{Z}_{BT103} &= 191,36 \text{ \$ / h} \end{aligned} \right\} \quad (8.79)$$

Yukarıdaki denklikler kullanarak Ekitlik (8.80) elde edilmiştir.

$$c_{204} = \frac{c_{46A} \cdot (\dot{\dot{E}}_{46A} - \dot{\dot{E}}_{46B}) + \dot{Z}_{BT103}}{\dot{\dot{E}}_{204}} \quad (8.80)$$

Burada,  $c_{204}$ , BT 103 buhar türbininden elde edilen birim güç (akēm 204) (ķekil 6.1) için ekserji maliyetini ifade etmektedir.

BT 103 analiz tarihinde proses yedeğ i olduğ undan kapālēkonumdadā, hesaplama yapılmamāđ.

- **TK 103 Turbo Körük Denklikleri**

**TK 103 Ana Maliyet Denkliğ i:**

$$\dot{C}_{18A} + \dot{C}_{204} + \dot{Z}_{TK103} = \dot{C}_{18B} \quad (8.81)$$

**TK 103 Açık Maliyet Denkliği:**

$$c_{18A} \cdot \dot{\dot{E}}_{18A} + c_{204} \cdot \dot{\dot{E}}_{204} + \dot{Z}_{TK103} = c_{18B} \cdot \dot{\dot{E}}_{18B} \quad (8.82)$$

**Yardımcı Denklikler (Çizelge 8.1 ve 8.2):**

$$\left. \begin{aligned} c_{18A} &= 0 & \dot{C}_{18A} &= 0 \\ \dot{Z}_{TK103}^{CI} &= 37,14 \text{ \$ / h} & \dot{Z}_{TK103}^{OM} &= 0,93 \text{ \$ / h} & \dot{Z}_{TK103} &= 38,07 \text{ \$ / h} \end{aligned} \right\} \quad (8.83)$$

Yukarıdaki denklikler kullanılarak Ekitlik (8.84) elde edilmiştir.

$$c_{18B} = \frac{c_{204} \cdot \dot{\dot{E}}_{204} + \dot{Z}_{TK103}}{\dot{\dot{E}}_{18B}} \quad (8.84)$$

Burada,  $c_{18B}$ , TK 103 turbo körüfünden elde edilen ve yüksek basınçlara gönderilen basınçlı havanın birim ekserji maliyetini ifade etmektedir.

TK 103 analiz tarihinde proses yedeği olduğu undan kapalı konumdadır, hesaplama yapılmamıştır.

- **YG 103 Yoğurturucu Denklikleri**

**YG 103 Ana Maliyet Denkliği:**

$$\dot{C}_{44B} + \dot{C}_{67A} + \dot{Z}_{YG103} = \dot{C}_{44C} + \dot{C}_{67B} \quad (8.85)$$

**YG 103 Açık Maliyet Denkliği:**

$$c_{44B} \cdot \dot{\dot{E}}_{44B} + c_{67A} \cdot \dot{\dot{E}}_{67A} + \dot{Z}_{YG103} = c_{44C} \cdot \dot{\dot{E}}_{44C} + c_{67B} \cdot \dot{\dot{E}}_{67B} \quad (8.86)$$

**Yardımcı Denklikler (Çizelge 8.1 ve 8.2):**

$$\left. \begin{aligned} c_{69A} &= c_{69B} = 0 & c_{46A} &= c_{46B} \\ \dot{Z}_{YG103}^{CI} &= 6,00 \text{ \$ / h} & \dot{Z}_{YG103}^{OM} &= 0,21 \text{ \$ / h} & \dot{Z}_{YG103} &= 6,21 \text{ \$ / h} \end{aligned} \right\} \quad (8.87)$$

Yukarıdaki denklemler kullanılarak Eşitlik (8.88) elde edilmiştir.

$$c_{46C} = \frac{c_{46B} \cdot \dot{\bar{E}}_{46B} + c_{69A} \cdot \dot{\bar{E}}_{69A} + \dot{Z}_{YG103} - c_{69B} \cdot \dot{\bar{E}}_{69B}}{\dot{\bar{E}}_{46C}} \quad (8.88)$$

Burada,  $c_{46C}$ , YG 103 yoğurturucusunda elde edilen yoğurtmuk suyun (akam 46C) (şekil 6.1) birim ekserji maliyetini ifade etmektedir.

YG 103 analiz tarihinde proses yedeği olduğu undan kapalı konumdadır, hesaplama yapılmamıştır.

### 8.3.4 BTG 104 Buhar Türbin Grubuna İlişkin Denklemler

BTG 104 buhar türbin grubunu oluşturan BT 104 buhar türbini, TK 104 turbo körük ve YG 104 yoğurturucusu için kurulan denklemler sırasıyla aşağıda verilmektedir.

#### • BT 104 Buhar Türbini Denklemleri

##### BT 104 Ana Maliyet Denkliği:

$$\dot{C}_{45A} + \dot{Z}_{BT104} = \dot{C}_{203} + \dot{C}_{45B} \quad (8.89)$$

##### BT 104 Açık Maliyet Denkliği:

$$c_{45A} \cdot \dot{\bar{E}}_{45A} + \dot{Z}_{BT104} = c_{203} \cdot \dot{\bar{E}}_{203} + c_{45B} \cdot \dot{\bar{E}}_{45B} \quad (8.90)$$

##### Yardımcı Denklemler (Çizelge 8.1 ve 8.2):

$$\left. \begin{aligned} c_{45A} = c_{45B} &= 14,16 \text{ \$ / GJ} & c_{203} &= 19,72 \text{ \$ / GJ} \\ \dot{Z}_{BT104}^{CI} &= 283,30 \text{ \$ / h} & \dot{Z}_{BT104}^{OM} &= 3,54 \text{ \$ / h} & \dot{Z}_{BT104} &= 286,84 \text{ \$ / h} \end{aligned} \right\} \quad (8.91)$$

Yukarıdaki denklemler kullanılarak Eşitlik (8.92) elde edilmiştir.

$$c_{203} = \frac{c_{45A} \cdot (\dot{\bar{E}}_{45A} - \dot{\bar{E}}_{45B}) + \dot{Z}_{BT104}}{\dot{\bar{E}}_{203}} \quad (8.92)$$

Burada,  $c_{203}$ , BT 104 buhar türbininden elde edilen birim güç için (akēm 203) (şekil 6.1) ekserji maliyetini ifade etmektedir.

Hesaplamalarda kullanılan değ erler ve  $c_{203}$  için elde edilen değ er Çizelge 8.12'de verilmektedir.

- **TK 104 Turbo Körük Denklikleri**

**TK 104 Ana Maliyet Denkliğ i:**

$$\dot{C}_{17A} + \dot{C}_{203} + \dot{Z}_{TK104} = \dot{C}_{17B} \quad (8.93)$$

**TK 104 Açık Maliyet Denkliğ i:**

$$c_{17A} \cdot \dot{\Xi}_{17A} + c_{203} \cdot \dot{\Xi}_{203} + \dot{Z}_{TK104} = c_{17B} \cdot \dot{\Xi}_{17B} \quad (8.94)$$

**Yardımcı Denklikler (Çizelge 8.1 ve 8.2):**

$$\left. \begin{array}{lll} c_{203} = 19,78 \text{ \$ / } GJ & c_{17A} = 0 & \dot{C}_{17A} = 0 \\ \dot{Z}_{TK104}^{CI} = 30,40 \text{ \$ / } h & \dot{Z}_{TK104}^{OM} = 0,76 \text{ \$ / } h & \dot{Z}_{TK104} = 31,16 \text{ \$ / } h \end{array} \right\} \quad (8.95)$$

Yukarıdaki denklikler kullanarak Ekitlik (8.96) elde edilmektedir.

$$c_{17B} = \frac{c_{203} \cdot \dot{\Xi}_{203} + \dot{Z}_{TK104}}{\dot{\Xi}_{17B}} \quad (8.96)$$

Burada,  $c_{17B}$ , TK 104 turbo körüğ ünden elde edilen ve yüksek fır nlara gönderilen basınçlı havanın (akēm 17B) (şekil 6.1) birim ekserji maliyetini ifade etmektedir.

Hesaplamalarda kullanılan değ erler ve  $c_{17B}$  için elde edilen değ er Çizelge 8.12'de verilmektedir.

- **YG 104 Yoğ unturucu Denklikleri**

**YG 104 Ana Maliyet Denkliğ i:**

$$\dot{C}_{45B} + \dot{C}_{68A} + \dot{Z}_{YG104} = \dot{C}_{45C} + \dot{C}_{68B} \quad (8.97)$$



**YG 104 Açık Maliyet Denkliği:**

$$c_{45B} \cdot \dot{\bar{E}}_{45B} + c_{68A} \cdot \dot{\bar{E}}_{68A} + \dot{Z}_{YG104} = c_{45C} \cdot \dot{\bar{E}}_{45C} + c_{68B} \cdot \dot{\bar{E}}_{68B} \quad (8.98)$$

**Yardımcı Denklikler (Çizelge 8.1 ve 8.2):**

$$c_{68A} = c_{68B} = 0 \quad c_{45A} = c_{45B} = 14,16 \text{ \$ / GJ}$$

$$\dot{Z}_{YG104}^{CI} = 15,28 \text{ \$ / h} \quad \dot{Z}_{YG104}^{OM} = 0,54 \text{ \$ / h} \quad \dot{Z}_{YG104} = 15,82 \text{ \$ / h} \quad (8.99)$$

Yukarıdaki denklikler kullanılarak Ekitlik (8.100) elde edilmiştir.

$$c_{45C} = (c_{45B} \cdot \dot{\bar{E}}_{45B} + c_{68A} \cdot \dot{\bar{E}}_{68A} + \dot{Z}_{YG104} - c_{68B} \cdot \dot{\bar{E}}_{68B}) / \dot{\bar{E}}_{45C} \quad (8.100)$$

Burada,  $c_{45C}$ , YG 104 yoğ ıkturucusunda elde edilen yoğ ıkmuk suyun (akēm 45C) (şekil 6.1) birim ekserji maliyetini ifade etmektedir.

Hesaplamalarda kullanılan değ erler ve  $c_{45C}$  için elde edilen değ er Çizelge 8.12'de verilmektedir.

Çizelge 8.12 BTG 104 Buhar türbin grubu için termoekonomik analizden elde edilen değ erler

| BT 104 Buhar Türbini             |               |                  |                                |                      |              |                   |
|----------------------------------|---------------|------------------|--------------------------------|----------------------|--------------|-------------------|
| $Z^{CI} = 238,30 \text{ \$ / h}$ |               |                  | $Z^{OM} = 3,54 \text{ \$ / h}$ |                      |              |                   |
| Akēm No                          | Açıklama      | $\dot{m}$ (kg/s) | $e$ (MJ/kg)                    | $\dot{\bar{E}}$ (MW) | $c$ (\\$/GJ) | $\dot{C}$ (\\$/h) |
| 45A                              | YB Buhar      | 18,900           | 1,733                          | 32,763               | 14,16        | 1670,13           |
| 45B                              | DB Buhar      | 18,900           | 0,6268                         | 11,848               | 14,16        | 603,96            |
| 203                              | Elek. Üretimi | -                | -                              | 18,417               | 19,73        | 1307,99           |
| YG 104 Yoğ ıkturucu              |               |                  |                                |                      |              |                   |
| $Z^{CI} = 15,28 \text{ \$ / h}$  |               |                  | $Z^{OM} = 0,54 \text{ \$ / h}$ |                      |              |                   |
| Akēm No                          | Açıklama      | $\dot{m}$ (kg/s) | $e$ (MJ/kg)                    | $\dot{\bar{E}}$ (MW) | $c$ (\\$/GJ) | $\dot{C}$ (\\$/h) |
| 45B                              | DB Buhar      | 18,900           | 0,6268                         | 11,848               | 14,16        | 603,96            |
| 45C                              | Su            | 18,900           | 0,5274                         | 9,969                | 17,27        | 619,79            |
| 68A                              | Tuzlu Su      | 1169,500         | 0,4587                         | 536,503              | 0,00         | 0,00              |
| 68B                              | Tuzlu Su      | 1169,500         | 0,4619                         | 540,246              | 0,00         | 0,00              |

### 8.3.5 BTG 105 Buhar Türbin Grubuna İkin Denklikler

BTG 105 buhar türbin grubunu oluşturan BT 105 buhar türbini ve YG 105 yoğ ukturucusu için kurulan denklikler sērasēyla akāĵ āda verilmektedir.

- **BT 105 Buhar Türbini Denklikleri**

**BT 105 Ana Maliyet Denkliĵ i:**

$$\dot{C}_{47A} + \dot{Z}_{BT105} = \dot{C}_{205} + \dot{C}_{47B} + \dot{C}_{47C} \quad (8.101)$$

**BT 105 Aĉĉk Maliyet Denkliĵ i:**

$$c_{47A} \cdot \dot{\Xi}_{47A} + \dot{Z}_{BT105} = c_{205} \cdot \dot{\Xi}_{205} + c_{47B} \cdot \dot{\Xi}_{47B} + c_{47C} \cdot \dot{\Xi}_{47C} \quad (8.102)$$

**Yardāncē Denklikler (Çizelge 8.1 ve 8.2):**

$$\left. \begin{aligned} c_{47A} &= c_{47B} = c_{47C} \\ \dot{Z}_{BT105}^{CI} &= 205,43 \text{ \$ / h} & \dot{Z}_{BT105}^{OM} &= 2,57 \text{ \$ / h} & \dot{Z}_{BT105} &= 208,00 \text{ \$ / h} \end{aligned} \right\} \quad (8.103)$$

Yukarıdaki denklikler kullanılarak Ekitlik (8.104) elde edilmiştir.

$$c_{205} = \frac{c_{47A} \cdot (\dot{\Xi}_{47A} - \dot{\Xi}_{47B} - \dot{\Xi}_{47C}) + \dot{Z}_{BT105}}{\dot{\Xi}_{205}} \quad (8.104)$$

Burada,  $c_{205}$ , BT 105 buhar türbininden elde edilen birim güç (akēm 205) (ķekil 6.1) için ekserji maliyetini ifade etmektedir.

YG 105 analiz tarihinde proses yedeĵ i olduĵ undan kapālēkonumdadā, hesaplama yapılmamātır.

