

**T.C.  
İSTANBUL GEDİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**



**BUHARLI GÜÇ SANTRALLERİNİN PERFORMANS  
DEĞERLENDİRMESİNİN EKSERGOEKONOMİK YAKLAŞIMLA  
İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**SELİM AKSAR**

**181222005**

**Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı**

**Makine Mühendisliği**

**Tez Danışmanı: Prof. Dr. Zafer UTLU**

**MART 2019**





T.C.  
İSTANBUL GEDİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜ

**Yüksek Lisans Tez Onay Belgesi**

Enstitümüz Makine Mühendisliği Anabilim Dalı Makine Mühendisliği Tezli Yüksek Lisans Programı 181222005 numaralı öğrencisi **Selim AKSAR**'ın “**BUHARLI GÜÇ SANTRALLERİNİN PERFORMANS DEĞERLENDİRİLMESİNİN EKSERGOEKONOMİK YAKLAŞIMLA İNCELENMESİ**” adlı tez çalışması Enstitümüz Yönetim Kurulunun 19/02/2019 tarih ve 2019/03 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından **04 birliği** ile Tezli Yüksek Lisans tezi olarak **Kabul** edilmiştir.

Öğretim Üyesi Adı Soyadı

İmzası

Tez Savunma Tarihi : **07.../08/2019.**

1) Tez Danışmanı: **Prof. Dr. Zafer UTLU**

2) Jüri Üyesi : **Doç. Dr. Behiye YÜKSEL**

3) Jüri Üyesi : **Dr. Öğr. Üyesi Fatih ÜNAL**

.....  
.....  
.....

**Not:** Öğrencinin Tez savunmasında **Başarılı** olması halinde bu form **imzalanacaktır**. Aksi halde geçersizdir.

## YEMİN METNİ

Yüksek lisans olarak sunduğum “*Buharlı Güç Santrallerinin Performans Değerlendirmesinin Eksergoekonomik Yaklaşımla İncelenmesi*” adlı çalışmanın, tezin proje safhasından sonuçlanmasına kadarki bütün süreçlerde bilimsel ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yardıma başvurulmaksızın yazıldığını ve yararlandığım eserlerin Bibliyografya’da gösterilenlerden oluştuğunu, bunlara atıf yapılarak yararlanılmış olduğunu belirtir ve onurumla beyan ederim.

(07/03/2019)

Selim AKSAR



## ÖNSÖZ

Öncelikle, kendisini tanıma fırsatı bulduğum günden bu yana mesleki alanda kazandırdığı sayısız bilginin yanında daima kişiliği, davranışları ve yaşam biçimi ile bizlere örnek olan, çalışmamın her aşamasında desteğini esirgemeyen, bilgi, deneyim ve yorumları ile beni yönlendiren, hocam Sayın Prof. Dr. Zafer UTLU' ya,

Çalışmam sırasında karşılaştığım zorlukları asmamda çok emeği geçen, üniversitedeki iş yüküne rağmen zaman ayırma inceliğini göstererek konu hakkında farklı bakış açıları kazanmamı sağlayan değerli hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. Fatih ÜNAL' a

Tez çalışmamın bilgi toplama, derleme ve değerlendirme kısımlarında desteklerini esirgemeyen, değerli meslektaşlarım Sayın Yusuf SAYICI ve Sayın Oğuzhan YILDIZ' a, buharlı güç santrali çalışanlarına, benden hiçbir zaman sevgisini ve desteğini esirgemeyen tüm aileme teşekkürlerimi sunarım.

MART 2019

Selim AKSAR

Makine Yüksek Mühendisi



## İÇİNDEKİLER

Sayfa

|  |             |
|--|-------------|
| <b>KISALTMALAR</b> .....   | <b>xi</b>   |
| <b>ÇİZELGE LİSTESİ</b> .....   | <b>xiii</b> |
| <b>ŞEKİL LİSTESİ</b> .....   | <b>xv</b>   |
| <b>SEMBOL LİSTESİ</b> .....  | <b>xvii</b> |
| <b>ÖZET</b> .....  | <b>xix</b>  |
| <b>ABSTRACT</b> .....  | <b>xxi</b>  |
| <b>1. GİRİŞ</b> .....  | <b>1</b>    |
| <b>2. ISIL SİSTEMLERDE EKONOMİ ANALİZLERİ</b> .....  | <b>5</b>    |
| <b>3. BUHARLI GÜÇ SANTRALLERİ</b> .....  | <b>7</b>    |
| 3.1 Buharlı güç Santralleri Çalışma Prensibi .....   | 8           |
| 3.1.1 Buhar türbini ile çalışan santrallerin görevleri ve bölümleri .....                                      | 10          |
| 3.2 Sistemin Tanıtılması .....   | 12          |
| 3.2.1 Buharlı güç santrali hakkında genel bilgiler .....   | 12          |
| 3.2.1.1 Buharlı güç santralinin kömür ihtiyacının karşılanması .....   | 13          |
| 3.2.1.2 Buharlı güç santralinin su temini .....  | 13          |
| 3.2.1.3 Buharlı güç santralinin kül nakli ve stoklanması .....   | 13          |
| 3.2.2 Buharlı güç santralinin çalışma prensibi .....   | 13          |
| <b>4. TERMODİNAMİK TEMEL KAVRAMLAR</b> .....   | <b>17</b>   |
| 4.1 Termodinamiğin 1. Kanunu .....   | 18          |
| 4.2 Termodinamiğin 2. Kanunu .....   | 19          |
| 4.3 Eksergoekonomik Analiz .....   | 20          |
| <b>5. EKSERGOEKONOMİK ÇÖZÜMLEME YÖNTEMİ</b> .....  | <b>21</b>   |
| 5.1 Genel Ekserji Tanımlaması ve Kullanılabilirlik .....   | 21          |
| 5.2 Tersinmezlik ve Tersinir İş .....  | 22          |
| 5.3 Ekserji .....  | 23          |
| 5.4 Geleneksel Ekserji Bileşenleri .....   | 25          |
| 5.4.1 Fiziksel ekserji .....   | 26          |
| 5.4.2 Kimyasal ekserji.....  | 27          |
| 5.5 Ekserji Yıkımı ve Kaybı .....  | 27          |
| 5.6 Eksergoekonomik Analiz Yöntemleri .....  | 28          |
| 5.7 Ekserji Maliyeti .....   | 30          |
| 5.8 Eksergoekonomik Faktör .....   | 32          |
| <b>6. UYGULAMA SİSTEM ANALİZİ</b> .....  | <b>33</b>   |
| 6.1 Buharlı güç Santralinde Ekserji Analizi Uygulaması .....   | 33          |
| 6.1.1 Geleneksel enerji ve ekserji analizi .....   | 37          |
| 6.1.2 Santral bileşenlerini ekserji kayıplarının bulunması .....   | 37          |
| 6.2. Buharlı güç Santralinin Ekonomik Analiz İncelemesi .....  | 41          |
| 6.2.1 Santralin ekserji ve eksergoekonomik analizi .....   | 42          |
| 6.2.2 Buharlı güç santrali ekipmanlarının akım maliyetleri ve eksergoekonomik değerlerinin hesaplamaları ..... | 48          |



|                                      |           |
|--------------------------------------|-----------|
| <b>7. SONUÇLAR ve ÖNERİLER .....</b> | <b>65</b> |
| <b>KAYNAKLAR .....</b>               | <b>69</b> |
| <b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>                 | <b>73</b> |

## KISALTMALAR

|             |  |
|-------------|--|
| <b>ABT</b>  | : Alçak basınç türbini                 |
| <b>OBT</b>  | : Orta basınç türbini                  |
| <b>YBT</b>  | : Yüksek basınç türbini                |
| <b>ABSI</b> | : Alçak basınç besleme suyu ısıtıcısı  |
| <b>YBSI</b> | : Yüksek basınç besleme suyu ısıtıcısı |
| <b>GHM</b>  | : Gerekli hava miktarı                 |
| <b>KBP</b>  | : Kazan besleme suyu pompası           |
| <b>KTP</b>  | : Kondenser tahliye pompası            |
| <b>KH</b>   | : Kontrol hacmi                        |
| <b>MHM</b>  | : Minimum hava miktarı                 |
| <b>HFK</b>  | : Hava fazlalık katsayısı              |
| <b>BG</b>   | : Baca gazı                            |
| <b>PH</b>   | : Fiziksel ekserji                     |
| <b>CH</b>   | : Kimyasal ekserji                     |
| <b>PT</b>   | : Potansiyel ekserji                   |
| <b>KN</b>   | : Kinetik ekserji                      |
| <b>TKİ</b>  | : Türkiye Kömür İşletmeleri            |
| <b>ELİ</b>  | : Ege Linyit İşletmeleri               |
| <b>TEP</b>  | : Ton Eşdeğer Petrol                   |
| <b>GL</b>   | : Glend Kondenser                      |
| <b>EJ</b>   | : Ejektör                              |