- **YG 105 Yoğ ukturucu Denklikleri**

YG 105 yoğ ukturucudan elde edilen yoğ ukmuk suyun birim ekserji maliyeti akāĵ ādaki denklikler kullanılarak hesaplanabilir:

**YG 105 Ana Maliyet Denkliğ i:**

$$\dot{C}_{47C} + \dot{C}_{70A} + \dot{Z}_{YG105} = \dot{C}_{47D} + \dot{C}_{70B} \quad (8.105)$$

**YG 105 Açık Maliyet Denkliğ i:**

$$c_{47C} \cdot \dot{\Xi}_{47C} + c_{70A} \cdot \dot{\Xi}_{70A} + \dot{Z}_{YG105} = c_{47D} \cdot \dot{\Xi}_{47D} + c_{70B} \cdot \dot{\Xi}_{70B} \quad (8.106)$$

**Yardımcı Denklikler (Çizelge 8.1 ve 8.2):**

$$\left. \begin{aligned} c_{70A} = c_{70B} = 0 \quad c_{47A} = c_{47B} = c_{47C} \\ \dot{Z}_{YG105}^{CI} = 205,43 \text{ \$ / h} \quad \dot{Z}_{YG105}^{OM} = 2,57 \text{ \$ / h} \quad \dot{Z}_{YG105} = 208,00 \text{ \$ / h} \end{aligned} \right\} \quad (8.107)$$

Yukarıdaki denklikler kullanılarak Ekitlik (8.108) elde edilmiştir.

$$c_{47D} = \frac{c_{47C} \cdot \dot{\Xi}_{47C} + c_{70A} \cdot \dot{\Xi}_{70A} + \dot{Z}_{YG105} - c_{70B} \cdot \dot{\Xi}_{70B}}{\dot{\Xi}_{47D}} \quad (8.108)$$

Burada,  $c_{47D}$ , YG 105 yoğ ukturucusunda elde edilen yoğ ukturucu suyun (akān 47D) (şekil 6.1) birim ekserji maliyetini ifade etmektedir.

YG 105 analiz tarihinde proses yedeğ i olduğ undan kapalı konumdadır, hesaplama yapılmamıştır.

**8.3.6 BTG 106 Buhar Türbin Grubuna Kirişkin Denklikler**

BTG 106 buhar türbin grubunu oluşturan BT 106 buhar türbini ve YG 106 yoğ ukturucusu için kurulan denklikler sırasıyla aşağıda verilmektedir.

- BT 106 Buhar Türbini Denklikleri**

**BT 106 Ana Maliyet Denkliğ i:**

$$\dot{C}_{48A} + \dot{Z}_{BT106} = \dot{C}_{206} + \dot{C}_{48B} + \dot{C}_{48C} \quad (8.109)$$

**BT 106 Açık Maliyet Denkliği:**

$$c_{48A} \cdot \dot{\dot{E}}_{48A} + \dot{Z}_{BT106} = c_{206} \cdot \dot{\dot{E}}_{206} + c_{48B} \cdot \dot{\dot{E}}_{48B} + c_{48} \cdot \dot{\dot{E}}_{48C} \quad (8.110)$$

**Yardımcı Denklikler (Çizelge 8.1 ve 8.2):**

$$\left. \begin{aligned} c_{48A} = c_{48B} = c_{48C} &= 14,16 \text{ \$ / GJ} \\ \dot{Z}_{YG106}^{CI} &= 205,43 \text{ \$ / h} \quad \dot{Z}_{YG106}^{OM} = 2,57 \text{ \$ / h} \quad \dot{Z}_{YG106} = 208,00 \text{ \$ / h} \end{aligned} \right\} \quad (8.111)$$

Yukarıdaki denklikler kullanılarak Ekitlik (8.112) elde edilmiştir.

$$c_{206} = \frac{c_{48A} \cdot (\dot{\dot{E}}_{48A} - \dot{\dot{E}}_{48B} - \dot{\dot{E}}_{48C}) + \dot{Z}_{BT106}}{\dot{\dot{E}}_{206}} \quad (8.112)$$

Burada,  $c_{206}$ , BT 106 buhar türbininden elde edilen birim güç için (akām 206) (şekil 6.1) ekserji maliyetini ifade etmektedir.

Hesaplamalarda kullanılan değerler ve  $c_{206}$  için elde edilen değer Çizelge 8.13'de verilmektedir.

- **YG 106 Yoğulturucu Denklikleri**

**YG 106 Ana Maliyet Denkliği:**

$$\dot{C}_{48C} + \dot{C}_{71A} + \dot{Z}_{YG106} = \dot{C}_{48D} + \dot{C}_{71B} \quad (8.113)$$

**YG 106 Açık Maliyet Denkliği:**

$$c_{48C} \cdot \dot{\dot{E}}_{48C} + c_{71A} \cdot \dot{\dot{E}}_{71A} + \dot{Z}_{YG106} = c_{48D} \cdot \dot{\dot{E}}_{48D} + c_{71B} \cdot \dot{\dot{E}}_{71B} \quad (8.114)$$

**Yardımcı Denklikler (Çizelge 8.1 ve 8.2):**

$$\left. \begin{aligned} c_{71A} = c_{71B} &= 0 \quad c_{48A} = c_{48B} = c_{48C} = 14,16 \text{ \$ / GJ} \\ \dot{Z}_{YG106}^{CI} &= 12,33 \text{ \$ / h} \quad \dot{Z}_{YG106}^{OM} = 0,43 \text{ \$ / h} \quad \dot{Z}_{YG106} = 12,76 \text{ \$ / h} \end{aligned} \right\} \quad (8.115)$$

Yukarıdaki denklikler kullanılarak Ekitlik (8.116) elde edilmiştir.

$$c_{48D} = \frac{c_{48C} \cdot \dot{E}_{48C} + c_{71A} \cdot \dot{E}_{71A} + \dot{Z}_{YG106} - c_{71B} \cdot \dot{E}_{71B}}{\dot{E}_{48D}} \quad (8.116)$$

Burada,  $c_{48D}$ , YG 106 yoğukturucusunda elde edilen yoğuktuk suyun (akēm 48D) (şekil 6.1) birim ekserji maliyetini ifade etmektedir.

Hesaplamalarda kullanılan değ erler ve  $c_{48D}$  için elde edilen değ er Çizelge 8.13'de verilmektedir.

Çizelge 8.13 BTG 106 Buhar türbin grubu için termoeekonomik analizden elde edilen değ erler

| BT 106 Ara Kademeli Buhar Türbini |               |                  |             |                              |             |                  |
|-----------------------------------|---------------|------------------|-------------|------------------------------|-------------|------------------|
| $Z^{CI} = 205,43 \text{ \$}/h$    |               |                  |             | $Z^{OM} = 2,57 \text{ \$}/h$ |             |                  |
| Akēm No                           | Açıklama      | $\dot{m}$ (kg/s) | $e$ (MJ/kg) | $\dot{E}$ (MW)               | $c$ (\$/GJ) | $\dot{C}$ (\$/h) |
| 48A                               | YB Buhar      | 10,280           | 1,7334      | 17,820                       | 14,16       | 908,39           |
| 48B                               | OB Buhar      | 5,551            | 1,5110      | 8,388                        | 14,16       | 427,59           |
| 48C                               | DB Buhar      | 4,730            | 0,6374      | 3,015                        | 14,16       | 153,69           |
| 206                               | Elek. Üretimi | -                | -           | 4,357                        | 34,12       | 535,10           |
| YG 106 Yoğukturucu                |               |                  |             |                              |             |                  |
| $Z^{CI} = 12,33 \text{ \$}/h$     |               |                  |             | $Z^{OM} = 0,43 \text{ \$}/h$ |             |                  |
| Akēm No                           | Açıklama      | $\dot{m}$ (kg/s) | $e$ (MJ/kg) | $\dot{E}$ (MW)               | $c$ (\$/GJ) | $\dot{C}$ (\$/h) |
| 48C                               | DB Buhar      | 4,730            | 0,6374      | 3,015                        | 14,16       | 153,69           |
| 48D                               | Su            | 4,730            | 0,5274      | 2,495                        | 18,53       | 166,45           |
| 71A                               | Tuzlu Su      | 325,000          | 0,4587      | 149,092                      | 0,00        | 0,00             |
| 71B                               | Tuzlu Su      | 325,000          | 0,4619      | 150,133                      | 0,00        | 0,00             |

### 8.3.7 BTG 107 Buhar Türbin Grubuna İlişkin Denklikler

BTG 107 buhar türbin grubunu oluşturan BT 107 buhar türbini ve YG 107 yoğukturucusu için kurulan denklikler sırasıyla aşağı da verilmektedir.

- **BT 107 Buhar Türbinine Kurulan Denklikler**

**BT 107 Ana Maliyet Denklii:**

$$\dot{C}_{49A} + \dot{Z}_{BT107} = \dot{C}_{207} + \dot{C}_{49B} + \dot{C}_{49C} \quad (8.117)$$

**BT 107 Açık Maliyet Denklii:**

$$c_{49A} \cdot \dot{\varepsilon}_{49A} + \dot{Z}_{BT107} = c_{207} \cdot \dot{\varepsilon}_{207} + c_{49B} \cdot \dot{\varepsilon}_{49B} + c_{49C} \cdot \dot{\varepsilon}_{49C} \quad (8.118)$$

**Yardımcı Denklikler (Çizelge 8.1 ve 8.2):**

$$\left. \begin{aligned} c_{49A} = c_{49B} = c_{49C} &= 14,16 \text{ \$ / GJ} \\ \dot{Z}_{BT107}^{CI} &= 241,58 \text{ \$ / h} \quad \dot{Z}_{BT107}^{OM} = 3,02 \text{ \$ / h} \quad \dot{Z}_{BT107} = 244,60 \text{ \$ / h} \end{aligned} \right\} \quad (8.119)$$

Yukarıdaki denklikler kullanılarak Ekitlik (8.120) elde edilmiştir.

$$c_{207} = \frac{c_{49A} \cdot (\dot{\varepsilon}_{49A} - \dot{\varepsilon}_{49B} - \dot{\varepsilon}_{49C}) + \dot{Z}_{BT107}}{\dot{\varepsilon}_{207}} \quad (8.120)$$

Burada,  $c_{207}$ , BT 107 buhar türbininden elde edilen birim güç için (akām 207) (şekil 6.1) ekserji maliyetini ifade etmektedir.

Hesaplamalarda kullanılan değ erler ve  $c_{207}$  için elde edilen değ er Çizelge 8.14’de verilmektedir.

- **YG 107 Yoğ ukturucu Denklikleri**

**YG 107 Ana Maliyet Denklii:**

$$\dot{C}_{49C} + \dot{C}_{72A} + \dot{Z}_{YG107} = \dot{C}_{49D} + \dot{C}_{72B} \quad (8.121)$$

**YG 107 Açık Maliyet Denklii:**

$$c_{49C} \cdot \dot{\varepsilon}_{49C} + c_{72A} \cdot \dot{\varepsilon}_{72A} + \dot{Z}_{YG107} = c_{49D} \cdot \dot{\varepsilon}_{49D} + c_{72B} \cdot \dot{\varepsilon}_{72B} \quad (8.122)$$

**Yardımcı Denklikler (Çizelge 8.1 ve 8.2):**

$$\left. \begin{aligned}
c_{72A} = c_{72B} = 0 \quad c_{49A} = c_{49B} = c_{49C} = 14,16 \text{ \$/GJ} \\
\dot{Z}_{YG107}^{CI} = 23,83 \text{ \$/h} \quad \dot{Z}_{YG107}^{OM} = 0,83 \text{ \$/h} \quad \dot{Z}_{YG107} = 24,66 \text{ \$/h}
\end{aligned} \right\} \quad (8.123)$$

Yukarıdaki denklemler kullanılarak Eşitlik (8.124) elde edilmiştir.

$$c_{49D} = \frac{c_{49C} \cdot \dot{E}_{49C} + c_{72A} \cdot \dot{E}_{72A} + \dot{Z}_{YG107} - c_{72B} \cdot \dot{E}_{72B}}{\dot{E}_{49D}} \quad (8.124)$$

Burada,  $c_{49D}$ , YG 107 yoğurturucusunda elde edilen yoğurtuk suyun (akân 49D) (Şekil 6.1) birim ekserji maliyetini ifade etmektedir.

Hesaplamalarda kullanılan değerler ve  $c_{49D}$  için elde edilen değer Çizelge 8.14'de verilmektedir.

Çizelge 8.14 BTG 107 Buhar türbin grubu için termoekonomik analizden elde edilen değerler

| BT 107 Ara Kademeli Buhar Türbini |               |                  |                             |                |              |                   |
|-----------------------------------|---------------|------------------|-----------------------------|----------------|--------------|-------------------|
| $Z^{CI}=241,58 \text{ \$/h}$      |               |                  | $Z^{OM}= 3,02 \text{ \$/h}$ |                |              |                   |
| Akân No                           | Açıklama      | $\dot{m}$ (kg/s) | $e$ (MJ/kg)                 | $\dot{E}$ (MW) | $c$ (\\$/GJ) | $\dot{C}$ (\\$/h) |
| 49A                               | YB Buhar      | 41,940           | 1,7334                      | 72,703         | 14,16        | 3706,11           |
| 49B                               | OB Buhar      | 32,460           | 1,5110                      | 49,048         | 14,16        | 2500,27           |
| 49C                               | DB Buhar      | 9,478            | 0,6216                      | 5,892          | 14,16        | 300,35            |
| 207                               | Elek. Üretimi | -                | -                           | 13,798         | 18,23        | 905,49            |
| YG 107 Yoğurturucu                |               |                  |                             |                |              |                   |
| $Z^{CI}= 23,83 \text{ \$/h}$      |               |                  | $Z^{OM}=0,83 \text{ \$/h}$  |                |              |                   |
| Akân No                           | Açıklama      | $\dot{m}$ (kg/s) | $e$ (MJ/kg)                 | $\dot{E}$ (MW) | $c$ (\\$/GJ) | $\dot{C}$ (\\$/h) |
| 49C                               | DB Buhar      | 9,478            | 0,6216                      | 5,892          | 14,16        | 300,35            |
| 49D                               | Su            | 9,478            | 0,5274                      | 4,999          | 18,06        | 325,02            |
| 72A                               | Tuzlu Su      | 559,100          | 0,4587                      | 256,485        | 0,00         | 0,00              |
| 72B                               | Tuzlu Su      | 559,100          | 0,4619                      | 258,274        | 0,00         | 0,00              |

### 8.3.8 BTG 108 Buhar Türbin Grubuna Kirişkin Denklikler

BTG 108 buhar türbin grubunu oluşturan BT 108 buhar türbini ve YG 108 yoğ ukturucusu için kurulan denklikler sērasēyla akāĵ āda verilmektedir.