## ÇİZELGE LİSTESİ

|   | <u>Sayfa</u> |
|---|--------------|
| Çizelge 3.1 : Türkiye’de birincil enerji talepleri .....                            | 8            |
| Çizelge 3.2 : Analizi Yapılan Buharlı Güç Santralinin Genel Bilgileri .....         | 12           |
| Çizelge 5.1 : Enerji ve ekserji arasındaki başlıca farklar.....                     | 25           |
| Çizelge 6.1 : Santral’ e ait belirlenen enerji değerleri .....                      | 36           |
| Çizelge 6.2 : Üniteye ait ktp ve kbp verileri .....                                 | 36           |
| Çizelge 6.3 : Buharlı güç Santrali Ünitesinin Enerji ve Ekserji Değerleri .....     | 37           |
| Çizelge 6.4 : Santraldeki ekipman maliyetleri.....                                  | 42           |
| Çizelge 6.5 : Eksergoekonomik eşitlikler .....                                      | 47           |
| Çizelge 6.6 : Ünite Komponentleri enerji kayıp oranları. ....                       | 59           |
| Çizelge 6.7 : Ünite Komponentleri için ekserji kayıp oranları .....                 | 60           |
| Çizelge 6.8 : Santral Komponentlerinin Enerji - Ekserji Kayıpları ve Verimleri .... | 61           |
| Çizelge 6.9 : Ünite Komponentlerine ait Z(\$/h), C(\$/h) ve f Değerleri .....       | 62           |



## ŞEKİL LİSTESİ

|  | <u>Sayfa</u> |
|--|--------------|
| Şekil 3.1 : Bir buharlı güç santrali akış şeması.....  | 9            |
| Şekil 4.1 : Sistem, sınır ve çevre .....   | 17           |
| Şekil 4.2 : Kapalı sistem şematik görünümü .....   | 18           |
| Şekil 4.3 : Açık sistem şematik görünümü .....   | 18           |
| Şekil 5.1 : Kullanılabilirlik kavramının şematik gösterimi .....   | 21           |
| Şekil 5.2 : Kullanılabilirlik ve tersinir iş ilişkisi.....   | 22           |
| Şekil 5.3 : Ekserji bileşenleri .....  | 26           |
| Şekil 5.4 : Eksergoekonominin diğer mühendislik alanları ile etkileşimleri ve optimizasyon yöntemi ..... | 28           |
| Şekil 5.5 : Speco yönteminin analiz şeması.....  | 30           |
| Şekil 6.1 : Buharlı güç santrali akış diyagramı.....   | 35           |
| Şekil 6.2 : Ünite komponentleri giren ve çıkan enerji değerleri.....                                     | 58           |
| Şekil 6.3 : Ünite komponentleri giren ve çıkan ekserji değerleri .....                                   | 59           |
| Şekil 6.4 : Ünite komponentleri enerji kayıp oranları .....  | 60           |
| Şekil 6.5 : Ünite komponentleri için ekserji kayıp oranları.....   | 61           |
| Şekil 6.6 : Bileşenlerin parasal giderleri.....  | 62           |
| Şekil 6.7 : Kayıp ekserji maliyeti (\$/h).....   | 63           |
| Şekil 6.8 : Eksergoekonomik faktör (f) .....   | 63           |



## SEMBOL LİSTESİ

|           |   |
|-----------|---|
| $A$       | : Bir değere getirilme faktörü, birimsiz      |
| $\dot{C}$ | : Ekserji fiyatı, \$/kj                       |
| $c$       | : Birim ekserji fiyatı, \$/kj.kg              |
| $C$       | : Özgül ısı, kJ/°C                            |
| $CELF$    | : Sabit eskalasyon düzeltme faktörü, birimsiz |
| $CRF$     | : Kapital geri kazanım faktörü, birimsiz      |
| $E$       | : Enerji, kW                                  |
| $\dot{E}$ | : Ekserji, kW                                 |
| $e$       | : Spesifik ekserji, kj/kg                     |
| $f$       | : Eksergoekonomik faktör, birimsiz            |
| $g$       | : Yer çekim ivmesi, m/s <sup>2</sup>          |
| $h$       | : Entalpi, kj/kg                              |
| $I$       | : Tersinmezlik, kJ                            |
| $i$       | : Özgül tersinmezlik, kj/kg                   |
| $\dot{m}$ | : Kütleli debi, kg/s                          |
| $Q$       | : Isı enerjisi, kJ                            |
| $P$       | : Basınç, Pa                                  |
| $S$       | : Entropi, kJ/K                               |
| $s$       | : Entropi, kj/kgK                             |
| $T$       | : Sıcaklık, °C, K                             |
| $V$       | : Hız, m/s                                    |
| $v$       | : Özgül hacim, m <sup>3</sup> /kg             |
| $W$       | : İş, J                                       |
| $y$       | : Yok edilen ekserji oranı, birimsiz          |
| $Z$       | : Toplam maliyet değeri, \$                   |
| $z$       | : Yükseklik, m                                |
| $\rho$    | : Yoğunluk, kg/ m <sup>3</sup>                |





# BUHARLI GÜÇ SANTRALLERİNİN PERFORMANS DEĞERLENDİRMESİNİN EKSERGOEKONOMİK YAKLAŞIMLA İNCELENMESİ

## ÖZET

Enerji sistemlerine termodinamik ve maliyet analizinin birlikte uygulanması neticesinde ortaya çıkan eksergoekonomik analiz, dünyamızın içerisinde bulunduğu ekonomik ve enerji sorunları ile her geçen gün önemi daha da artan en önemli konulardan biridir.

Termodinamik analiz bir sistemin sadece performansını değerlendirir. Eksergoekonomik analizde, sistemde kullanılan komponentlere ekserji analizi yapılır. Daha sonra aynı komponentler için maliyet denklemleri kurulur ve birim ürün ekserji maliyetleri belirlenir. En sonunda da sistemin birim ürün ekserji maliyeti bulunur ve sisteme etki eden parametreler tespit edilir. Bu nedenle termodinamik analiz ile maliyet etkisi birlikte değerlendirilerek optimum dizayn şartlarının belirlenmesi gerekir. Böylece, sistemin önce termodinamik analizi yapıp daha sonra da maliyet analizi ile ekonomik şartlar belirlenir ve hem termodinamik açıdan, hem de ekonomik açıdan en uygun çözümler elde edilebilir. Bu da, eksergoekonomik analiz kavramının temelini oluşturur.

Bu çalışmada, eksergoekonomik analiz metodu uygulanarak Türkiye’de çalışmakta olan buharlı güç santralının ünite ekipmanlarının değerlendirilmesi yapılmıştır. Uygulama bölümünde ise buharlı güç santralının ünitesinde belirlenen yirmi yedi düğüm noktasının termodinamik özellikleri belirlenmiş ve her bir düğüm noktasının enerji ve ekserji değerleri hesaplanmıştır. Bulunan sonuçlar ile her ekipmanın ayrı ayrı enerji ve ekserji dengeleri kurularak ortalama ekserji maliyetleri belirlenmiştir. Kayıp ve tahrip olan enerji ve ekserjileri bulunur, yok olan ekserji oranı belirlenerek eksergoekonomik faktörler çıkarılmıştır. Bütün bu verilerin doğrultusunda sonuçlar grafiksel olarak değerlendirilmiş ve ekipmanlar birbirleri ile karşılaştırılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Enerji analizi, Ekserji analizi, Eksergoekonomi, Buharlı güç santrali



# EXAMINATION OF PERFORMANCE EVALUATION OF STEAM POWER PLANTS WITH AN EXERGOECONOMIC APPROACH

## ABSTRACT

Exergoeconomic analysis resulting from the combined application of thermodynamics and cost analysis to energy systems is one of the most important subjects that are increasing in importance day by day with the economic and energy problems in our world.

Thermodynamic analysis only evaluates the performance of a system. In the exergoeconomic analysis, exergy analysis is performed to the components used in the system. Then, cost equations for the same components are established and the unit product exergy costs are determined. In the end, the unit product exergy costs are found and the parameters affecting the system are determined. For this reason, it is necessary to determine the optimum design conditions by evaluating thermodynamic analysis and cost effect together. Thus, the thermodynamic analysis of the system first is done and then the economic conditions are determined by cost analysis and the most suitable solutions can be obtained from both thermodynamic and economically. This is the basis of the concept of exergoeconomic analysis.

In this study, evaluation of a steam power plant equipment unit working in Turkey was made by applying the exergoeconomic analysis method. Thermodynamic properties of the twenty-seven nodes determined in the unit of the steam power plant and energy and exergy values of each node were calculated. The average exergy costs were determined by establishing individual energy and exergy balances of each equipment with this results. The lost and destroyed energy and exergy were found and the exergoeconomic factors was emerged by determining the exergy rate. As a result of all these data, the results were evaluated graphically and the equipments were compared with each other.

**Keywords:** Energy analysis, Exergy analysis, Exergoeconomics, Steam power plants.



## 1. GİRİŞ

Dünya’da nüfus artışıyla, kentlerin gelişimi ve sanayileşmenin yükselişi enerji ihtiyacının yükselişini beraberinde getirmiştir. Teknolojik gelişmeler ile yaşamımızı kolaylaştıran birçok makine ve cihaz günlük hayatımızda kullanılmaktadır. Enerji arzındaki artış ve büyük işletmelerin emek - yoğun çalışmaları zamanla teknoloji - yoğun üretim yöntemlerini gündeme getirmesiyle sanayinin enerji arzının artmasına sebep olmuştur. Böylece enerji ihtiyacı bütün dünyada artarak devam etmektedir. Enerji talebindeki bu yükseliş arz güvenliğinin sağlanabilmesini gündeme getirmektedir. Bu güvenin sağlanabilmesi için ise alternatif enerji politikaları geliştirilmeli ve yeni teknolojiler geliştirilmelidir. Enerji kaynaklarının gün geçtikçe azalması, enerji sürdürülebilirliğini önemli hale getirmektedir. Enerji dönüşümünün alternatif enerji kaynaklarındaki yerinin geliştirilmesi ve kullanılan kaynakların verimli olarak tüketilmesi gerekmektedir.

Araştırmalardaki yayınlar ve çalışmalar ekserji kavramının anlaşıldığını ve termodinamik enerji ve ekserji sistemlerinin analizleri üzerine kitaplar yazıldığı görülmektedir. Bu sistemlerin araştırmalarında analizlerin temelleri, prosesleri ve sistem bileşenlerindeki uygulamalar incelenmiştir. Geliştirilecek sistemlerin farklı çalışmalara kılavuz olmaları hedeflenmektedir. Tez çalışmasında çeşitli araştırmalar yapılarak faydalanılan içerikler özetlenerek aşağıda verilmiştir;

Boles ve Çengel ( 2007 ) kitaplarında, termodinamiğin konularını ve ekserji konusunun oldukça geniş biçimde işlemiş, içeriğin anlaşılacak şekilde örneklendirerek ekserji konusu için yararlı bir kitabı ortaya çıkarmışlardır [1].

Güngör ve Yıldırım (2012) tarafından bir santralin ekserji analizi yapılarak sistemin ekserji maliyet analizinin (SPECO) yöntemi uygulanarak ekserji üzerine ekonomik analiz gerçekleştirilmiştir. Santralde üretilen elektriğin birim ekserji maliyetini 4,48 \$/GJ olarak hesaplanmıştır [2].

Ehyaei ve arkadaşları (2012) tarafından yapılan çalışmalarda dizel motorların binalarda ısı, soğutma ve elektrik taleplerini karşılaması için kullanılabilirliği analizi incelenmiştir, yaz ve kış aylarında bu uygulamayı Tahran’da 10 kat olan ve 40 dairesi bulunan bir binanın modelini almışlardır. Tasarımların ekserji ve ekonomi analizlerini

ayrı olarak analiz etmişlerdir. Böylece tesisin elektrik maliyetinin ortalama 0,05 \$/kWh olacağını bulmuşlardır [3].

Mert ve arkadaşları (2012) tarafından yapılan çalışmada, bir fabrikanın doğalgaz gaz türbinli kojenerasyon sisteminin ekserji ve ekonomik analizi gerçekleştirilmiştir. Tesisin yapılan analizinde en fazla ekserji yıkımının yanma odasının gerçekleştirdiği ve bu durumun sistem performansı bakımından geliştirecek potansiyele sahip olduğu, tesisteki en yüksek verimin gaz türbininde olduğu ve en az ekserji yıkımının burada gerçekleştiği gözlemlenmiştir [4].

Abuşoğlu arkadaşları (2009) bir tesiste iyileştirme çalışmaları yapılarak elde edilmiş sonuçlarla en iyi koşullarda sistem üretim maliyetleri hesaplanmıştır. Sistemin bulunan şartlarda elektrik üretimindeki birim maliyeti 0,089 \$/kWh olarak iyileştirmeler yapıldığında 0,067 \$/kWh olacağı ve hazır sistemin buhar maliyetinin 0,0522 \$/kg olduğu iyileştirme gerçekleştiğinde 0,045 \$/kg olarak düşeceği gözlemlenmiştir [5].

Kotas (1995), “*The Exergy Method of Thermal Plant Analysis*” adlı eserinde ekserji kavramının bağıntılarının temellerini göstermiş, termal proseslerin analizlerini incelemiş, farklı sistemlerin ekserji analizlerini aktarmıştır. Ekserjide termoekonomiğin uygulamalarına geliştirilmiş yöntemler anlatılmıştır [6].

Rosen (2001), tarafından yazılan makalede kömür santrali ve nükleer güç santralleri arasında enerji ve ekserji temelli karşılaştırmalara bakıldığı görülmüştür. Enerji ve ekserji verimliliği kömür santralinde daha fazla olduğu, nükleer santralin verimliliğinin daha düşük olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Nükleer santrali için 30% ve 36% , kömür santralinin ise enerji ve ekserji verimlerini sırayla 37% ve 36% bulmuştur [7].

Oktay (2005) tarafından 2\*160 mW gücündeki akışkan yataklı olan buharlı güç santraline enerji ve ekserji analizleri yapılmıştır. Buharlı güç santrali enerji verimi 37% olarak, ekserji verimi ise 36% bulunmuştur. Santralin buhar üretimi için enerji veriminin 94% , ekserji veriminin 52% olduğu bulunmuştur [8].

Tsatsaronis (1993), tarafından bir enerji prosesine, mühendislik ekonomisinin genel kavramları ile ekserji analizi uygulanarak, enerji tesisinin optimal tasarımını ve performansını görmek için bir termoekonomik analiz uygulamasıdır [29].

Tsatsaronis - Moran (1997), yaptıkları çalışmada ekserji verimi, kayıp ekserji miktarı, ekserji kayıp oranı, kayıp ekserjinin maliyeti gibi termoekonomik değişkenleri kullanarak yakıt olarak doğal gaz kullanılan bir elektrik güç kojenerasyon sisteminde minimum maliyet analizini gerçekleştirmişlerdir [30].

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 eksergoekonomik analiz yapılarak enerji verimliliği çalışmaları yürütülebilir.

Sistem halinin çevre haline uzaklığının bir ölçüsü sayılan ekserji, yok edilebilir ve genelde korunmaz. Bir sistemin ekserjisi, mevcut sistem şartlarının çevreyle aynı koşullara getirilme sonucunun sistemden elde edilecek en yüksek yararlı iş olarak tanımlanmaktadır. Ekserji analizi çalışmaları sonucunda, sistemler verimlilik ve ekonomik açıdan değerlendirilebilir.

Ekserji analizinin termodinamik analiz veya ekonomik değerlendirme yöntemleri ile elde edilemeyen parametreler olabilir. Ekserji analizinin ekonomik temeller ile birleştirilmesiyle, sistemin maliyet etkin tasarımı ve işletilmesi için gerekli ve önemli olan bilgiler, eksergoekonomik analizden elde edilebilir.

Literatürde termoekonomik analiz de denilebilen, eksergoekonomi, bir enerji dönüşüm sisteminin çevresindeki ve içerisindeki termodinamik verimsizliklerin parasal maliyetler ile ilişkilendirilebildiği tek rasyonel temel olan ekserji kavramına dayanmaktadır. Eksergoekonomik analizden elde edilen sonuçlar temelinde yüksek enerji verimine ve düşük maliyete sahip sistemler tasarlanabilir [9].