- **BT 108 Buhar Türbini Denklikleri**

**BT 108 Ana Maliyet Denkliĵ i:**

$$\dot{C}_{50A} + \dot{Z}_{BT108} = \dot{C}_{208} + \dot{C}_{50B} \quad (8.125)$$

**BT 108 Aĉĉk Maliyet Denkliĵ i:**

$$c_{50A} \cdot \dot{\dot{E}}_{50A} + \dot{Z}_{BT108} = c_{208} \cdot \dot{\dot{E}}_{208} + c_{50B} \cdot \dot{\dot{E}}_{50B} \quad (8.126)$$

**Yardāncē Denklikler (Çizelge 8.1 ve 8.2):**

$$\left. \begin{aligned} c_{50A} = c_{50B} &= 14,16 \text{ \$ / } GJ \\ \dot{Z}_{BT108}^{CI} &= 249,80 \text{ \$ / } h & \dot{Z}_{BT108}^{OM} &= 3,12 \text{ \$ / } h & \dot{Z}_{BT108} &= 252,92 \text{ \$ / } h \end{aligned} \right\} \quad (8.127)$$

Yukarıdaki denklikler kullanılarak Ekitlik (8.128) elde edilmiştir.

$$c_{208} = \frac{c_{50A} \cdot (\dot{\dot{E}}_{50A} - \dot{\dot{E}}_{50B}) + \dot{Z}_{BT108}}{\dot{\dot{E}}_{208}} \quad (8.128)$$

Burada,  $c_{208}$ , BT 108 buhar türbininden elde edilen birim güç için (akēm 208) (ķekil 6.1) ekserji maliyetini ifade etmektedir.

Hesaplamalarda kullanılan deĵ erler ve  $c_{208}$  için elde edilen deĵ er Çizelge 8.15âde verilmektedir.

- **YG 108 Yoğ ukturucu Denklikleri**

**YG 108 Ana Maliyet Denkliĵ i:**

$$\dot{C}_{50B} + \dot{C}_{73A} + \dot{Z}_{YG108} = \dot{C}_{50C} + \dot{C}_{73B} \quad (8.129)$$



**YG 108 Açık Maliyet Denkli i:**

$$c_{50B} \cdot \dot{\bar{E}}_{50B} + c_{73A} \cdot \dot{\bar{E}}_{73A} + \dot{Z}_{YG108} = c_{50C} \cdot \dot{\bar{E}}_{50C} + c_{73B} \cdot \dot{\bar{E}}_{73B} \quad (8.130)$$

**Yardımcı Denklikler (Çizelge 8.1 ve 8.2):**

$$\left. \begin{aligned} c_{73A} = c_{73B} = 0 \quad c_{50A} = c_{50B} = 14,16 \text{ \$ / GJ} \\ \dot{Z}_{YG108}^{CI} = 40,26 \text{ \$ / h} \quad \dot{Z}_{YG108}^{OM} = 1,41 \text{ \$ / h} \quad \dot{Z}_{YG108} = 41,67 \text{ \$ / h} \end{aligned} \right\} \quad (8.131)$$

Yukarıdaki denklikler kullanılarak Ekitlik (8.132) elde edilmiştir.

$$c_{50C} = \left( c_{50B} \cdot \dot{\bar{E}}_{50B} + c_{73A} \cdot \dot{\bar{E}}_{73A} + \dot{Z}_{YG108} - c_{73B} \cdot \dot{\bar{E}}_{73B} \right) / \dot{\bar{E}}_{50C} \quad (8.132)$$

Burada,  $c_{50C}$ , YG 108 yoğ ıkturucusunda elde edilen yoğ ıkmuk suyun (akēm 50C) (şekil 6.1) birim ekserji maliyetini ifade etmektedir.

Hesaplamalarda kullanılan değ erler ve  $c_{50C}$  için elde edilen değ er Çizelge 8.15'de verilmektedir.

Çizelge 8.15 BTG 108 Buhar türbin grubu için termoekonomik analizden elde edilen değ erler

| BT 108 Buhar Türbini           |               |                  |                              |                      |              |                   |
|--------------------------------|---------------|------------------|------------------------------|----------------------|--------------|-------------------|
| $Z^{CI}=249,80 \text{ \$ / h}$ |               |                  | $Z^{OM}=3,12 \text{ \$ / h}$ |                      |              |                   |
| Akēm No                        | Açıklama      | $\dot{m}$ (kg/s) | $e$ (MJ/kg)                  | $\dot{\bar{E}}$ (MW) | $c$ (\\$/GJ) | $\dot{C}$ (\\$/h) |
| 50A                            | YB Buhar      | 33,610           | 1,7334                       | 58,263               | 14,16        | 2970,02           |
| 50B                            | DB Buhar      | 33,610           | 0,6216                       | 20,893               | 14,16        | 1065,04           |
| 208                            | Elek. Üretimi | -                | -                            | 32,871               | 18,29        | 2163,77           |
| YG 108 Yoğ ıkturucu            |               |                  |                              |                      |              |                   |
| $Z^{CI}=40,26 \text{ \$ / h}$  |               |                  | $Z^{OM}=1,41 \text{ \$ / h}$ |                      |              |                   |
| Akēm No                        | Açıklama      | $\dot{m}$ (kg/s) | $e$ (MJ/kg)                  | $\dot{\bar{E}}$ (MW) | $c$ (\\$/GJ) | $\dot{C}$ (\\$/h) |
| 50B                            | DB Buhar      | 33,610           | 0,6216                       | 20,893               | 14,16        | 1065,04           |
| 50C                            | Su            | 33,610           | 0,5275                       | 17,729               | 17,34        | 1106,72           |
| 73A                            | Tuzlu Su      | 2041,100         | 0,4587                       | 936,346              | 0,00         | 0,00              |
| 73B                            | Tuzlu Su      | 2041,100         | 0,4619                       | 942,879              | 0,00         | 0,00              |

#### 8.4 P 101 Pompasēna K̄ıkkın Kurulan Denklikler

P 101 pompasēiçin kurulan denklikler s̄rasēyla akaġ âda verilmektedir.

##### P 101 Ana Maliyet Denkliġ i:

$$\dot{C}_{54A} + \dot{C}_{213} + \dot{Z}_{P101} = \dot{C}_{54B} \quad (8.133)$$

##### P 101 Aĉġk Maliyet Denkliġ i:

$$c_{54A} \cdot \dot{\dot{E}}_{54A} + c_{213} \cdot \dot{\dot{E}}_{213} + \dot{Z}_{P101} = c_{54B} \cdot \dot{\dot{E}}_{54B} \quad (8.134)$$

##### Yardāncē Denklikler (Çizelge 8.1 ve 8.2):

$$\left. \begin{aligned} c_{54A} &= \frac{\dot{C}_{43C} + \dot{C}_{44C} + \dot{C}_{45C} + \dot{C}_{46C} + \dot{C}_{47D} + \dot{C}_{48D} + \dot{C}_{49D} + \dot{C}_{50C}}{\dot{\dot{E}}_{43C} + \dot{\dot{E}}_{44C} + \dot{\dot{E}}_{45C} + \dot{\dot{E}}_{46C} + \dot{\dot{E}}_{47D} + \dot{\dot{E}}_{48D} + \dot{\dot{E}}_{49D} + \dot{\dot{E}}_{50C}} = 16,84 \text{ \$ / GJ} \\ c_{213} &= 11,73 \text{ \$ / GJ} \quad \dot{Z}_{P101}^{CI} = 0,04 \text{ \$ / h} \quad \dot{Z}_{P101}^{OM} = 0,01 \text{ \$ / h} \quad \dot{Z}_{P101} = 0,05 \text{ \$ / h} \end{aligned} \right\} \quad (8.135)$$

Yukarādaki denklikler kullanāarak Ekitlik (8.136) elde edilmiġtir.

$$c_{54B} = (c_{54A} \cdot \dot{\dot{E}}_{54A} + c_{213} \cdot \dot{\dot{E}}_{213} + \dot{Z}_{P101}) / \dot{\dot{E}}_{54B} \quad (8.136)$$

Burada,  $c_{54B}$ , P101 pompasēndan elde edilen basēnçlē suyun (akām 54B) (ķekil 6.1) birim ekserji maliyetini ifade etmektedir.

Hesaplamalarda kullanāan deġ erler ve  $c_{54B}$  için elde edilen deġ er Çizelge 8.16âda verilmektedir.

Çizelge 8.16 P 101 Pompa için termoeekonomik analizden elde edilen deġ erler

| P 101 Pompa                    |            |                  |                                |                      |              |                   |
|--------------------------------|------------|------------------|--------------------------------|----------------------|--------------|-------------------|
| $Z^{CI} = 0,04 \text{ \$ / h}$ |            |                  | $Z^{OM} = 0,01 \text{ \$ / h}$ |                      |              |                   |
| Akām No                        | Aĉġklama   | $\dot{m}$ (kg/s) | $e$ (MJ/kg)                    | $\dot{\dot{E}}$ (MW) | $c$ (\\$/GJ) | $\dot{C}$ (\\$/h) |
| 54A                            | Kondens Su | 89,44            | 0,0046                         | 0,412                | 16,84        | 24,97             |
| 54B                            | Kondens Su | 89,44            | 0,0047                         | 0,426                | 16,92        | 25,95             |
| 213                            | Pompa Gücü | -                | -                              | 0,022                | 11,73        | 0,93              |

### 8.5 P 102 Pompasına Kiri Kurulan Denklikler

P 102 pompası için kurulan denklikler sırasıyla aşağıda verilmektedir.

#### P 102 Ana Maliyet Denkliği:

$$\dot{C}_{29A} + \dot{C}_{214} + \dot{Z}_{P102} = \dot{C}_{29B} \quad (8.137)$$

#### P 102 Açık Maliyet Denkliği:

$$c_{29A} \cdot \dot{\Sigma}_{29A} + c_{214} \cdot \dot{\Sigma}_{214} + \dot{Z}_{P102} = c_{29B} \cdot \dot{\Sigma}_{29B} \quad (8.138)$$

#### Yardımcı Denklikler (Çizelge 8.1 ve 8.2):

$$\left. \begin{aligned} c_{29A} &= 43,12 \text{ \$ / GJ} & c_{214} &= 11,73 \text{ \$ / GJ} \\ \dot{Z}_{P102}^{CI} &= 0,89 \text{ \$ / h} & \dot{Z}_{P102}^{OM} &= 0,02 \text{ \$ / h} & \dot{Z}_{P102} &= 0,91 \text{ \$ / h} \end{aligned} \right\} \quad (8.139)$$

Yukarıdaki denklikler kullanılarak Etkilik (8.140) elde edilmiştir.

$$c_{29B} = \frac{c_{29A} \cdot \dot{\Sigma}_{29A} + c_{214} \cdot \dot{\Sigma}_{214} + \dot{Z}_{P102}}{\dot{\Sigma}_{29B}} \quad (8.140)$$

Burada,  $c_{29B}$ , P102 pompasından elde edilen basınçlı suyun (akın 29B) (Şekil 6.1) birim ekserji maliyetini ifade etmektedir.

Hesaplamalarda kullanılan değerler ve  $c_{29B}$  için elde edilen değer Çizelge 8.17'de verilmektedir.

Çizelge 8.17 P 102 Pompa için termoekonomik analizden elde edilen değerler

| P 102 Pompa                    |             |                  |                                |                     |              |                   |
|--------------------------------|-------------|------------------|--------------------------------|---------------------|--------------|-------------------|
| $Z^{CI} = 0,89 \text{ \$ / h}$ |             |                  | $Z^{OM} = 0,02 \text{ \$ / h}$ |                     |              |                   |
| Akân No                        | Açıklama    | $\dot{m}$ (kg/s) | $e$ (MJ/kg)                    | $\dot{\Sigma}$ (MW) | $c$ (\\$/GJ) | $\dot{C}$ (\\$/h) |
| 29A                            | Deare Su    | 106,94           | 0,0515                         | 5,508               | 43,12        | 855,08            |
| 29B                            | Basınçlı Su | 106,94           | 0,0573                         | 6,134               | 40,37        | 891,36            |
| 214                            | Pompa Gücü  | -                | -                              | 0,838               | 11,73        | 35,37             |

### 8.6 P 103 Pompasēna Kūkin Kurulan Denklikler

P 103 pompasēiçin kurulan denklikler sērasēyla akāĵ āda verilmektedir.

#### P 103 Ana Maliyet Denklī i:

$$\dot{C}_{28A} + \dot{C}_{215} + \dot{Z}_{P103} = \dot{C}_{28B} \quad (8.141)$$

#### P 103 AçıĀ Maliyet Denklī i:

$$c_{28A} \cdot \dot{\Xi}_{28A} + c_{215} \cdot \dot{\Xi}_{215} + \dot{Z}_{P103} = c_{28B} \cdot \dot{\Xi}_{28B} \quad (8.142)$$

#### Yardāncē Denklikler (Çizelge 8.1 ve 8.2):

$$\left. \begin{array}{lll} c_{28A} = 80,34 \text{ \$ / GJ} & c_{215} = 11,73 \text{ \$ / GJ} & \\ \dot{Z}_{P103}^{CI} = 0,03 \text{ \$ / h} & \dot{Z}_{P103}^{OM} = 0,01 \text{ \$ / h} & \dot{Z}_{P103} = 0,03 \text{ \$ / h} \end{array} \right\} \quad (8.143)$$

Yukarıdaki denklikler kullanılarak Ekitlik (8.144) elde edilmiştir.

$$c_{28B} = \frac{c_{28A} \cdot \dot{\Xi}_{28A} + c_{215} \cdot \dot{\Xi}_{215} + \dot{Z}_{P103}}{\dot{\Xi}_{28B}} \quad (8.144)$$

Burada,  $c_{28B}$ , P103 pompasēndan elde edilen basānçlē suyun (akān 28B) (ķekil 6.1) birim ekserji maliyetini ifade etmektedir.

Hesaplamalarda kullanılan deĵ erler ve  $c_{28B}$  için elde edilen deĵ er Çizelge 8.18âde verilmektedir.

Çizelge 8.18 P 103 Pompa için termoekonomik analizden elde edilen deĵ erler

| P 103 Pompa                   |             |                  |                              |                  |              |                   |
|-------------------------------|-------------|------------------|------------------------------|------------------|--------------|-------------------|
| $Z^{CI}=0,026 \text{ \$ / h}$ |             |                  | $Z^{OM}=0,01 \text{ \$ / h}$ |                  |              |                   |
| Akān No                       | AçıĀklama   | $\dot{m}$ (kg/s) | $e$ (MJ/kg)                  | $\dot{\Xi}$ (MW) | $c$ (\\$/GJ) | $\dot{C}$ (\\$/h) |
| 28A                           | Deare Su    | 5,77             | 0,0223                       | 0,1289           | 80,34        | 37,31             |
| 28B                           | Basānçlē Su | 5,77             | 0,0225                       | 0,1302           | 79,81        | 37,41             |
| 215                           | Pompa Gücü  | -                | -                            | 0,0017           | 11,73        | 0,07              |

### 8.7 P 104 Pompasına İlişkin Kurulan Denklikler

P 104 pompası için kurulan denklikler sırasıyla aşağıda verilmektedir.