## 2. ISIL SİSTEMLERDE EKONOMİ ANALİZLERİ

Enerji kaynaklarının sürekli azaldığı günümüzde ısıl proseslerin termodinamik analizi, proseslerde kullanılan enerjinin etkin ve verimli kullanımı açısından büyük önem taşımaktadır. Bununla birlikte ülkemizdeki enerji maliyetlerinin yüksek olması enerji kullanımını konusunda sektörel baz da işletmelerin daha dikkatli olmasını gerektirmektedir [41]. Bir sistemin tasarımına ilişkin termodinamik değerlendirmeyi ekserji analizi ile gerçekleştirmek mümkündür. Ekserji Analizi, sistem yıkımını ve savurganlıklarını gerçek boyutlarını belirleyerek enerjilerin daha verimli kullanılmasına olanak sağlayan bir yöntemdir. Termodinamik sistemlerin değerlendirilmesi için güçlü bir analiz yöntemidir.

Tasarlanan sistemin termodinamik yönden uygun olması her zaman ekonomik yönden de uygun olacağı anlamını taşımamaktadır. Tasarlanan bir sistemin, tersinmezliklerini azaltmak için değiştirilen boyutlar, tesisin yatırım maliyetinin artmasına neden olacaktır [10].

Bu nedenle ekserji analizi maliyet analizi ile birleştirilerek ekserji ekonomik analiz adını almıştır. Ulaşılmak istenen hedef maliyet-verimli sistem tasarımlarının oluşturulmasıdır. Eksergoekonomik analiz, ekserji analizi, ekonomik analiz, ekserji maliyeti ve eksergoekonomi aşamalarını içermekte ve genellikle sistem elemanları seviyesinde uygulanmaktadır. Sistemdeki tüm kütle ve enerji akımları ile ilgili maliyetler hesaplanarak her elemanda meydana gelen termodinamik verimsizlikle (ekserjinin yıkımı/kayıp) belirlenir. Sistemdeki her elemanın ekserji yıkım maliyeti ile yatırım maliyetlerinin karşılaştırılması, elemanın maliyet verimini artırmada kullanılabilecek faydalı bilgilerin ve sistemin kritik noktalarındaki yapısal ve parametrik değerlerdeki değişimlerin ortaya çıkarılmasını sağlar. Ekserji analizi bir ısıl sistemdeki termodinamik verimsizliklerin yer, büyüklük ve kaynaklarını belirler. Farklı çalışma yöntemiyle sağlanamayan bu bilgi genel verimi ve maliyet verimini arttırmada oldukça faydalıdır [11]. Eksergoekonomik analiz, sistemin tüm elemanlarına ait ekserji analizi sonucunda elde edilen giriş ve çıkışlardaki ekserjilerin maliyetlerinin belirlenmesini sağlamaktadır. Sistemdeki madde ve enerji akışlarının maliyetleri, her sistem elemanı için ayrı ayrı yazılan maliyet dengesi ve ilave maliyet denklemleri yardımıyla hesaplanır. Böylece sistemin termodinamik özelliklerinin ekonomik eşdeğerlerinin bilinmesi, ürün ve yakıtların gerçek maliyetlerinin

belirlenmesinin yanı sıra araştırma ve geliştirme çalışmaları için de yeterli düzeyde bilgi edinimine olanak sağlamaktadır [12]. Bir sistemin bir birim ekserji üretebilmesi için harcaması gereken ekserji miktarına birim ekserji maliyeti adı verilir. Hesaplamalara harcanan yakıtın ekonomik maliyetiyle birlikte sistemin kurulum ve işletim maliyetlerini de katarak elde edilen kütle veya enerji akışının sağlanması için gerekli para miktarı, parasal maliyet olarak ifade edilir [13]. Ekonomik ve eksergoekonomik analizler ile ilgili olarak Bejan [14] özellikle mühendislik yaklaşımıyla bu konuda oldukça faydalı bilgiler vermektedir. Eksergoekonomik analizin yapılabilmesi için sistemdeki ürün oluşum sürecini ve bu süreç sonunda ortaya çıkacak olan ürün hacmini belirleyen en önemli faktörlerden biri maliyetlerdir. Bir ürünün elde edilmesi veya üretilmesi için ödenen her türlü kaynak olarak tarif edilen sabit maliyet, değişken maliyetler olmak üzere iki kısımda incelenebilir. Maliyetler: Sistemin sabit olarak (tesis, araç) ilk yatırım ve kurulumu için yapılan harcamalar ile vergiler, sigortalar, amortisman bedeli vb. diğer maliyetlerdir. Bakım masrafları da (programlı bakım) zaman, zaman bu kategori içinde yer alabilir. Değişken maliyetler: Yakıt, çalışanların ücretleri, kaynaklar, hammadde, enerji ve eskalasyon şeklindeki maliyetlerdir. Üretim hacmi üzerinde değişken maliyetlerin doğrudan etkisi bulunmaktadır. Bir sistemin ekonomik analizinde ilk adım genelde toplam ilk yatırım maliyetlerinin belirlenmesidir. Yakıt ve işletme-bakım gibi değişken maliyetlerden farklı olarak ilk yatırım maliyetleri, sistemin çalışma ömrü boyunca bir defa olmak üzere yapılan harcama türüdür. Dolayısıyla devamlı yapılan harcamalar ile bir defa yapılan harcamaları aynı tür altında toplayabilmek için bir takım farklı düzenlemeler gerekmektedir.

### 3. BUHARLI GÜÇ SANTRALLERİ

Enerji santrallerinin kapasiteleri belirlenip üzerinde iyileştirmeler yapılması, üretilen enerjinin boşa harcanmaması için önemlidir. Yani verimliliği arttırıp enerji üretimini maksimuma taşımaktır. Santralde iyileştirmeler yapılabilmesi için mevcutta birçok teknoloji oluşturulmuş ve yeni teknolojiler de geliştirilmektedir. Buharlı güç santralleri yakıtlarda bulunan kimyasal enerjiyi ısı enerjisine, bu enerjiyi mekanik enerjiye ve oluşan mekanik enerjiyi de elektrik enerjine dönüştüren sistemlerdir. Fosil yakıtlı enerji santralleri kullanılan yakıtta göre katı (kömür), sıvı(fueloil), gaz (doğalgaz) olmak üzere üçe ayrılır [15].

Dünyada ve ülkemizde elektrik enerjisinin büyük bir bölümü buharlı güç santrallerinden karşılanmaktadır. Buharlı güç santralleri, yoğuşturucudan pompa yardımıyla besleme suyu ısıtıcılarına gönderilen taşıyıcı akışkanın ısıtıldıktan sonra yüksek basınçla kazana gönderilip, kazanda yakıtın yakılması sonucu ortaya çıkan ısı enerjisiyle ısıtılıp kızgın buhar olarak türbin gurubuna gönderilerek elde edilen ısı enerjisi mekanik enerjiye ve daha sonra elektrik enerjisine dönüştürüldüğü sistemlerdir. Buharlı güç santralleri temel olarak Rankine çevrimine göre çalışan santrallerdir. Türbin grubundan çıkan çürük buhar yoğuşturucuya gider ve burada soğutulup sıvı hale geçtikten sonra tekrar pompaya gönderilir ve böylece çevrim gerçekleştirilmiş olur. Fosil yakıtlar olarak petrol, kömür, gaz ürünleri kullanılmaktadır [16].

Dünyada ve ülkemizde elektrik enerjisinin büyük bir kısmı birincil enerji kaynaklarından (kömür, petrol, doğal gaz, vb.) yani buharlı güç santrallerden üretilmektedir. Çizelge 3.1 'de Türkiye'de elektrik üretiminde kullanılan kaynakların 2016 yılı dağılımını görebilirsiniz.

**Çizelge 3.1:** Türkiye’de Birincil Enerji Talepleri [17]

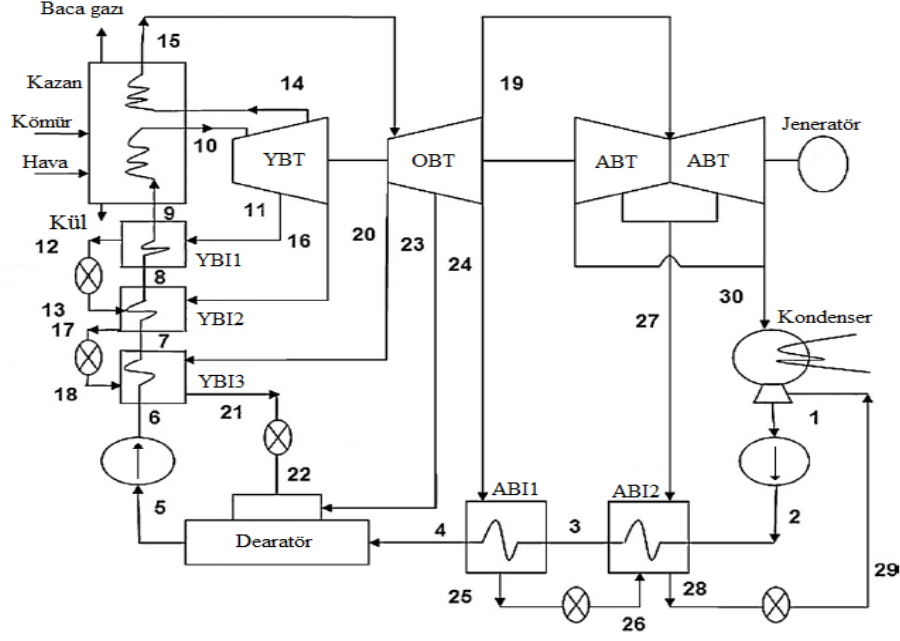
|                                  | 2013<br>(bin tep) | 2013<br>(%) | 2014<br>(bin tep) | 2014<br>(%) | 2015<br>(bin tep) | 2015<br>(%) |
|----------------------------------|-------------------|-------------|-------------------|-------------|-------------------|-------------|
| <b>Doğalgaz</b>                  | 37.628            | 32,4        | 40.201            | 33,3        | 39.651            | 30,7        |
| <b>Kömür*</b>                    | 33.433            | 28,7        | 36.682            | 30,4        | 37.514            | 29,0        |
| <b>Petrol ve Petrol Ürünleri</b> | 32.130            | 27,6        | 31.625            | 26,2        | 36.367            | 28,1        |
| <b>Hidrolik</b>                  | 5.110             | 4,4         | 3.495             | 2,9         | 5.775             | 4,5         |
| <b>Jeotermal – Diğer Isı</b>     | 2.636             | 2,3         | 3.524             | 2,9         | 4.805             | 3,7         |
| <b>Biyoenerji ve Atıklar(**)</b> | 3.398             | 2,9         | 3.246             | 2,7         | 2.937             | 2,3         |
| <b>Rüzgâr</b>                    | 650               | 0,6         | 733               | 0,6         | 1.002             | 0,8         |
| <b>Güneş</b>                     | 795               | 0,7         | 803               | 0,7         | 828               | 0,6         |
| <b>Elektrik</b>                  | 533               | 0,5         | 439               | 0,4         | 339               | 0,3         |
| <b>Toplam</b>                    | 116.314           |             | 120.747           |             | 129.217           |             |

(1) Linyit kömürü, taş kömürü, asfaltit ve bunlardan türetilen gaz toplamını ifade eder.

(2) Bitkisel ve hayvansal atıklar, odun biyoyakıtlar toplamını ifade eder.

### 3.1 Buharlı güç Santralleri Çalışma Prensibi

Buharlı güç santralleri temel olarak buharlı güç çevrimine başka bir deyişle Rankine çevrimine göre çalışan santrallerdir. Şekil 3.2’de örnek bir buharlı güç santrali akış şeması verilmiştir. Çevrim kondenserden çıkan su ile başlar. Kondenserden çıkan doymuş sıvı halindeki su düşük basınçta onu sıkıştırarak pompaya yönlendirilir. Pompada sıkıştırılan su basıncı artırılarak alçak basınç ısıtıcılarına (ABI) gönderilir. Alçak basınç ısıtıcıları türbinlerden ara buhar alma yöntemiyle alınan buharın ısısını kullanarak ana çevrimdeki suyu ısıtıp sıcaklığını arttırmakta kullanılan ısı değiştiricilerdir. Bu işlem alçak basınçta gerçekleştiği içinde alçak basınç ısıtıcıları olarak anılırlar. Alçak basınç ısıtıcılarından çıkan su deaeratore iletilir. Deaeratore, su pompaya gitmeden önce suyun içindeki buharın arındırılmasını sağlar. Böylece su, besleme suyu pompasına doymuş sıvı olarak gönderilir. Besleme suyu pompası suyu yüksek basınca sıkıştırır ve yüksek basınç ısıtıcılarına (YBI) yönlendirir. Yüksek basınç ısıtıcıları, alçak basınç ısıtıcıları gibi türbinlerden alınan buhar yardımıyla ana çevrimdeki suyun ısıtılmasını sağlayan ısı değiştiricilerdir. Yüksek basınç ısıtıcılarından çıkan su yüksek basınçta kazana girer.



Şekil 3.1: Bir Buharlı Güç Santrali Akış Şeması [24].

Kazan, içerisinde brülörlerin bulunduğu yanma kısmı ve onun üzerinde sıralanmış boru demetlerinden oluşur. Kömür kazan içine yukarıdan püskürtülür ve yakılır. Aşağı düşerken yanan kömür daha sonra kül olarak alt kısımdan alınır. Yanan kömür üst kısımda bulunan boru demetlerinden geçen yüksek basınçtaki suyu ısıtır ve su kazandan kızgın buhar olarak çıkar. Kazandan çıkan kızgın buhar yüksek basınç türbinine (YBT) yönlendirilir. Daha sonra yüksek basınç türbininden çıkan buhar tekrar kazana gönderilir ve tekrar ısıtıldıktan sonra orta basınç türbinine (OBT) iletilir. Orta basınç türbininden çıkıp alçak basınç türbininden (ABT) geçer. ABT türbininden çıkan basınç ve sıcaklığı düşmüş buhar kondensere tekrar gider ve soğutma suyu yardımıyla soğutulur ve tekrar doymuş sıvı haline getirilir ve pompaya yönlendirilir. Böylece buharlı güç çevrimi tamamlanmış olur. Türbinler aynı mil üzerinde olup aynı zamanda bu milin birinde jeneratör bulunmaktadır. Türbinden geçen buhar türbin kanatlarına çarparak milin döndürür. Böylece jeneratör elde edilen bu milin işini elektrik enerjisine çevirir ve dağıtım yapılmak üzere santral alanındaki şalt sahasına iletilir. Santrallerde kullanılan kömür genel olarak yakında bulunan maden sahasından konveyör bant sistemiyle getirilir. Kazandan çıkan yanma sonucu baca gazları ise filtrelerden geçirilerek doğal sirkülasyon veya soğutma suyu yardımıyla bacalarda arındırıldıktan ve soğutulduktan sonra doğaya bırakılırlar.

Buharlı güç santralleri temel olarak bu prensibe göre çalışmaktadırlar. Yukarıda örnek olarak verilen santral iki adet alçak basınç, üç adet yüksek basınç ısıtıcıları, yüksek, orta ve alçak basınç türbinlerinden oluşan türbin grubu, deaerör, düşük ve yüksek basınç pompaları ve kazandan oluşmaktadır. Bu sistemin tamamı santralin bir ünitesidir. Günümüzde var olan santraller bu ve buna benzer bir veya birden fazla ünitelerden oluşmaktadırlar. Temel olarak benzer sistem yapısına ve akış şeması sahip bu santrallerde sistem içindeki elemanların sayısında değişiklikler olmaktadır. Örneğin, bazı santrallerde üç adet alçak basınç ısıtıcısı, iki adet yüksek basınç ısıtıcısı vardır, yani eleman sayıları değişiklik göstermektedir [24].

### **3.1.1 Buhar türbini ile çalışan santrallerin görevleri ve bölümleri**

Kömürün yakılması sonucunda elde edilen enerji ile çalışan santraller, üretilen buhar ile türbinler vasıtasıyla alternatöre aktarılarak elektrik enerjisi üretir ve bu santrallerde kullanılan kömürler düşük kalorili linyit kömürleridir.

Çevrimde üretilen elektrik enerjisi aynı zamanda düşük kalorili kömürlerin kullanılıp değerlendirilmesi anlamına da gelmektedir. Buharlı güç santrali bölümleri ve görevleri aşağıdaki gibidir.

1. **Stok Sahası:** Santral binasında kömürün konveyörlere girmeden depolandığı alan.
2. **Kömür konveyörleri:** Kazan'da yakılacak kömürün taşınmasını sağlayan hatlar.
3. **Değirmen:** Bunkerden alınan kömürün öğütülerek toz haline getirildiği yer.
4. **Süzgeç:** Değirmenden gelen kömürün süzülmesi prosesi.
5. **Yakıcı:** Süzgeçten geçerek yanma odasına toz halinde ulaşan kömürün püskürtme yaparak yanmasını sağlayan bölümdür.
6. **Luvo:** Kazana taze hava temini yaparak yanma için gerekli olan havanın ön ısıtma yapıldığı yer.
7. **Kazan:** İçinde kömürün yakıldığı bölüm.
8. **Elektro filtre:** Baca içerisinde bulunan kül tanelerinin elektrostatik filtreler yardımıyla baca gazından ayrıştırıldığı birimdir.
9. **Baca:** Kazan içerisinde yanma sonucu oluşan gazların ve dumanın dışarıya aktarıldığı yerdir.
10. **Ekonomizer girişi:** Baca gazı ile kazan besleme suyunun ısıtıldığı bölümdür.
11. **Flaş buhar tankı:** Ekonomizer ve kazan borularından gelen suyun depolandığı ve yarıya kadar su diğer yarıya buhar olan tanktır.