#### P 104 Ana Maliyet Denkliği:

$$\dot{C}_{35} + \dot{C}_{216} + \dot{Z}_{P104} = \dot{C}_{36} \quad (8.145)$$

#### P 104 Açık Maliyet Denkliği:

$$c_{35A} \cdot \dot{\Sigma}_{35} + c_{216} \cdot \dot{\Sigma}_{216} + \dot{Z}_{P104} = c_{36} \cdot \dot{\Sigma}_{36} \quad (8.146)$$

#### Yardımcı Denklikler (Çizelge 8.1 ve 8.2):

$$\left. \begin{aligned} c_{35} &= 80,34 \text{ \$ / GJ} & c_{216} &= 11,73 \text{ \$ / GJ} \\ \dot{Z}_{P104}^{CI} &= 0,04 \text{ \$ / h} & \dot{Z}_{P104}^{OM} &= 0,01 \text{ \$ / h} & \dot{Z}_{P104} &= 0,05 \text{ \$ / h} \end{aligned} \right\} \quad (8.147)$$

Yukarıdaki denklikler kullanılarak Eşitlik (8.148) elde edilmiştir.

$$c_{36} = \frac{c_{35} \cdot \dot{\Sigma}_{35} + c_{216} \cdot \dot{\Sigma}_{216} + \dot{Z}_{P104}}{\dot{\Sigma}_{36}} \quad (8.148)$$

Burada,  $c_{36}$ , P104 pompasından elde edilen basınçlı suyun (akın 36) (Şekil 6.1) birim ekserji maliyetini ifade etmektedir.

Hesaplamalarda kullanılan değerler ve  $c_{36}$  için elde edilen değer Çizelge 8.19'da verilmektedir.

Çizelge 8.19 P 104 Pompa için termoekonomik analizden elde edilen değerler

| P 104 Pompa                    |            |                  |                                |                     |              |                   |
|--------------------------------|------------|------------------|--------------------------------|---------------------|--------------|-------------------|
| $Z^{CI} = 0,04 \text{ \$ / h}$ |            |                  | $Z^{OM} = 0,01 \text{ \$ / h}$ |                     |              |                   |
| Akın No                        | Açıklama   | $\dot{m}$ (kg/s) | $e$ (MJ/kg)                    | $\dot{\Sigma}$ (MW) | $c$ (\\$/GJ) | $\dot{C}$ (\\$/h) |
| 35                             | Sıcak Su   | 41,67            | 0,02234                        | 0,9312              | 80,34        | 269,33            |
| 36                             | Sıcak Su   | 41,67            | 0,02239                        | 0,9331              | 80,22        | 269,49            |
| 216                            | Pompa Gücü | -                | -                              | 0,0027              | 11,73        | 0,11              |

### 8.8 HV 101 Havalandırıcısına Kurulan Denklikler

HV 101 havalandırıcısı için kurulan denklikler aşağıda verilmektedir.

#### HV 101 Ana Maliyet Denkliği:

$$\dot{C}_{28B} + \dot{C}_{54} + \dot{C}_{59} + \dot{Z}_{HV101} = \dot{C}_{29A} \quad (8.149)$$

#### HV 101 Açık Maliyet Denkliği:

$$c_{28B} \cdot \dot{\Sigma}_{28B} + c_{54B} \cdot \dot{\Sigma}_{54B} + c_{59} \cdot \dot{\Sigma}_{59} + \dot{Z}_{HV101} = c_{29A} \cdot \dot{\Sigma}_{29A} \quad (8.150)$$

#### Yardımcı Denklikler (Çizelge 8.1 ve 8.2):

$$\left. \begin{array}{lll} c_{28B} = 79,81 \text{ \$ / GJ} & c_{54B} = 16,92 \text{ \$ / GJ} & c_{59B} = 31,13 \text{ \$ / GJ} \\ \dot{Z}_{HV101}^{CI} = 36,98 \text{ \$ / h} & \dot{Z}_{HV101}^{OM} = 0,92 \text{ \$ / h} & \dot{Z}_{HV101} = 37,89 \text{ \$ / h} \end{array} \right\} \quad (8.151)$$

Yukarıdaki denklikler kullanılarak Etkilik (8.152) elde edilmiştir.

$$c_{29A} = (c_{28B} \cdot \dot{\Sigma}_{28B} + c_{54B} \cdot \dot{\Sigma}_{54B} + c_{59} \cdot \dot{\Sigma}_{59} + \dot{Z}_{HV101}) / \dot{\Sigma}_{29A} \quad (8.152)$$

Burada,  $c_{29A}$ , HV 101 havalandırıcısından elde edilen havalandırılmak suyun (akân 29A) (Şekil 6.1) birim ekserji maliyetini ifade etmektedir.

Hesaplamalarda kullanılan değerler ve  $c_{29A}$  için elde edilen değer Çizelge 8.20'de verilmektedir.

Çizelge 8.20 HV 101 Havalandırıcısı için termoekonomik analizden elde edilen değerler

| HV 101 Havalandırıcı          |             |                  |                               |                     |              |                   |
|-------------------------------|-------------|------------------|-------------------------------|---------------------|--------------|-------------------|
| $Z^{CI}=36,98 \text{ \$ / h}$ |             |                  | $Z^{OM}= 0,92 \text{ \$ / h}$ |                     |              |                   |
| Akân No                       | Açıklama    | $\dot{m}$ (kg/s) | $e$ (MJ/kg)                   | $\dot{\Sigma}$ (MW) | $c$ (\\$/GJ) | $\dot{C}$ (\\$/h) |
| 54B                           | Kondens Su  | 89,44            | 0,0047                        | 0,426               | 16,92        | 25,95             |
| 59                            | DB Buhar    | 12,50            | 0,6631                        | 8,289               | 31,13        | 928,84            |
| 28B                           | Basınçlı Su | 5,77             | 0,0225                        | 0,1302              | 79,81        | 37,41             |
| 29A                           | Deare Su    | 106,94           | 0,0515                        | 5,508               | 43,12        | 855,08            |
| 29V                           | Uzak. Buhar | 2,76             | 0,5659                        | 1,562               | 31,13        | 175,03            |

### 8.9 IS 101 Isıtma Sistemine Kurulan Denklikler

IS 101 ısıtma sistemi için kurulan denklikler sırasıyla aşağıda verilmektedir.

#### IS 101 Ana Maliyet Denkliği i:

$$\dot{C}_{27} + \dot{C}_{60} + \dot{Z}_{IS101} = \dot{C}_{28A} + \dot{C}_{35} \quad (8.153)$$

#### IS 101 Açık Maliyet Denkliği i:

$$c_{27} \cdot \dot{\Sigma}_{27} + c_{60} \cdot \dot{\Sigma}_{60} + \dot{Z}_{HV101} = c_{28A} \cdot \dot{\Sigma}_{28A} + c_{35} \cdot \dot{\Sigma}_{35} \quad (8.154)$$

#### Yardımcı Denklikler (Çizelge 8.1 ve 8.2):

$$\left. \begin{aligned} c_{27} &= 0 & c_{28A} &= c_{35} = 80,34 \text{ \$ / GJ} & c_{60} &= 31,13 \text{ \$ / GJ} \\ \dot{Z}_{IS101}^{CI} &= 22,19 \text{ \$ / h} & \dot{Z}_{YG101}^{OM} &= 0,56 \text{ \$ / h} & \dot{Z}_{YG101} &= 22,74 \text{ \$ / h} \end{aligned} \right\} \quad (8.155)$$

Yukarıdaki denklikler kullanılarak Eşitlik (8.156) elde edilmiştir.

$$c_{28A} = c_{35} = \left( c_{27} \cdot \dot{\Sigma}_{27} + c_{60} \cdot \dot{\Sigma}_{60} + \dot{Z}_{HV101} \right) / \left( \dot{\Sigma}_{28A} + \dot{\Sigma}_{35} \right) \quad (8.156)$$

Burada,  $c_{28A}$  ve  $c_{35}$ , IS 101'den çıkan sıcak su akışları (akış 28A ve 35) (Şekil 6.1) birim ekserji maliyetlerini ifade etmektedir.

Hesaplamalarda kullanılan değerler,  $c_{28A}$  ve  $c_{35}$  için elde edilen değer Çizelge 8.21'de verilmektedir.

Çizelge 8.21 IS 101 Isıtma sistemi için termoekonomik analizden elde edilen değerler

| IS 101 Isıtma Sistemi         |          |                     |                              |                        |                |                     |
|-------------------------------|----------|---------------------|------------------------------|------------------------|----------------|---------------------|
| $Z^{CI}=22,19 \text{ \$ / h}$ |          |                     | $Z^{OM}=0,56 \text{ \$ / h}$ |                        |                |                     |
| Akış No                       | Açıklama | $\dot{m}$<br>(kg/s) | $e$<br>(MJ/kg)               | $\dot{\Sigma}$<br>(MW) | $c$<br>(\$/GJ) | $\dot{C}$<br>(\$/h) |
| 27                            | Su       | 43,61               | 0,000                        | 0,000                  | 0,00           | 0,00                |
| 60                            | DB Buhar | 3,82                | 0,663                        | 2,533                  | 31,13          | 283,84              |
| 28A                           | Sıcak Su | 5,77                | 0,022                        | 0,129                  | 80,34          | 37,31               |
| 35                            | Sıcak Su | 41,67               | 0,022                        | 0,931                  | 80,34          | 269,27              |

### 8.10 BDI 101 ve 103 Basınç Dükürme İstasyonlarına Kurulan Denklikler

BDI 101 ve 103 basınç dükürme istasyonları kurulan denklikler sırasıyla aşağıda verilmektedir.

#### 8.10.1 BDI 101 Basınç Dükürme İstasyonuna Kurulan Denklikler

##### BDI 101 Ana Maliyet Denkliği i:

$$\dot{C}_{42A} + \dot{C}_{42B} + \dot{Z}_{BDI101} = \dot{C}_{42C} \quad (8.157)$$

##### BDI 101 Açık Maliyet Denkliği i:

$$c_{42A} \cdot \dot{\Xi}_{42A} + c_{42B} \cdot \dot{\Xi}_{42B} + \dot{Z}_{BDI101} = c_{42C} \cdot \dot{\Xi}_{42C} \quad (8.158)$$

##### Yardımcı Denklikler (Çizelge 8.1 ve 8.2):

$$\left. \begin{aligned} c_{42A} &= \frac{\dot{C}_{37} + \dot{C}_{38} + \dot{C}_{39} + \dot{C}_{40} + \dot{C}_{41} + \dot{C}_{52} + \dot{C}_{53}}{\dot{\Xi}_{37} + \dot{\Xi}_{38} + \dot{\Xi}_{39} + \dot{\Xi}_{40} + \dot{\Xi}_{41} + \dot{\Xi}_{52} + \dot{\Xi}_{53}} = 14,16 \text{ \$ / GJ} \\ \dot{Z}_{BDI101}^{CI} &= 1,23 \text{ \$ / h} \quad \dot{Z}_{BDI101}^{OM} = 0,03 \text{ \$ / h} \quad \dot{Z}_{BDI101} = 1,26 \text{ \$ / h} \end{aligned} \right\} \quad (8.159)$$

Yukarıdaki denklikler kullanılarak Ekitlik (8.160) elde edilmiştir.

$$c_{42C} = (c_{42A} \cdot \dot{\Xi}_{42A} + c_{42B} \cdot \dot{\Xi}_{42B} + \dot{Z}_{BDI101}) / \dot{\Xi}_{42C} \quad (8.160)$$

Burada,  $c_{42C}$ , BDI 101'den çıkan basınç ayarlı buharın (akân 42C) (Şekil 6.1) birim ekserji maliyeti elde edilir. Hesaplamalarda kullanılan değerler ve  $c_{42C}$  için elde edilen değer Çizelge 8.22'de verilmektedir.

Çizelge 8.22 BDİ101 Basınç dükürme istasyonu için termoekonomik analizden elde edilen değerler

| BDİ101 Basınç Dükürme İstasyonu |             |                  |                                |                  |              |                   |
|---------------------------------|-------------|------------------|--------------------------------|------------------|--------------|-------------------|
| $Z^{CI} = 1,23 \text{ \$ / h}$  |             |                  | $Z^{OM} = 0,03 \text{ \$ / h}$ |                  |              |                   |
| Akân No                         | Açıklama    | $\dot{m}$ (kg/s) | $e$ (MJ/kg)                    | $\dot{\Xi}$ (MW) | $c$ (\\$/GJ) | $\dot{C}$ (\\$/h) |
| 42A                             | YB Buhar    | 0,9200           | 1,2620                         | 1,161            | 14,16        | 59,18             |
| 42B                             | OB Buhar    | 0,9898           | 1,0042                         | 0,994            | 16,89        | 60,45             |
| 42C                             | Basınçlı Su | 0,0698           | 0,0573                         | 0,004            | 0,00         | 0,00              |



### 8.10.2 BDI 103 Basēç Dükürme İstasyonuna İrtikin Denklikler

#### BDI 103 Ana Maliyet Denklî i:

$$\dot{C}_{42A} + \dot{C}_{42B} + \dot{Z}_{BDI103} = \dot{C}_{42C} \quad (8.161)$$

#### BDI 103 Açēk Maliyet Denklî i:

$$c_{42A} \cdot \dot{\dot{E}}_{42A} + c_{42B} \cdot \dot{\dot{E}}_{42B} + \dot{Z}_{BDI103} = c_{42C} \cdot \dot{\dot{E}}_{42C} \quad (8.162)$$

#### Yardāncē Denklikler (Çizelge 8.1 ve 8.2):

$$c_{58A} = \frac{\dot{C}_{42B} + \dot{C}_{47B} + \dot{C}_{48B} + \dot{C}_{49B} + \dot{C}_{51B} + \dot{C}_{55} + \dot{C}_{56}}{\dot{\dot{E}}_{42B} + \dot{\dot{E}}_{47B} + \dot{\dot{E}}_{48B} + \dot{\dot{E}}_{49B} + \dot{\dot{E}}_{51B} + \dot{\dot{E}}_{55} + \dot{\dot{E}}_{56}} = 18,18 \text{ \$ / GJ}$$

$$\dot{Z}_{BDI103}^{CI} = 1,23 \text{ \$ / h} \quad \dot{Z}_{BDI103}^{OM} = 0,03 \text{ \$ / h} \quad \dot{Z}_{BDI103} = 1,26 \text{ \$ / h} \quad (8.163)$$

Yukarıdaki denklikler kullanılarak Eritlik (8.164) elde edilmiştir.

$$c_{58C} = \frac{c_{58A} \cdot \dot{\dot{E}}_{58A} + c_{58B} \cdot \dot{\dot{E}}_{58B} + \dot{Z}_{BDI102}}{\dot{\dot{E}}_{58C}} \quad (8.164)$$

Burada,  $c_{58C}$ , BDI 103den çıkan basēncē ayarlē buharē (akēn 58C) (şekil 6.1) birim ekserji maliyeti elde edilir:

Hesaplamalarda kullanılan değ erler ve  $c_{58C}$  için elde edilen değ er Çizelge 8.23de verilmektedir.

Çizelge 8.23 BDİ103 Basēç dükürme istasyonu için termoekonomik analizden elde edilen değ erler

| BDİ103 Basēç Dükürme İstasyonu |             |                  |                                |                      |              |                   |
|--------------------------------|-------------|------------------|--------------------------------|----------------------|--------------|-------------------|
| $Z^{CI} = 1,23 \text{ \$ / h}$ |             |                  | $Z^{OM} = 0,03 \text{ \$ / h}$ |                      |              |                   |
| Akēn No                        | Açēklama    | $\dot{m}$ (kg/s) | $e$ (MJ/kg)                    | $\dot{\dot{E}}$ (MW) | $c$ (\\$/GJ) | $\dot{C}$ (\\$/h) |
| 58A                            | OB Buhar    | 16,320           | 1,190                          | 19,428               | 18,18        | 1271,59           |
| 58B                            | DB Buhar    | 17,1300          | 0,6631                         | 11,359               | 31,13        | 1272,89           |
| 58C                            | Basēnçlē Su | 0,8121           | 0,0517                         | 0,042                | 0,00         | 0,00              |

### 8.11 45 ve 14 Bar Ana Buhar Takviye Hatlarına Kurulan Denklikler

45 ve 14 bar ana buhar takviye hatları için kurulan denklikler aşağıda gösterilmektedir.

#### 8.11.1 45 Bar Ana Buhar Takviye Hattına Kurulan Denklikler

##### ABH45 Ana Maliyet Denkliği:

$$\dot{C}_{37} + \dot{C}_{38} + \dot{C}_{39} + \dot{C}_{40} + \dot{C}_{41} + \dot{C}_{52} + \dot{C}_{55} + \dot{Z}_{ABH45} = \dot{C}_{42A} + \dot{C}_{43A} + \dot{C}_{44A} + \dot{C}_{45A} + \dot{C}_{46A} + \dot{C}_{47A} + \dot{C}_{48A} + \dot{C}_{49A} + \dot{C}_{50A} + \dot{C}_{51A} \quad (8.165)$$

##### ABH45 Açık Maliyet Denkliği:

$$\begin{aligned} c_{37} \cdot \dot{\varepsilon}_{37} + c_{38} \cdot \dot{\varepsilon}_{38} + c_{39} \cdot \dot{\varepsilon}_{39} + c_{40} \cdot \dot{\varepsilon}_{40} \\ + c_{41} \cdot \dot{\varepsilon}_{41} + c_{52} \cdot \dot{\varepsilon}_{52} + c_{55} \cdot \dot{\varepsilon}_{55} + \dot{Z}_{BDI101} = c_{42A} \cdot \dot{\varepsilon}_{42A} \\ + c_{43A} \cdot \dot{\varepsilon}_{43A} + c_{44A} \cdot \dot{\varepsilon}_{44A} + c_{45A} \cdot \dot{\varepsilon}_{45A} + c_{46A} \cdot \dot{\varepsilon}_{46A} + c_{47A} \cdot \dot{\varepsilon}_{47A} \\ + c_{48A} \cdot \dot{\varepsilon}_{48A} + c_{49A} \cdot \dot{\varepsilon}_{49A} + c_{50A} \cdot \dot{\varepsilon}_{50A} + c_{51A} \cdot \dot{\varepsilon}_{51A} \end{aligned} \quad (8.166)$$

##### Yardımcı Denklikler (Çizelge 8.1 ve 8.2):

$$\left. \begin{aligned} c_{37} &= 14,33 \text{ \$ / GJ} & c_{38} &= 18,73 \text{ \$ / GJ} & c_{39} &= 11,88 \text{ \$ / GJ} & c_{40} &= 13,61 \text{ \$ / GJ} \\ c_{41} &= 12,73 \text{ \$ / GJ} & c_{52} &= 14,71 \text{ \$ / GJ} & c_{53} &= 14,71 \text{ \$ / GJ} \\ c_{ABH45} &= c_{43A} = c_{44A} = c_{45A} = c_{46A} = c_{47A} = c_{48A} = c_{49A} = c_{50A} = c_{51A} \\ \dot{Z}_{ABH45}^{CI} &= 4,36 \text{ \$ / h} & \dot{Z}_{ABH45}^{OM} &= 0,11 \text{ \$ / h} & \dot{Z}_{ABH45} &= 4,46 \text{ \$ / h} \end{aligned} \right\} \quad (8.167)$$

Yukarıdaki denklikler kullanılarak Etkilik (8.168) elde edilmiştir.

$$c_{ABH45} = \frac{c_{37} \cdot \dot{\varepsilon}_{37} + c_{38} \cdot \dot{\varepsilon}_{38} + c_{39} \cdot \dot{\varepsilon}_{39} + c_{40} \cdot \dot{\varepsilon}_{40} + c_{41} \cdot \dot{\varepsilon}_{41} + c_{52} \cdot \dot{\varepsilon}_{52} + c_{55} \cdot \dot{\varepsilon}_{55} + \dot{Z}_{ABH45}}{\dot{\varepsilon}_{42A} + \dot{\varepsilon}_{43A} + \dot{\varepsilon}_{44A} + \dot{\varepsilon}_{45A} + \dot{\varepsilon}_{46A} + \dot{\varepsilon}_{47A} + \dot{\varepsilon}_{48A} + \dot{\varepsilon}_{49A} + \dot{\varepsilon}_{50A} + \dot{\varepsilon}_{51A}} \quad (8.168)$$

Burada,  $c_{ABH45}$ , 45 bar ana buhar takviye hattından çekilen közgân buharın (şekil 6.1) birim ekserji maliyetini ifade etmektedir. Hesaplamalarda kullanılan değerler ve  $c_{ABH45}$  için elde edilen değer Çizelge 8.24'de verilmektedir.

Çizelge 8.24 45 bar Ana buhar takyıcē hattē için termoeconomik analizden elde edilen değ erler

| 45 Bar Ana Buhar Takyıcē Hattē |          |                     |                            |                   |                |                     |
|--------------------------------|----------|---------------------|----------------------------|-------------------|----------------|---------------------|
| $Z^{CI}=4,36 \text{ \$}/h$     |          |                     | $Z^{OM}=0,33 \text{ \$}/h$ |                   |                |                     |
| Akēm No                        | Açāklama | $\dot{m}$<br>(kg/s) | $e$<br>(MJ/kg)             | $\dot{E}$<br>(MW) | $c$<br>(\$/GJ) | $\dot{C}$<br>(\$/h) |
| 37                             | YB Buhar | 16,12               | 1,739                      | 28,039            | 14,33          | 1446,83             |
| 38                             | YB Buhar | 13,89               | 1,739                      | 24,161            | 18,73          | 1629,43             |
| 39                             | YB Buhar | 23,62               | 1,739                      | 41,085            | 11,88          | 1756,52             |
| 40                             | YB Buhar | 23,06               | 1,739                      | 40,111            | 13,607         | 1964,81             |
| 41                             | YB Buhar | 30,28               | 1,739                      | 52,670            | 12,73          | 2412,77             |
| 52                             | YB Buhar | 15,28               | 1,802                      | 27,540            | 14,71          | 1458,11             |
| 53                             | YB Buhar | 15,28               | 1,802                      | 27,540            | 14,71          | 1458,21             |
| 42A                            | YB Buhar | 0,92                | 1,262                      | 1,161             | 14,16          | 59,18               |
| 43A                            | YB Buhar | 18,09               | 1,733                      | 31,359            | 14,16          | 1598,56             |
| 44A                            | YB Buhar | 13,79               | 1,733                      | 23,905            | 14,16          | 1218,58             |
| 45A                            | YB Buhar | 18,90               | 1,733                      | 32,763            | 14,16          | 1670,13             |
| 48A                            | YB Buhar | 10,28               | 1,733                      | 17,820            | 14,16          | 908,39              |
| 49A                            | YB Buhar | 41,94               | 1,733                      | 72,703            | 14,16          | 3706,11             |
| 50A                            | YB Buhar | 33,61               | 1,733                      | 58,263            | 14,16          | 2970,02             |

## 8.11.2 14 Bar Ana Buhar Takyıcē Hattēna Kırkin Denklikler

**ABH14 Ana Maliyet Denklī i:**

$$\dot{C}_{42B} + \dot{C}_{47B} + \dot{C}_{48B} + \dot{C}_{49B} + \dot{C}_{51B} + \dot{C}_{55} + \dot{C}_{56} + \dot{Z}_{ABH14} = \dot{C}_{57A} + \dot{C}_{58A} + \dot{C}_{61} \quad (8.169)$$

**ABH14 Açāk Maliyet Denklī i:**

$$\begin{aligned} c_{42B} \cdot \dot{E}_{42B} + c_{47B} \cdot \dot{E}_{47B} + c_{48B} \cdot \dot{E}_{48B} + c_{49B} \cdot \dot{E}_{49B} + c_{51B} \cdot \dot{E}_{51B} \\ + \dot{Z}_{ABH14} = c_{57A} \cdot \dot{E}_{57A} + c_{58A} \cdot \dot{E}_{58A} + c_{55} \cdot \dot{E}_{55} + c_{56} \cdot \dot{E}_{56} + c_{61} \cdot \dot{E}_{61} \end{aligned} \quad (8.170)$$

**Yardımcı Denklikler:**

$$\begin{aligned}
c_{42B} &= 16,89 \text{ \$ / GJ} & c_{47B} = c_{48B} = c_{49B} &= 14,16 \text{ \$ / GJ} \\
c_{55} = c_{56} &= 14,71 \text{ \$ / GJ} & c_{ABH14} = c_{57A} = c_{58A} = c_{61} & \\
\dot{Z}_{ABH14}^{CI} &= 4,27 \text{ \$ / h} & \dot{Z}_{ABH14}^{OM} &= 0,11 \text{ \$ / h} & \dot{Z}_{ABH14} &= 4,38 \text{ \$ / h}
\end{aligned} \tag{8.171}$$

Yukarıdaki denklikler kullanılarak Ekitlik (8.172) elde edilmiştir.

$$c_{ABH14} = \frac{c_{42B} \cdot \dot{\varepsilon}_{42B} + c_{47B} \cdot \dot{\varepsilon}_{47B} + c_{48B} \cdot \dot{\varepsilon}_{48B} + c_{49B} \cdot \dot{\varepsilon}_{49B} + c_{51B} \cdot \dot{\varepsilon}_{51B} + \dot{Z}_{ABH14}}{\dot{\varepsilon}_{55} + \dot{\varepsilon}_{56} + \dot{\varepsilon}_{57A} + \dot{\varepsilon}_{58A} + \dot{\varepsilon}_{61}} \tag{8.172}$$

Burada,  $c_{ABH14}$ , 14 bar ana buhar takyıcēhattēndan çekilen kēzgān buharēn birim ekserji maliyetini ifade etmektedir. Hesaplamalarda kullanılan değ erler ve  $c_{ABH14}$  için elde edilen değ er Çizelge 8.25'de verilmektedir.

Çizelge 8.25 14 bar Ana buhar takyıcēhattēiçin termoekonomik analizden elde edilen değ erler

| 14 Bar Ana Buhar TakyıcēHattē |          |                  |                            |                          |              |                   |
|-------------------------------|----------|------------------|----------------------------|--------------------------|--------------|-------------------|
| $Z^{CI}=4,27 \text{ \$/h}$    |          |                  | $Z^{OM}=0,11 \text{ \$/h}$ |                          |              |                   |
| Akām No                       | Açēklama | $\dot{m}$ (kg/s) | $e$ (MJ/kg)                | $\dot{\varepsilon}$ (MW) | $c$ (\\$/GJ) | $\dot{C}$ (\\$/h) |
| 42B                           | OB Buhar | 0,989            | 1,0042                     | 0,994                    | 16,89        | 60,45             |
| 48B                           | OB Buhar | 5,551            | 1,5110                     | 8,388                    | 14,16        | 427,59            |
| 49B                           | OB Buhar | 32,460           | 1,5110                     | 49,048                   | 14,16        | 2500,27           |
| 55                            | AB Buhar | 5,556            | 1,5406                     | 8,560                    | 14,71        | 453,21            |
| 56                            | AB Buhar | 5,556            | 1,5406                     | 8,560                    | 14,71        | 453,24            |
| 58A                           | OB Buhar | 16,320           | 1,1900                     | 19,428                   | 18,18        | 1271,59           |
| 61                            | OB Buhar | 33,723           | 1,1900                     | 40,146                   | 18,18        | 2627,62           |

Ekserji analizinden elde edilen sonuçlar ekserji maliyetlendirmesine tabi tutulmuş ve aşağı daki sonuçlar elde edilmiştir. Yapılan termoekonomik değ erlendirmeler sonucu;

- BK 101, 102, 103, 104 ve 105 nolu buhar kazanlarında 45 bar ve 443°C'de sērasēyla saatte 58, 50, 86, 83 ve 103 ton buhar üretilmiştir. Elde edilen kēzgān buharēn ortalama birim ekserji

maliyeti; BK 101 için 14,33 \$/GJ, BK 102 için 18,87 \$/GJ, BK 103 için 11,88 \$/GJ, BK 104 için 13,61 \$/h ve BK 105 için 12,73 \$/GJ olarak bulunmuş, her bir kazan için toplam ekserji maliyeti ise, sırasıyla, 1446,88 \$/h, 1629,43 \$/h, 1756,82 \$/h, 1964,82 \$/h, ve 2412,77 \$/h olarak hesaplanmıştır.