12. **Kızdırıcı boruları (Sıcaklığı düşük) :** Kazan içerisindeki suyun eşanjörler ile ön ısıtma yapıldığı borulardır
13. **Kızdırıcı boruları (Sıcaklığı yüksek):** Flaş buhar tankında bulunan 355 °C buharın 535 °C ye kadar yükseltilebildiği bölümdür.
14. **Buhar Türbini (Yüksek basınç):** Kazandan çıkan ve kızgın halde olan yüksek basınçlı buharın türbine ilk girdiği ekipmandır. Çevre sıcaklığında (ortam sıcaklığında) belirtilen türbin kanatlarına 535 °C’de bulunan kızgın buhar türbine ilk girdiğinde malzeme yapısında şoklama etkisi yapabileceğinden dolayı buhar belli aralıklar ile türbine verilir.
15. **Buhar Türbini (Orta basınç):** Yüksek basıncın türbininden çıkıp sıcaklığı ve basıncı belirli oranda düşmüş buharın ikinci kısımda yani orta basınç türbinine verilen kısımdır.
16. **Buhar Türbini (Alçak basınç):**Türbinin ikinci kısmından yani orta basınç bölümünden sıcaklığı ve enerjisi biraz daha düşüp çıkan, buharın alçak basınç buhar türbinine verildiği yerdir.
17. **Kondenser:** Türbinden son buharın ayrıldığı yani çürük buharın toplandığı yerdir.
18. Kazan besleme suyu tesisatı
19. **Degazör:** Kondenserden yoğunlaşmış olarak gelen sıcak suyun ve kazan besleme pompalarından gelen suyun depolandığı ve kazana göndermeden önce kazan besleme suyunun korozif maddelerden arındırıldığı prosestir.
20. **Besleme suyunun tankı:** Degazörden çıkan suyun korozif maddelerden arınarak ısıtıcı eşanjörlerine verilen burdada ısıtılan suyun depolandığı su tankıdır.
- 21.**Buhar ejektörü:** kondenserin içinde bulunan havayı alarak kondenserin içindeki basıncı atmosfer basıncının altında tutmaktadır. Akışkan olarak kazandan çıkan kızgın buhar kullanılır. Ejektörün çıkışında gaz + buhar vardır. Kondenserden emilen hava ile beraber kullanılan buharıda atmosfere atar. Atmosfer basıncının kondenser ile bağlantısını keser yani atmosfer basıncıyla kondenser arasında tıpa işlevini görür.
22. Su ısıtıcısı (Alçak basınç)
23. Su ısıtıcısı (Yüksek basınç)
24. **Elek [Filtre]:** Su havuzundan çıkan suyun filtrelendiği yer.
25. Soğuksu tesisatı
26. Sıcaksu tesisatı
27. **Soğutma kuleleri:** Kondenser de türbinden çıkan ölü buharı yoğunlaştıran soğuksu, ısı alışverişi ile ısınır. Kondenserde ısınan bu soğutma suyu sisteme tekrar



verilmek üzere soğutma kulelerinin üst tarafından yağmurlama şeklinde püskürtülerek soğuması sağlanır.

28. **Su Tasfiye Sistemi:** Barajdan çekilen suyun arıtılarak saf su şekline dönüştüren ünitelerdir.

29. **Alternatör:** Türbin mili ile birleşik olarak çalışan ve milden aldığı hareket ile mekanik enerjiyi elektrik enerjisine çeviren makinalardır.

### 3.2 Sistemin Tanıtılması

#### 3.2.1 Buharlı güç santrali hakkında genel bilgiler

Buharlı güç santrali 9 310 000 ton/yıl linyit kömürü tüketerek 6.721.000.000 kw/h elektrik enerjisi üreten her biri 22x2=44 mW ve 165x6=990 mW toplam kurulu gücü 1034 mW olan bir buharlı güç santralidir [19].

Projenin maden bölümü TKİ Genel müdürlüğüne bağlı ELİ Bölge müdürlüğü tarafından karşılanmaktadır [19].

Buharlı güç santrali kullanım sahası 1.752.000 m<sup>2</sup> tesisin işgal ettiği alan 1.077.000 m<sup>2</sup> sosyal ve idari tesislerin alanı 42.700 m<sup>2</sup> yeşil alan 32.000 m<sup>2</sup> boş alan 600.300 m<sup>2</sup> ve ayrıca ayıtlı kül barajı da 1.700.000 m<sup>2</sup> alanı kaplamaktadır [19].

**Çizelge 3.2:** Analizi Yapılan Buharlı Güç Santralinin Genel Bilgileri

|   |  |
|---|--|
| <b>Kurulu Güç :</b>                               | <b>6x165= 990 mW</b>   |
| <b>Nominal Yıllık Üretim Kapasitesi :</b>         | 6.435.000.000 kWh  |
| <b>Yapımcı Firma :</b>                            | SESTLMACE-SKODA GAMA   |
| <b>İşletmeye Alınış Tarihi:</b>                   | 1. ünite : 29.09.1981  |
|   | 2. ünite : 02.08.1982  |
|   | 3. ünite : 26.05.1985  |
|   | 4. ünite : 20.02.1986  |
|   | 5. ünite : 02.08.1991  |
|   | 6. ünite : 25.03.1992  |
| <b>Kullanılan Yakıtın Cinsi :</b>                 | Linyit Kömürü  |
| <b>Kömürün Alt Isıl Değeri (Tasarım Değeri) :</b> | 2800 ±% 10 kcal/kg (1-4. ünite)<br>1550 ±% 10 kcal/kg (5-6. ünite) |
| <b>Kömür Tüketimi (Tasarım Değeri) :</b>          | 1,467 g/kWh  |
| <b>Kömürün kül / nem oranı :</b>                  | % 41- % 21 (1-4. ünite)  |
| <b>Kömürün kül / nem oranı :</b>                  | % 51- % 21 (5-6. ünite)  |
| <b>Kazan Tipi :</b>                               | Tabii sirkülasyonlu-radyasyonlu                                    |
| <b>Türbin Tipi :</b>                              | Üç Kademeli Kondenserli  |
| <b>Nominal Yükte Buhar Tüketimi :</b>             | 525 t/h  |
| <b>Buhar Giriş Sıcaklığı :</b>                    | 540 °C   |
| <b>Buhar Giriş Basıncı :</b>                      | 132 kg/cm <sup>2</sup>   |
| <b>Jeneratör Tipi :</b>                           | Hidrojen soğutmalı - Statik ikazlı                                 |

### **3.2.1.1 Buharlı güç santralinin kömür ihtiyacının karşılanması**

ELİ Bölge müdürlüğü buharlı güç santralde yakılacak kömürleri, merkez bölge Kısırakdere, Işıklar, Eynez, Elmalı, Darkale ocakları ve deniz bölgesinden çıkartarak santrale bantlarla ve özel firmalara ait kamyonlarla kömür hazırlama tesislerine teslim şartıyla karşılamaktadır [19].

### **3.2.1.2 Buharlı güç santralinin su temini**

Santralin ihtiyacı olan suyu sağlayan ve kullanma hakkı sadece santrale, ait olan ve 120.963.000 m<sup>3</sup> hacimli sevişler barajından temin edilmektedir. Sevişler barajı santrale 13 km uzaklıkta olup, 80 cm çapında 3 adet çelik borularla su getirilmektedir. Santralin saatteki su ihtiyacı 3750 tondur [19].

### **3.2.1.3 Buharlı güç santralinin kül nakli ve stoklanması**

Santral da yılda ortalama 9.320.000 ton/yıl kullanılan kömürün yakılarak açığa çıkartılan 5.000.000 ton/yıl kül 7 litre su ile karıştırılarak hidrolik sistemde 4 km uzaklıktaki ayıtlı kül barajına sevk edilmektedir barajın toplam alanı 1.700.000 m<sup>2</sup> dir. Yanma sonucu açığa çıkan külün yaklaşık olarak 53.000 ton/yıl kadarı da özel firmalara satılıp, ekonomiye katkı sağlamaktadır [19].