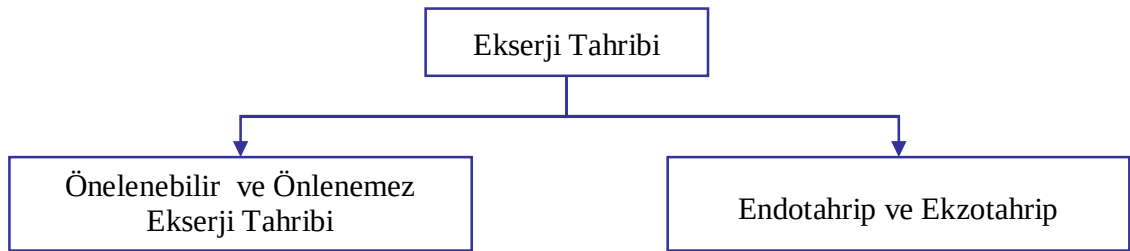
- GTG 101 gaz türbin grubu 39,509 MW net elektrik üretim gücüne sahip iken ürettiği net güç olan 93,088 MW'dan, 53,579 MW'daki kısmını HK 101 hava kompresöründe havayı basıncılandırmak için kullanmaktadır. YO 101 yanma odasında yakıtan doğalgazın birim ekserji maliyeti 8,49 \$/GJ, iken ekserji maliyeti 4134,27 \$/h'dir. Elde edilen yanma gazının birim ekserji maliyeti 15,51 \$/GJ olarak hesaplanmış, elde edilen yanma gazının toplam maliyeti 8048,49 \$/h olarak bulunmaktır. Yanma gazının gaz türbininde genişletilmesi sonucu elde edilen güç için birim maliyet 17,80 \$/GJ, ekserji maliyeti üretilen 39,509 MW net elektrik için 2540,84 \$/h; kompresöre aktarılan 53579 MW güç için ise 3461,38 \$/h'dir. Gaz türbinini terk eden yanma gazının AIK 101'den geçirilmesi sonucu kazanılan enerjiyle üretilen 45 (55 ton/h) ve 14 bar (20 ton/h) kalitesindeki kızgın buhar için ekserji maliyeti sırasıyla; 1458,11 \$/h ve 455,21 \$/h olurken kızgın buhar için birim ekserji maliyeti 14,707 \$/GJ olarak bulunmaktır.
- Buhar kazanları ve atık ısı kazanlarında üretilen 45 bar kalitesindeki buhar, 45 bar ana buhar taşıyıcı hattına beslenerek proses ihtiyacına göre hattan çekilmektedir. Buna göre ana buhar taşıyıcı hattından çekilen kızgın buharın ortalama birim ekserji maliyeti 14,160 \$/GJ olarak hesaplanmıştır.
- BT 101, 102, 104 106, 107 ve 108; 45 bar ana buhar hattından çekilen kızgın buhar ile ısıtılmaktadır. BT 101 ve 102 buhar türbinlerinden elde edilen güç TK 101 ve 102 turbo körüklerini tahrik etmekte, BT 104, 106, 107 ve 108 buhar türbinlerinden elde edilen güç ise elektrik üretiminde kullanılmaktadır. Türbin çekimlerinden alınan çürük buhar ise yoğurturuculara gönderilmektedir. BT 101 ve 102'den elde edilen gücün birim ekserji maliyeti, sırasıyla, 24,79 \$/GJ ve 26,56 \$/GJ; toplam maliyeti ise, 1212,76 \$/h ve 990,66 \$/h olarak bulunmaktır.
- Türbinlerin tahriklediği TK 101 ve 102'den elde edilen basıncı havanın birim ekserji maliyeti 56,08 \$/GJ ve 59,89 \$/GJ olarak hesaplanmıştır. Elde edilen basıncı hava için toplam ekserji maliyeti 1244,93 \$/h ve 1029,74 \$/h'dir.

- YG 101 ve YG 102 yoğ uktucularına gelen çürük buhar yoğ ukturulurken elde edilen suyun birim ekserji maliyeti, s̄as̄yla, 17,32 \$/GJ ve 17,63 \$/GJ, toplam maliyeti 594,93 \$/h ve 461,67 \$/h olarak bulunmuktur.
- BT 104, 106, 107 ve 108 buhar türbinlerinde elde edilen güç jeneratörler vas̄as̄yla elektrik enerjine dönüktürölmektedir. Elde edilen elektrîf in birim ekserji maliyeti, BT 104 için 19,73 \$/GJ, BT 106 için 34,12 \$/GJ; BT 107 için 18,23 \$/GJ; BT 108 için 18,29 \$/GJ, toplam ekserji maliyetleri ise s̄as̄yla, 1307,99 \$/h, 535,10 \$/h, 905,49 \$/h ve 2163,77 \$/h olarak hesaplanm̄t̄. Tübinlerden ç̄kan çürük buhar yoğ ukturuculara gelmektedir. Yoğ ukmuk suyun birim ekserji maliyeti YG 104 için 17,27 \$/GJ, YG 106 için 18,53 \$/GJ, YG 107 için 18,06 \$/GJ, ve YG 108 için 17,34 \$/GJ olarak bulunmuk toplam maliyetler ise, s̄as̄yla, 619,79 \$/h, 166,45 \$/h, 325,02 \$/h ve 1106,72 \$/h olarak hesaplanm̄t̄.
- Yoğ ukturuculardan ç̄kan yoğ ukmuk su, kondensat ana toplaȳc̄hatt̄ ile toplanmakta ve P 101 pompas̄ ile HV 101 havaland̄c̄s̄na gönderilmektedir. YG 101, 102, 104, 106, 107 ve 108 yoğ uktucularında elde edilen suyun ortalama maliyeti kondensat ana toplaȳc̄ hatt̄ ç̄k̄s̄nda hesaplan̄. Buna göre yoğ ukmuk suyun ortalama birim ekserji maliyeti 16,84 \$/GJ olarak bulunmuktur.
- Tesisin birçok noktas̄nda güvenlik ve proses yap̄s̄ndan kaynakl̄ buhar ve su kaȳplar̄ olmaktadır. Kaybedilen ihtiyaç miktar̄kadar ham su demineralize tesisine beslenmektedir. Daha sonra demineralize su, IS 101 ş̄ma sistemine gelir. Burada BDI 103 bas̄nç dükkürme istasyonundan gelen dükk bas̄nçl̄ buhar ile ş̄d̄, P 103 ve P 104 pompalar̄yla, s̄as̄yla, HV 101 havaland̄c̄s̄na ve, AIK 101 ve 102öye gönderilir. HV 101 havaland̄c̄s̄na kondensat toplama hatt̄ndan gelen su, BDI 103den gelen dükk bas̄nçl̄ buhar ve P 103 pompas̄ ile ş̄ma sisteminden gelen s̄cak su beslenerek havaland̄d̄ olarak elde edilen taze su P 102 pompas̄ ile buhar kazanlar̄na transfer edilmektedir. Buna göre IS 101 ş̄ma sisteminden elde edilen s̄cak suyun birim ekserji maliyeti 80,34 \$/GJ; HV 101 havaland̄c̄s̄ndan elde edilen havaland̄m̄k suyun birim ekserji maliyeti, 43,12 \$/GJ olarak bulunmuktur.
- Pompalardan elde edilen bas̄nçl̄ suyun birim ekserji maliyetleri pompa kapasitelerine bağ l̄ olarak, P 101 için 16,92 \$/GJ; P 102 için 40,37 \$/GJ; P 103 için 79,81 \$/GJ ve P 104 için 80,22 \$/GJ olarak hesaplanm̄t̄.

## 9. İLERİ EKSERJİ ANALİZİ HESAPLAMALAR VE BULGULAR

### 9.1 İleri Ekserji Analizine Giriş

Bir enerji sisteminin gerçek verimliliği, sistemden elde edilebilecek maksimum kullanılabilir ık hesaplanarak, yani ekserji hesabı yapılarak bulunabilir. Bu nedenle özellikle enerji sistemlerinin ekserji analizi yapılarak tasarlanması gerekmektedir. Kurulu bir fabrikada da sürdürülen prosesin ekserji analizinin yapılması büyük önem taşımaktadır. Ekserji analizinin önemini artıran diğer bir noktası optimizasyonda da kullanılan faydalı bir araç olmasıdır. Optimizasyon çalışmalarında, incelenen sistemde veya proses biriminde meydana gelen tersinmezliklerin en aza indirilmesiyle, meydana gelen ekserji tahriplerinin azaltılması hedeflenir. Geleneksel ekserji analizi yapılarak tersinmezliklerin yerleri ve büyüklükleri saptanabilirken, bu tersinmezliklerin neden meydana geldiği tam olarak anlaşılamamaktadır. Bu nedenle kâğıttan senaryolar ancak ileri ekserji analizi ile yapılabilir. İleri ekserji analizi yapılarak, tersinmezlikler nedeniyle meydana gelen ekserji tahribinin, sistemin birimleri arasındaki etkileşimlerden mi, teknolojik yetersizliklerden mi veya her iki nedenin ortak etkisinden mi kaynaklandığı saptanabilir. İleri ekserji analizinde, ekserji tahribi kâğıtlara ayrılarak (şekil 9.1) incelenmesi yapılabilir (Tsatsaronis, 1999b; Kelly vd., 2008).



Şekil 9.1 Ekserji tahribinin sınıflandırılması

Ekserji tahribi kâğıtlara ayrılırken iki önemli nokta dikkate alınmalıdır: birincisi, incelenen ekipmanda meydana gelen ekserji tahribinin teknolojik yetersizlikleri nedeniyle kullanılan ekipmanın kendisinden kaynaklanması (önlenemez ve önlenemez tahrip), ikincisi ise, tersinmezliklerin diğer ekipmanların ve sistem yapısından kaynaklanması (endotahrip ve ekzotahrip) (Tsatsaronis, 2002; Kelly vd., 2008).

### 9.1.1 Önlenebilir ve Önlenebilir Ekserji Tahribi

Ekserji analizinde sistem içerisindeki tersinmezliklerin ne kadarını kullandıkları ekipmanların teknolojisinden kaynaklandığını belirlemek için meydana gelen tahrip önlenebilir ekserji tahribi (Avoidable Exergy Destruction,  $\dot{\Xi}_{D,k}^{AV}$ ) ve önlenebilir ekserji tahribi (Unavoidable Exergy Destruction,  $\dot{\Xi}_{D,k}^{UN}$ ) olarak ikiye ayrılır. Önlenebilir ekserji tahribi en iyi teknolojiye sahip ekipman olsa dahi, bir ekipmanda var olan ve yakın gelecekte meydana gelecek ekserji tahribini tarif eder. Önlenebilir ekserji tahribi ise toplam ekserji tahribinden önlenebilir ekserji tahribinin çıkarılmasıyla bulunur (Tsatsaronis ve Park, 2002; Morosuk ve Tsatsaronis, 2008):

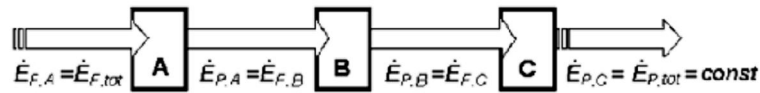
$$\dot{\Xi}_{D,k} = \dot{\Xi}_{D,k}^{AV} + \dot{\Xi}_{D,k}^{UN} \quad (9.1)$$

### 9.1.2 Endotahrip ve Ekzotahrip

Tsatsaronis (1999b) bir sistemde meydana gelen ekserji tahribinin, endotahrip ( $\dot{\Xi}_{D,k}^{EN}$ , Endogenous Exergy Destruction) ve egzotahrip ( $\dot{\Xi}_{D,k}^{EX}$ , Exogenous Exergy Destruction) şeklinde kısımlara ayrılabilirini önermiştir. Endotahrip, bir ekipmanda meydana gelen ve yalnız kendisinden kaynaklanan tersinmezliklerin neden olduğu, sistem içerisindeki diğer ekipmanlardaki değişikliklerin ve tersinmezliklerin etkili olmadığı ekserji tahribidir. Ekzotahrip ise sistemin diğer ekipmanlarındaki tersinmezliklerden dolayı ekipmanda meydana gelen ekserji tahribidir.

$$\dot{\Xi}_{D,k} = \dot{\Xi}_{D,k}^{EN} + \dot{\Xi}_{D,k}^{EX}$$

Endotahrip ve egzotahrip, şekil 9.2'den faydalanılarak detaylandırılabilir. Sanayide kullanılan proseslerin şekilde gösterildiği gibi genellikle birbirini takip eden bir proses yapısına sahip oldukları söylenebilir.



Şekil 9.2 Bir enerji dönüşüm sistemi (Tsatsaronis, 1999b; Kelly vd., 2008)



Sistemdeki proses birimlerine giren akamların ekserjisi, yakıt ekserjisi olarak nitelendirildiğinde, A proses biriminin yakıt tüketim sistemin yakıtıdır. A proses biriminden çıkan ürünler aynı zamanda B proses biriminin yakıtıdır. B proses biriminin ürünleri ise C ekipmanının yakıtıdır. C ekipmanından çıkan ürünler ise tüm sistemin ürünüdür. Buna göre, endotahrip, A proses biriminin gerçek veriminde, B ve C proses birimlerinin ise ideal verimde ( $q_B = 1$ ,  $q_C = 1$ ) oldukları durum için hesaplanır. Ekzotahrip ise A biriminde meydana gelen toplam ekserji tahribinden endotahrip çıkarılarak bulunabilir (Morosuk ve Tsatsaronis, 2006).

### 9.1.3 Örnek Hesaplama

Bu kısımda, GTG-101 gaz türbin grubu (Şekil 9.3) için ileri ekserji analizi yapılmıştır. Kısıl原因enen sistem bir adet hava kompresörü (HK 101), yanma odası (YO 101), gaz türbini (GT 101) ve atık ısı kazanından (AIK 101) oluşmaktadır. Bu kısımda ileri ekserji analizi yapılarak, ekserji tahribi endotahrip ve egzotahrip kısımlarına ayrılmıştır.

Her bir proses cihazı için kütle, enerji ve ekserji denklıkları oluşturulmuştur. Ayrıca, hesaplamalarda çevre şartları  $T_0 = 298,15$  K ve  $P_0 = 1,013$  bar olarak alınmış, geleneksel ekserji ve ileri ekserji analizi için bazı kabuller yapılmıştır. Ekserji analizinde, prosesin yataklı halde olduğu, sistemde çevreye sıcaklık farkından dolayı ısı aktarımından kaynaklanan kayıpların olmadığı potansiyel ve kinetik etkilerin ihmal edildiği kabul edilmiştir.

İleri ekserji analizi için teorik çalışma koşulları belirlenmiştir. Kojenerasyon sistemi, bir hava kompresörü HK 101, yanma odası YO 101 ve gaz türbini GT 101'den, diğer atık ısı kazanı AIK 101'den oluşan hayali iki alt sisteme bölünmüştür. HK 101 ve GT 101 için ideal çalışma koşulları ( $q_{AC} = 1$ ,  $q_{GT} = 1$ ) belirlenmiştir; yanma odası YO 101 için ise, yanma gaz bilekiminin, hava yakıt oranının ve yakıt/buhar enjeksiyon oranının gerçek ve ideal çalışma koşullarında aynı kaldığı kabul edilmiş, ideal çalışma koşullarında basınç düşüğü sıfır alınmıştır.

Atık ısı kazanı AIK 101 için sadece ideale yakın koşullar tarif edilebilmektedir. Bunun için hesaplamalarda  $\dot{E}_{D,k}$  nin en az olabilmesi için, iç ekipmanlarının (integral deaerör, evaporör, kızdırıcı, ekonomizer vb.) minimum pinch sıcaklığında çalıştığı ve cihaz boyunca basınç düşüğünün olmadığı kabul edilmiştir. Hesaplamalarda Thermoflex Peace Benzetim Programı (Thermoflex / Peace V.20) kullanılmıştır.

GTG 101 Gaz türbin grubu için geleneksel ve ileri ekserji analizlerine ait sonuçlar (Mert vd., 2009) Çizelge 9.1 ve 9.2’de verilmektedir.

| GTG 101 Gaz Türbin Grubu |             |                     |            |           |                         |                         |                   |                   |
|--------------------------|-------------|---------------------|------------|-----------|-------------------------|-------------------------|-------------------|-------------------|
| Akım Bilgisi             |             | $\dot{m}$<br>(Kg/s) | P<br>(Bar) | T<br>(°C) | $\dot{E}_{Fiz}$<br>(MW) | $\dot{E}_{kim}$<br>(MW) | $\dot{E}$<br>(MW) | $\dot{E}$<br>(MW) |
| Akım No                  | Açıklama    |                     |            |           |                         |                         |                   |                   |
| 13A                      | Hava        | 132,00              | 1,013      | 298,15    | 0,00                    | 0,33                    | 0,33              | 0,00              |
| 13B                      | Hava        | 132,00              | 11,580     | 635,35    | 43,75                   | 0,33                    | 44,09             | 47,52             |
| 6                        | Doğ algaz   | 2,61                | 19,310     | 298,15    | 1,20                    | 136,72                  | 137,92            | 163,25            |
| 120                      | Buhar İçij, | 3,31                | 20,000     | 493,15    | 3,22                    | 0,17                    | 3,39              | 9,34              |
| 24A                      | Yanma Gazē  | 137,93              | 11,540     | 1377,15   | 136,71                  | 2,10                    | 138,81            | 200,52            |
| 24B                      | Yanma Gazē  | 137,93              | 1,041      | 824,85    | 37,56                   | 2,10                    | 39,66             | 104,39            |
| 24C                      | Yanma Gazē  | 137,93              | 1,013      | 428,75    | 4,34                    | 2,10                    | 6,44              | 39,85             |
| 35A                      | Su          | 20,83               | 1,433      | 353,15    | 0,39                    | 1,04                    | 1,43              | 4,78              |
| 35B                      | Su          | 5,56                | 3,000      | 351,15    | 0,10                    | 0,28                    | 0,38              | 1,23              |
| 52                       | OB Buhar    | 15,28               | 45,000     | 718,15    | 20,20                   | 0,76                    | 20,96             | 50,26             |
| 55                       | YB Buhar    | 5,56                | 14,000     | 608,15    | 5,73                    | 0,28                    | 6,01              | 16,96             |

Çizelge 9.2 GTG 101 Gaz türbin grubu için ileri ekserji analizi bulguları (Mert vd., 2009)

| GTG 101 Gaz Türbin Grubu      |                      |                         |               |                       |                       |                       |                                |                                |
|-------------------------------|----------------------|-------------------------|---------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| Proses Cihazē                 | $\varepsilon$<br>(%) | $\dot{G}_{Pot}$<br>(MW) | $\eta$<br>(%) | $\dot{\Xi}_F$<br>(MW) | $\dot{\Xi}_P$<br>(MW) | $\dot{\Xi}_D$<br>(MW) | $\dot{\Xi}_{D,k}^{EN}$<br>(MW) | $\dot{\Xi}_{D,k}^{EX}$<br>(MW) |
| <i>HK 101 Hava Kompresörü</i> | 81,38                | 1,864                   | 88,38         | 53,761                | 43,750                | 10,0113               | 9,2109                         | 0,8004                         |
| <i>YO 101 Yanma Odasē</i>     | 74,87                | 11,706                  | 91,10         | 185,390               | 138,804               | 46,5858               | 37,5628                        | 9,0230                         |
| <i>GT 101 Gaz Türbini</i>     | 94,07                | 0,349                   | 97,02         | 99,149                | 93,265                | 5,8842                | 5,0252                         | 0,8590                         |
| <i>AIK 101 Atāk IsēKazanē</i> | 77,13                | 8,175                   | 98,10         | 33,219                | 25,620                | 7,5995                | 6,7505                         | 0,8490                         |
|                               |                      |                         |               |                       | Toplam                | 70,0808               | 58,5494                        | 11,5314                        |
|                               |                      |                         |               |                       |                       | (100%)                | (83,5%)                        | (16,5%)                        |

Geleneksel ekserji ve ileri ekserji analizi için elde edilen sonuçlara göre, tesiste 39,5MW net elektrik üretimi ve 20,84 kg/s kışgın buhar üretimi yapılmaktadır. Geleneksel ekserji hesabına göre, en verimli proses cihazı GT 101 gaz türbini iken (%94,07), en verimsiz proses cihazı YO 101 yanma odasıdır (%74,87). AIK 101'in verimi (%77,13), YO 101 yanma odasının veriminden (%74,87) daha yüksektir. Dolayısıyla, en yüksek ekserji tahribi (46,5 MW) ve geliştirme potansiyeli (11,7 MW) yanma odasında meydana gelirken, en düşük ekserji tahribi (5,8 MW) ve geliştirme potansiyeli (0,3 MW) GT 101 gaz türbininde saptanmıştır (Mert vd., 2009).

İleri ekserji hesabından elde edilen bulgulara göre, GTG 101 gaz türbin grubuna ait tersinmezliklerin büyük bir kısmının cihazın kendisinden kaynaklandığı belirlenmiştir. Gaz türbin grubunda toplam 70 MW ekserji tahribi meydana gelirken; bu değer %83,5'i yani yaklaşık 58,5 MW'ı endotahrip, geriye kalan %17,5'i yani yaklaşık 11,5 MW'lık kısmı ise ekzotahriptir. Yanma odası YO 101'de meydana gelen ekserji tahribi %80'i endotahrip, geriye kalan %20'lik kısım ise diğer proses cihazlarında meydana gelen tersinmezliklerden kaynaklanmaktadır (Mert vd., 2009).

## 10. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında, ERDEMİR Ereğli Demir ve Çelik Fabrikası'nın Üretime Yardımcı Tesislerinden birisi olan Kuvvet Santrali'ne incelenmiş, enerjik, ekserjik ve termoeconomik analizleri yapılmıştır. Bölüm 7 ve 8'de yapılan hesaplamalar sonucunda, tesisi oluşturan birimlerin enerji, ekserji, ekserji tahribi ve geliştirme potansiyeli değerleri bulunmuştur. Kuvvet santralindeki her bir proses cihazı için ekserji verimi, enerji verimi, ekserji tahribi ve geliştirme potansiyeli değerleri grafikler halinde sırasıyla şekil 7.20, 7.21, 7.22 ve 7.23'de, termoeconomik analizden elde edilen bulgular ise Çizelge 8.1 - 8.23'de gösterilmiştir. Elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmektedir:

- BK 101, 102, 103, 104 ve 105 nolu buhar kazanlarında 45 bar ve 443°C'de toplam 380 ton/h kuru buhar üretilmektedir. Kazan enerji verimleri BK 101 için %47,97, BK 102 için %42,27, BK 103 için %60,88, BK 104 için %53,53 ve BK 105 için %58,96 olarak; ekserji verimleri ise BK 101 için %20,60, BK 102 için %18,14, BK 103 için %27,75, BK 104 için %24,37 ve BK 105 için %26,37 olarak bulunmuştur.
- Kazanlardan elde edilen kuru buhar beslediği ABH 45 bar'daki ana buhar tahliye hattının ekserji verimi %98,86; hattan çekilen kuru buhar ortalama birim ekserji maliyeti ise 14,16 \$/GJ olarak bulunmuştur.
- GTG 101 ve 102 gaz türbin gruplarında toplam 186,616 MW güç üretilmiş, elde edilen gücün 79,214 MW'ı jeneratörler vasıtasıyla elektrik enerjisine dönüştürülmektedir. Geriye kalan 107,402 MW'daki güç, GTG 101 ve 102 gaz türbin gruplarındaki hava kompresörlerinin işletilmesinde kullanılmaktadır. Gaz türbin gruplarının en verimsiz birimleri AIK 101 (%76,33) ve AIK 102 (%76,18) olurken, en verimli birimleri olarak GT 101 (%93,66) ve GT 102 (%93,71) gaz türbinleri saptanmıştır. GTG 101 ve 102'de üretilen 186,616 MW toplam güç için sırasıyla 6002,22 \$/h ve 5967,94 \$/h harcanırken; birim gücün ortalama ekserji maliyeti 17,84 \$/GJ olarak hesaplanmıştır.
- GTG 101 ve 102'den çıkan edilen yanma gazlarının atık ısı kazanları AIK 101 ve 102'den geçirilmesiyle 45 bar ve 445°C'de toplam 110 ton/h; 14 bar ve 330°C'de toplam 40 ton/h kuru buhar üretilmektedir. Elde edilen kuru buhar ortalama birim ekserji maliyeti 14,71 \$/GJ olarak hesaplanmış, toplam ekserji maliyeti 3822,77 \$/h olarak bulunmuştur.

- BTG 101 ve 102 buhar türbin gruplarındaki BT 101 ve 102 buhar türbinlerinde elde edilen güç TK 101 ve 102 turbo körüklerinin ilettilmesinde kullanılmaktadır. Türbinlerin verimleri sırasıyla, %68,50 ve %68,51; elde edilen toplam güç 23,954 MW'dır. TK 101 ve 102'nin ekserji verimleri %44,32 ve %45,04; elde edilen 5079,25 m<sup>3</sup>/dk basınçlı havanın ortalama birim ekserji maliyeti 57,99 \$/GJ, toplam ekserji maliyeti ise 2274,67 \$/h olarak hesaplanmıştır.
- BT 104, 106, 107 ve 108 buhar türbinlerinde elde edilen güç jeneratörler vasıtasıyla elektrik enerjine dönüştürülmektedir. Türbinlerin ekserji verimleri, BT 104 için %88,05, BT 106 için %86,08 BT 107 için %94,07, BT 108 için %87,96 olarak bulunmuştur. Toplam elektrik üretimi 69,443 MW'dır. Elde edilen elektriğin ortalama birim ekserji maliyeti 22,59 \$/GJ, toplam ekserji maliyeti ise 4912,34 \$/h olarak hesaplanmıştır.
- Kuvvet Santralinde, güç ve kâğıt buhar eldesinde 2064,58 m<sup>3</sup>/dk çelikخانه gazı (ÇG), 2385,35 m<sup>3</sup>/dk yüksek basınçlı gaz (YFG), 161,80 m<sup>3</sup>/dk kok gazı (KG), 481,70 m<sup>3</sup>/dk doğalgaz (DG) ve 5,98 ton/h katran yakıtı olarak kullanılmaktadır.
- Kuvvet Santralinde toplam 314,05 MW güç üretilirken; bunun %47,33'ü yani 148,65 MW'ı jeneratörler vasıtasıyla elektrik enerjisine dönüştürülmekte, geriye kalan kısım ise kompresör ve turbo körüklerin ilettilmesinde kullanılmaktadır.
- Kuvvet Santralinde, 45 bar basınçta 490 ton/h ve 14 bar basınçta 200 ton/h (ara kademeli buhar türbinlerinden çekilen buhar dahil olmak üzere) kâğıt buhar üretilmektedir.

Kuvvet Santralinde, ekserji tahribinin en fazla meydana geldiği proses birimleri buhar kazanlarıdır. Buhar kazanlarındaki döner hava ısıtıcılarından soğuk hava, dışarıdan baca gazına karışmaktadır; böylece, yanma sonucu elde edilen ısı bir kısmı baca gazı ile birlikte dışarıya taşınmaktadır. Döner hava ısıtıcılarındaki hava soğutma önüne geçilerek, yakıtın optimum hava miktarıyla yakılması sağlanır. Bu şekilde, baca gazı sıcaklığı düşürülebilir, enerji ve ekserji veriminde artış sağlanabilir. Bunun sonucunda, elde edilen kâğıt buhar ve dolayısıyla gücün birim maliyeti azaltılabilir.

Ekserji tahribinin fazla olduğu diğer bir birim ise yanma odalarıdır. Yanma odalarında yüksek sıcaklıklarda NO<sub>x</sub> gazları oluşabilmektedir. Bu durumu kontrol altına almak için, kâğıt buhar enjeksiyonu yapılarak yanma odalarındaki alev sıcaklığı kontrol edilmektedir. Yanma

odalarındaki hava/yakıt ve buhar enjeksiyonu/yakıt oranları optimum kartlara getirilerek, enerji ve ekserji verimleri artırılabilir. Ayrıca, yaz ve kış dönemlerinde havanın yoğunluğu farklılık göstereceği için, optimum hava/yakıt oranı yaz ve kış dönemleri için ayrı ayrı belirlenmelidir.

Kuvvet Santralinin her bir birimi termal kamera ile incelenebilir. Bu şekilde, tesiste ısı kaybının en fazla olduğu noktalar saptanabilir ve gerekli olan yalıtım yapılarak, kayıplar önemli ölçüde önlenir. Böylece, birim ürün başına harcanan yakıt miktarları azaltılarak, birim kışgın buhar ve birim güç maliyetleri düşürülebilir.

Örneğin, BK 103 buhar kazanında yapılan bir iyileştirmeyle, kazan ekserji verimi %27,75'ten %28,75'e çıkartılabilir ve buna bağlı olarak, 85 ton/h kışgın buhar elde etmek için harcanan 101,047 MW yakıt ekserjisi 97,544 MW'a düşürülebilir; böylece, saatte 3,503 MW'dık bir enerji tasarrufu sağlanabilir. Ayrıca, kazana beslenen kok gazı (KG), doğalgaz (DG) ve yüksek basınç gazı (YFG) gibi diğer yakıtların miktarları sabit tutularak, gerekli çelikhane gazı (ÇG) miktarı 22912 m<sup>3</sup>/h'den 21187 m<sup>3</sup>/h'e düşürülebilir. Bu şekilde, buhar kazanından elde edilen kışgın buharın ortalama birim ekserji maliyeti 11,88 \$/GJ'den 11,12 \$/GJ'e; elde edilen kışgın buharın toplam maliyeti ise 1757 \$/h'den 1644 \$/h'e düşürülebilir. Bir başka deyişle, 85 ton/h kışgın buhar elde edilmesinde 112,3 \$/h ya da yılda 8000 çalışma saati temelinde, 898400 \$/yıl tasarruf sağlanabilir.

Sonuç olarak, son derece enerji yoğun bir tesis olan Erdemir'de enerji ve ekserji analizleri temelinde yapılabilecek proses ve işletme iyileştirmeleri sonucunda, verimli kullanarak büyük miktarda enerji tasarruf edilebilir; dolayısıyla, enerji maliyetleri büyük oranda düşürülebilir ve çevreye salınan emisyon değerleri en aza indirilebilir.