### **3.2.2 Buharlı güç santralinin çalışma prensibi**

E.L.İ (Ege Linyitleri İşletme) bölge müdürlüğü tarafından santralin kömür hazırlama fabrikalarında 0-30 mm ebadında hazır hale getirilerek stok sahasına serilmektedir. Buharlı güç santralinin stok sahası santralin 30 günlük kömür ihtiyacını karşılayacak büyüklüktedir. Değirmen ve elek işleminden sonra stok sahasına alınan 2800 kcal/kg kömürleri 1,2,3 ve 4.gruplara ait bunkerlere taşıma kapasitesi her biri 800 ton/saat kapasiteye sahip yedekli iki konveyör bantla taşınması sağlanır. 5 ve 6. Grup'lar için ayrılan stok sahasından 1550 kcal/kg kömürleri bunkerlere taşıma kapasitesi her biri 800 ton/saat kapasiteye sahip yedekli iki adet konveyör bant ile taşınması sağlanır. 7 ve 8. Grup'lar için ayrılan stok sahasından 3250 kcal/kg kömürleri kömür bunkerlerine 2 adet 100 ton saat kapasiteli bantlar ile taşınır biri yedektir.

1,2,3 ve 4. Gruplarda kazanların çalışma dengesi için 4 ayrı köşesine her biri 537 m<sup>3</sup> olan kömür bunkerleri yerleştirilmiştir. Kazanları besleyen 6 tane 37 ton/saat

öğütme kapasitesine sahip değirmenler vardır. 5. ve 6. Grup'lar için kömür bunkerleri her biri 450 m<sup>3</sup> 6 tane kazanın sağında ve solunda yer almaktadır. Her kazanda 6 tane 65 ton /saat öğütme kapasitesine sahip değirmenler vardır. 7 ve 8. Grup'lar için kömür bunkerleri her biri 65 ton olarak 2 kömür bunkerleri 42 ton olarak 2 kömür bunkerleri toplam 4 adet bulunmaktadır. Kazanların güney kısmına yerleştirilmişlerdir her kazanda 2 büyük değirmen 12.300 ton/saat kapasiteli 2 adet küçük değirmen 5.300 ton/saat kapasiteli 4 adet değirmen bulunmaktadır. Öğütülen kömür değirmenin vantilasyon tesiri ile kazan içine toz halinde püskürtülerek yakılmaktadır.

Yanma sonucu ortaya çıkan küller ve egzoz gazları birlikte bacaya giderek elektrostatik kül tutucu filtreler ile %99 oranında tutulmaktadır. Baca yükseltmeleri 1 ve 2. gruplar için 1 adet 152 m, 3 ve 4. gruplar için 1 adet 152 m, 5 ve 6. Gruplar için 1 adet 275 m, 7. ve 8. gruplarda ise 1 adet 60 m olup meteorolojik koşulları ve coğrafi koşulların etkisi ile de gazı ve kül çevreye zarar vermeyecek ölçüde düşürülür.

Elektrostatik tutucularda bulunan küller ve cürufklar suyla karıştırıldıktan sonra hidrolik kül nakli sistemiyle kül gölüne stoklanır ve dolacak baraj kademelerinin üzeri ileride toprakla kaplanarak düzgün tarım alanı haline getirilecektir.

Santralde soğutma amacı ile kullanılan soğutma suyu 13 km uzakta olan sevişler barajından tedarik edilmektedir. Su tasfiye tesislerinde, yumuşak su ve saf su olarak arıtılarak su sisteme dahil edilir.

Kömürün yanması sonucu kazandaki suyun sıcaklığı 540 °C ve 132 kg/cm<sup>2</sup> basınçlı kızgın buhar haline dönüşür, 1 kazan saatte 525 ton buhar üretir. Üretilen bu buhar türbine verilerek türbin kanatlarını çevirir türbine eklenen alternatör 'den elektrik üretilmiş olur. Alternatör çıkışı 15000 volt olarak Üretilen elektrik, ana transformatör de 380000 volta yükselttilerek şalt tesisleri vasıtası ile ulusal elektrik sistemine verilmektedir. Santrali ulusal elektrik (Enterkonvekta) sistemine bağlamak üzerine inşa edilen şalt sahası 380.000 voltluk kısmı Aliğa(İzmir) ve Balıkesir'e, 154.000 voltluk kısmından Bergama-Balıkesir(Seka1-2) ve soma 7-8 ünitelere, gönderilir ve gelecekteki ihtiyaçlarını karşılamak üzere yedek çıkışları ihtiva etmektedir. Ayrıca gruplar 6300 voltluk dağıtım merkezi ile irtibatlıdır ve ürettiğinin %10'nu iç ihtiyaçta kullanır.

Türbinde işini bitiren buharın sıcaklığı ve basıncı  $33 \text{ kg/cm}^2$  basınca,  $380 \text{ }^\circ\text{C}$  sıcaklığa düşer. Bu buhar tekrar kazana gönderilir kazanda istenilen  $30 \text{ kg/cm}^2$  basınca ve  $535 \text{ }^\circ\text{C}$  sıcaklığa ulaşan buhar tekrar türbin gönderilir. İş görmüş buhar kondensere dökülür.

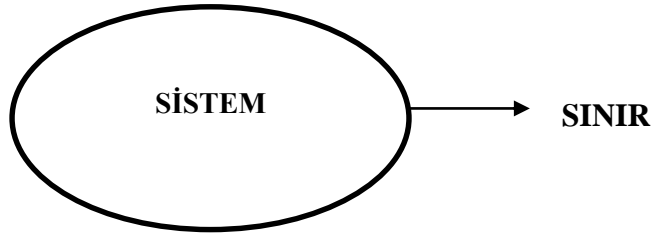
Kondenserde buhar yoğunlaştırma işlemi soğutma suyu vasıtası ile yapılır. Kondenserde buharın sıcaklığını üzerine alan soğutma suyu soğutma kulelerinde soğutulup tekrar kondenserden geçirilerek kapalı devre olarak su sirkülasyonu devam eder [19].



#### 4. TERMODİNAMİK TEMEL KAVRAMLAR

Günümüzde termodinamik, enerji sistemlerinin bilimi olarak tanımlanmaktadır. Latince de therme (ısı) olarak ve dynamics (güç) sözcüklerinden türeyerek günümüze ısı enerjisini işe dönüştürme çalışmalarının orantılı bir açıklaması olmaktadır. Bu ısı enerjisini işe dönüştürme çalışmalarının orantılı bir açıklaması ve termodinamiğin enerji çözümlemesi yapılması için bir sistem tanımlanması gerekmektedir. Termodinamik sistem terimi, seçilen kütleyi veya uzayın incelenmek için ayrılan bölgesini belirtir. Şekil 4.1’de termodinamik sistem sınırları dışarısındaki bölgeye veya kütleye çevre adı verilir. Yüzey sınırı sistemi çevresinden ayıran hayali veya gerçek sonu olarak adlandırılır ve hareketler sınırlı veya sabit gerçekleşebilir [20].

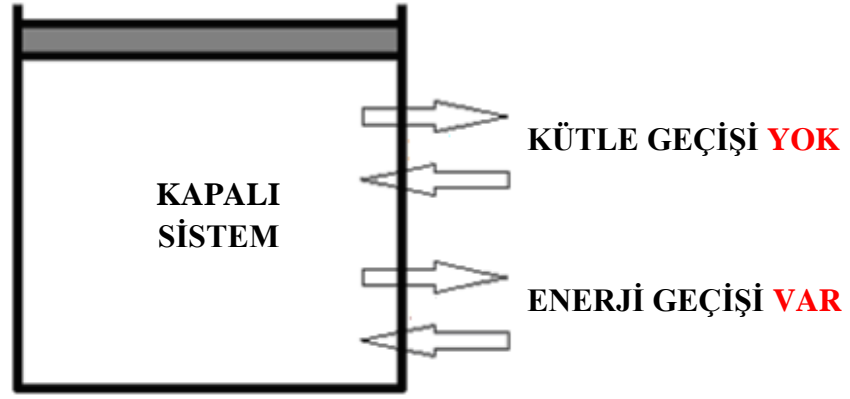
**ÇEVRE(ORTAM)**



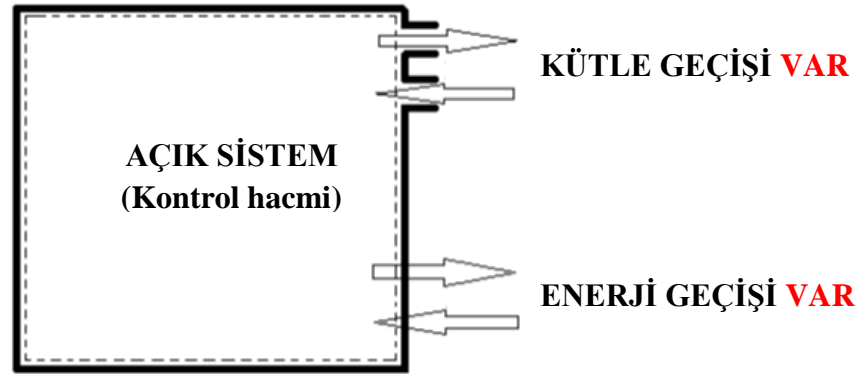
**Şekil 4.1** Sistem, Sınır ve Çevre [38]