- Frangopoulos C.A., (1983), "Thermoeconomic Functional Analysis: A Method for Optimal Design or Improvement of Complex Thermal Systems", PhD Thesis. Georgia Institute of Technology.
- Gaggioli R.A. ve Wepfer W.J. (1980), "Exergy economics", Energy, The International Journal, 5:823-83.
- Guaribell, J.F., Cerqueria, A.A.G. ve Nebra, S.A. (2000), "Thermoeconomic Evaluation of a Gas Turbine Cogeneration System", Energy Conversion and Management, 41:1191-1200.
- Güngör, R., (2007), "Türkiye'de Kojenerasyon Potansiyeli, Uygulamaları ve Yasal Durum", Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu, EPE Toplantı Sunumu.
- Hepbaşlı A. (2001), "Performance Evaluation Criteria for Cogeneration Systems and Industrial Energy Efficiency Regulation in Turkey", 141-151, ICCI 2001 Bildiriler Kitabı İstanbul.
- Hepbaşlı A., (2002), "Performance Evaluation of a Vertical Ground-Source Heat Pump System in Izmir, Turkey", International Journal of Energy Research, 26, 1121-1139.
- Hepbaşlı A. ve Özalp N., (2002a), "Present Status of Cogeneration Applications in Turkey", Energy Sources, 24:169-177.
- Hepbaşlı A. ve Özalp N., (2002b), "Development of Cogeneration in Turkey", Energy Sources, 24, 195-204.
- Hepbaşlı A. ve Özalp, N., (2002c), "Cogeneration Studies in Turkey: An Application of a Ceramic Factory in İzmir, Turkey", Applied Thermal Engineering, Applied Thermal Engineering, 22, 679-691.
- Hepbaşlı A., (2005), "Development and Restructuring of Turkey's Electricity Sector: A Review", Renewable And Sustainable Energy Reviews, 9, 311-343.
- Horlock, J.H. (1995) "Combined Power Plants-Past, Present, and Future", Journal of Engineering for Gas turbines and Power, 117:608-616.
- Kıllı M., Yücel, H.L. ve Işık, E. (2002), "Kojenerasyon Sistemlerinin teknik ve Ekonomik Uygulanabilirliği", Mühendis ve Makine Dergisi, 506:45-48.
- Kapudere, K., (2003) "Bir Kojenerasyon Sisteminde Ekserji Analizi Uygulaması", Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Karthikeyan R, Hussain M.A, Reddy B.V, Nag P.K., (1998), "Performance Simulation of Heat Recovery Steam Generators in a Cogeneration System", International Journal of Energy Research. 22:399-410.
- Kelly, S., Tsatsaronis, G., ve Morosuk T., (2008), "Advanced Exergetic Analysis: Approaches For Splitting The Exergy Destruction into Endogenous And Exogenous Parts", Energy, 12,007.
- Khan, K.H., Rasul, M.,G. ve Khan, M.M.K., (2004), "Energy Conservation in Buildings: Cogeneration and Cogeneration coupled with Thermal-Energy Storage", Applied Energy, 77,15.
- Kim, S. Oh, S., Kwon, Y. ve Kwak, H. (1998), "Exergoeconomic Analysis of Thermal System", Energy, 23:393-406.



- Koçak, T. ve Gülken, O. (1998), "Bölgesel Isılma ve Kojenerasyon", Bölgesel Isılma ve Kojenerasyon Konferansı 28-29 Nisan, İstanbul.
- Kotas, T.J. (1995), "The Exergy Method of Thermal Plant Analysis", Kriger Publishing Comp, USA.
- Külçe, N. ve Topuz, G. (1996), "Kojenerasyon sistem Seçimi ve Türkiye Örneği", 2. Uluslararası Bileşik Enerji ve Güç Üretimi Konferansı 20-21 Haziran 1996, İstanbul.
- Kwak H.Y., Kim D.J. ve Jeon J.S., (2003), "Exergetic and Thermoeconomic Analyses of Power Plants", Energy. 28:343-360.
- Lazzaretto A ve Tsatsaronis G., (2006), "SPECO: A Schematic and General Methodology For Calculating Efficiencies and Costs in Thermal Systems", International Journal of Energy, 31:1257-1289.
- Lindberg, A., (1999), "Latest Development in Reciprocating Engine Driven Cogeneration Plants", ICCI Bildiriler Kitabı 95-102.
- Lucas, K. (2000), "On The Thermodynamics of Cogeneration", Int. J. Therm. Sci., 39:1039-1046.
- Mert, M. S., Erdönmez, M. U., Dilmaç Ö. F., Özkan, S ve Bolat E., (2009), "Advanced Exergy Analysis Of A Cogeneration Plant In An Iron And Steel Factory", ICCI 2009, 15. Uluslararası Enerji ve Çevre Fuarı ve Konferansı , 13-15 Mayıs, İstanbul, Türkiye.
- Mert, M. S., Dilmaç, Ö.F., Özkan S., Bolat E., (2010a), "The Exergoeconomic Analysis of the Waste Heat Boiler of a Cogeneration Plant", 16. Uluslararası Enerji ve Çevre Fuarı Ve Konferansı 12-14 Mayıs, İstanbul, Türkiye.
- Mert, M. S., Dilmaç, Ö.F., Özkan S., Bolat E., (2010b) "Bir Demir Çelik Fabrikasında Kullanılan Buhar Kazanların Enerji ve Ekserji Analizi", UKMK-9, 9. Ulusal Kimya Mühendisliği Kongresi, Gazi Üniversitesi, 22-25 Haziran, Ankara, Türkiye.
- Moran, M.J. ve Sciubba, E. (1994), "Exergy Analysis: Principles and Practice", J. Eng. Gas Turbine and Power, 116:285-290.
- Morosuk T., ve Tsatsaronis G., (2006), "Splitting the Exergy Destruction into Endogenous and Exogenous Parts, Application to Refrigeration Machines", ECOS 2006, Conference on "Efficiency, Costs, Optimization, Simulation and Environmental Impact of Energy Systems, 12-14 Temmuz, Crete, Yunanistan, 165-172.
- Morosuk, T., ve Tsatsaronis, G., (2008), "How to calculate the parts of exergy destruction in an advanced exergetic analysis", ECOS-2008, Conference on "Efficiency, Costs, Optimization, Simulation and Environmental Impact of Energy Systems, Polonya, 24-27 Haziran, 185-194.
- Orhan, K., (2003), "Kojenerasyon Tesislerinde Kullanılan Güç Teknolojileri", Yüksek lisans tezi, Anadolu Üniversitesi.
- Rivero, R. ve Anaya, A. (1997), "Exergy Analysis of Industrial Processes: Energy-Economy-Ecology", Latin American Applied Research, 27:191-205.
- Rosen M.A ve Dincer K., (2003), "Exergy-Cost-Energy-Mass Analysis of Thermal Systems and

Processes, Energy Conversion and Management, 44:1633-1651.

Schrodter, B. (1993), "Cogeneration with Gas engines and Gas Turbines", MAN Dezentrale Energiesysteme Gmh Presentation, 37:78-85.

Song, T.W., Sohn, J.L., Kim, J.H., Kim, T.S. ve Ro, S.T. (2002), "Exergy Based Performance Analysis of The Heavy-Duty Gas Turbine in Part-Load operation Conditions", Exergy, 2:105-112.

Szargut, J., Morris, R.D. ve Steward, R.F. (1998), Exergy Analysis of Thermal, Chemical, and Metallurgical Processes, Hemisphere, New York.

Tekin, T. (1996), Erzurum Çeker Fabrikası'nın Ekserji Analizi, Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi, Erzurum.

Thermoflex / Peace V.20, Thermoflow, Inc., Sudbury, MA, USA.

Topuz, G. (1997), "Bileşik Isı Güç Santralleri ve Türkiye'deki Durumu Bölüm-2", Termodinamik Dergisi, 10:83-87, İstanbul.

Torres, E.A. ve Gallo, L.R. (1998), "Exergetic Evaluation of a Cogeneration System in a Petrochemical Complex", Energy Conversion and Management, 39:1845-1852.

Tsatsaronis, G., (1999a), "Design Optimization Using Exergoeconomics", Thermodynamic Optimization Of Complex Energy Systems, Nato Sciences, 3. High Technology, Volume 69.

Tsatsaronis, G., (1999b), "Strengths and Limitations of Exergy Analysis", Thermodynamic Optimization of Complex Energy Systems, Kluwer Academic Publishers, 93-100.

Tsatsaronis, G. ve Czişla F. (2002), "Thermoeconomics", Encyclopedia of Physical Science and Technology, Third Edition, Volume 16.

Tsatsaronis G ve Lin L., (1990), "On Exergy Costing in Exergoeconomics", Computer-Aided Energy System Analysis, Vol.21:1-11.

Tsatsaronis, G. ve Moran, J. (1997), "Exergy-Aided Cost Minimization", Energy Conversion and Management, 38:15-17.

Tsatsaronis, G. ve Park, M. (2002), "On Avoidable and Unavoidable Exergy Destructions and Investment Cost in Thermal Systems", Energy Conversion and Management, 43:1259-1270.

Tsatsaronis G. ve Winhold M., (1985), "Exergoeconomics Analyses and Evaluation of Energy Conversion Plants", Energy-The International Journal. 10:69-94.

Unescap, (1998), "Promotion of Cogeneration Technology as a Means of Control and Increase in Energy Efficiency in Industrial and Commercial Sectors", United Nations Publications.

Valero A, Lozano M.A ve Munoz M., (1986), "A General Theory of Exergy Savings, Part I: On The Exergetic Cost, Part II: On The Thermoeconomic Cost, Part III: Energy Savings And Thermoeconomics", Computer-aided Engineering of Energy Systems. Vol.2-3:1-21.

Valero A, Torres C ve Serro L., (1992), "A General Theory of Thermoeconomics: Part I: Structural Analysis", ECOS'92, International Symposium on Efficiency, Costs, Optimization and

Simulation of Energy Systems, 15-18 Haziran, Zaragoza, İspanya.

Verkhivker, G.P. ve Kosoy, B.V. (2001), "On The Exergy Analysis of Power Plants", Energy Conversion and Management, 42:2053-2059.

Von Spakovsky M.R. ve Evans R.B., (1993). "Engineering Functional Analysis-Parts", ASME Journal of Energy Resource Technology: 115,86-99.

Wall, G. (1998), "Exergetics", Exergy Ecology Democracy, Sweden.

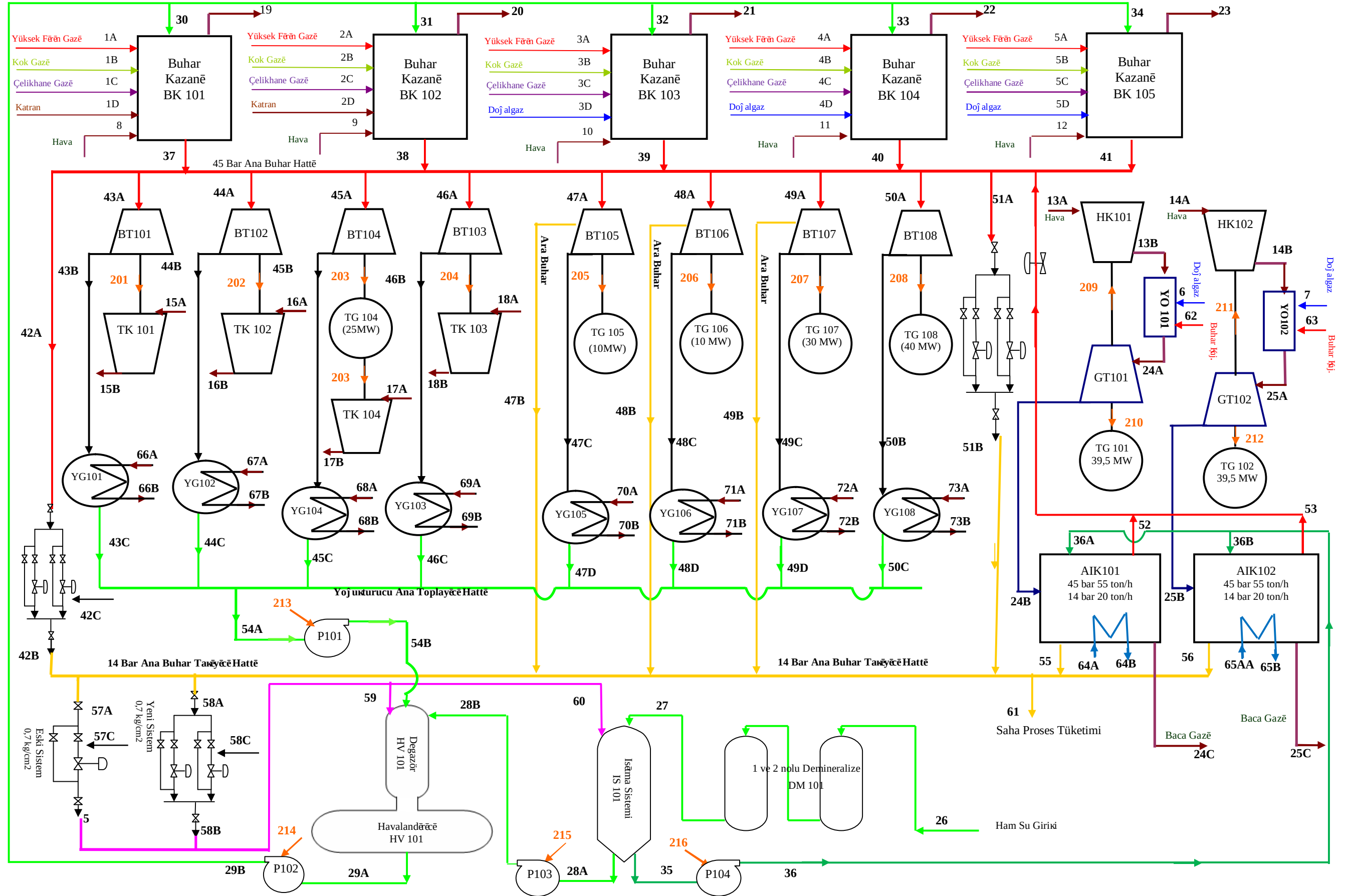
Wilkinson, B.W. ve Barnes, R.W. (1993), Cogeneration of Electricity and Useful Heat, CRC Press Inc., Florida.

Yörü, Y., (2008), "Kojenerasyon Sistemlerinde Yapay Sinir Ağları Uygulaması ve Ekserji Analizi", Doktora Tezi, Osmangazi Üniversitesi, Eskişehir.

**EKLER**

Ek 1 Kuvvet Santrali Proses Akış Kemasē

## Ek 1 Kuvvet Santrali Proses Akışkeması



**ÖZGEÇMİŞİ**

|               |            |                                                                                                    |
|---------------|------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Doğum tarihi  | 13.03.1982 |                                                                                                    |
| Doğum yeri    | İstanbul   |                                                                                                    |
| Lise          | 1996-1999  | Özel Uğur Lisesi                                                                                   |
| Lisans        | 1999-2003  | Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi<br>Kimya Mühendisliği Bölümü                            |
| Yüksek Lisans | 2003-2005  | Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü<br>Kimya Müh. Anabilim Dalı Kimya Müh. Programı |
| Doktora       | 2005-2009  | Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü<br>Kimya Müh. Anabilim Dalı Kimya Müh. Programı |

**Çalıştığı kurum(lar)**

2009-Devam ediyor Yalova Üniversitesi Enerji Sistemleri Mühendisliği  
Anabilim Dalı Araştırma Görevlisi