Termodinamik sistemler kapalı veya açık sistemler olarak nitelendirilmektedir ve bilinen bir kütlenin veya bölgenin analizinin esas alınmasına göre seçim yapılmaktadır. Kapalı sistem, sınırlarından kütle geçişi gerçekleşmeyen sabit proseslerdir. Şekil 4.2’ de görülen sistem kapalı ise sisteme herhangi bir kütle çıkışı veya girişi olmaz ve enerji sistem sınırından, ısı veya iş şeklinde geçebilmektedir [20].

Kontrol hacmi diğer adıyla açık sistem, sınırlardan proses kütle girişi olan bir prosesdir ve açık sistem lüle, türbin, kompresör gibi içerisinde kütle akışı gerçekleşen bir makineyi ele alarak inceler. Makinelerin içerisindeki akışın termodinamik açıdan analizinde ise makinenin fiziksel hudutları sistemin hudutları olarak kabul edilir. Enerji ve kütle, kontrol yüzeyi adı verilen açık sistem sınırlarını geçebilir. Şekil 4.3’ de açık bir prosesde, kütle girişi ve çıkışı olmakla beraber proses ile çevre arasında enerji geçişi gerçekleşmektedir [20].



Şekil 4.2: Kapalı Sistem Şematik Görünümü



Şekil 4.3: Açık Sistem Şematik Görünümü

#### 4.1 Termodinamiğin 1. Kanunu

Enerjinin korunumu ilkesi enerjinin vardan yok, yoktan var edilemeyeceğini enerjinin ancak şekil değiştirebileceğini söylemektedir. Enerji, kapalı bir prosesin sınırlarından iş veya ısı olarak geçiş yapma özelliğini taşımaktadır. Termodinamiğin kapalı sisteminde enerji akışı, çevre ile sistem arasındaki sıcaklık farkından kaynaklı meydana geliyorsa bu enerjiye “ısı” olarak tanımlanır. Eğer sıcaklık farkı söz konusu değilse “iş” adı verilir.

Termodinamik bağıntılarda çevre ile sistem arasında gerçekleşen ısı transferinde yapılan iş pozitifdir. Sistem ile çevre arasındaki ısı transferi ve sisteme gerçekleşen iş negatif işaretli kabul edilir [20].

## 4.2 Termodinamiğin 2. Kanunu

Termodinamiğin ikinci kanunu, enerji geçişlerinin ancak belli kurallar ve belli bir yönde olabileceğini ve bu bağlamda gerçekleşen olayların olduğu gibi geriye dönüştürülemeyecek şekilde meydana geldiğini ortaya koyar ve bu sebeple de her geçişte enerjinin verimli iş gücünün azalma sebebiyetini açıklayan, enerjinin kalitesini ilgilendiren data lar veren kanundur ve en ciddi öneme sahip olan ise enerjinin korunum hesabına göre uygun olarak yapılan işlemler ve hesaplamalar neticesinde prosesin sonuçlarının gerçekte çıkan değerler ile gerçekleşip gerçekleşmediğini söyleyecek büyüklükteki değerleri sağlar [21].

Kendiliğinden gelişen bir hal değişimi belirli bir yönde gerçekleşmesine rağmen termodinamiğin birinci yasası hal değişiminin yönü hakkında bilgi vermez. Termodinamiğin birinci yasası, sadece enerjinin dönüşümü sırasında hal değişiminin enerjisinin korunmasıyla ilgilendirir. Böylece bazı durumlarda hal değişimi termodinamiğin birinci yasasına aykırı değilken termodinamiğin ikinci yasasına aykırı olmaktadır. Örneğin, iş gibi uygun bir dış enerji formunun girişi olmaksızın düşük sıcaklıktaki bir ortamdan yüksek sıcaklıktaki bir ortama ısı geçişinin olması gibi. Ancak böyle bir geçiş imkânsızdır ve böylece sadece termodinamiğin birinci yasası kullanılarak enerji dönüşümlerini ve geçişlerini açıklamanın yetersiz olduğu anlaşılmaktadır. Termodinamiğin ikinci yasası enerji formlarının kaliteleri arasındaki farklılıkları belirlememizi ve bazı hal değişimleri kendiliğinden gerçekleşirken bazılarının neden gerçekleşmediğini açıklamamızı sağlar [24].

Termodinamiğin ikinci kanunuyla ısı makinesinin kullanılabilirliğini aşağıdaki şekilde formüle edilebilir [20].

$$\eta_{th} = \frac{W_{net,çıkan}}{Q_h} = 1 - \frac{Q_L}{Q_H} \quad (4.1)$$

Burada  $W_{net,çıkan}$  ısı makinesinden ortaya çıkan işi  $Q_H$  ısı makinesine gönderilen toplam ısıyı ve  $Q_L$  ısı makinesinden ortama geçen ısıyı göstermektedir.



### 4.3 Eksergoekonomik Analiz

Eksergoekonomi; termodinamik analizlerin (ekserji analizi) ekonomik prensipler ile birleştirilmesiyle, bir enerji dönüşüm sisteminin tasarımında ve işletiminde geleneksel termodinamik analiz veya ekonomik değerlendirme metotları ile elde edilmesi güç olan, sistemin maliyet etkin tasarımı ve işletilmesi için gerekli ve önemli bilgiler sağlayan termal bilimlerin önemli bir dalıdır.

Eksergoekonomik analiz temelde;

- Ekserji analizi
- Ekonomik analiz
- Ekserji maliyetlendirmesi
- Eksergoekonomik değerlendirme

aşamalarından oluşmaktadır. Eksergoekonomik analiz başlıca olarak aşağıdaki hedefleri amaçlar:

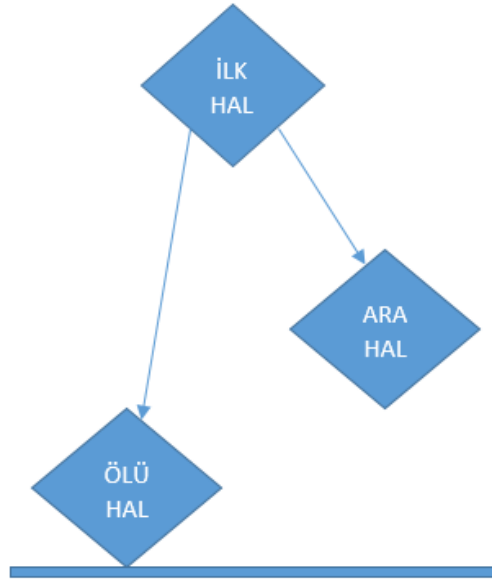
- Bir veya daha fazla ürüne sahip bir sistem tarafından üretilmiş her bir ürünün ayrı ayrı maliyetinin hesaplanması
- Tüm sistemin veya belli bir birimin optimizasyonu
- Proses maliyet oluşumunu ve maliyet akışının anlaşılması

## 5. EKSERGOEKONOMİK ÇÖZÜMLEME YÖNTEMİ

Çözümleme yöntemi iki aşamada gerçekleşir. İlk aşamada termodinamiğin birinci ve ikinci yasaları kullanılarak çalışılan sistemde, tersinmezlikler sebebiyle kayıp ekserji miktarları ve bölgeleri tespit edilir. İkinci aşamada ise sistemindeki işletme ve yatırım maliyeti çıkarılarak sisteme ve ekipmanlara göre akımların maliyeti hesaplanmaktadır. İlk aşamada hesaplanan ekserji kayıpları ve bulunan maliyetler birleştirilerek bir analiz yapılır. Yapılan analiz sonunda hangi ekipmanın en fazla olduğu bulunarak iyileştirme yapılacak ekipmanlar en doğru şekilde seçilmiş olur.

### 5.1 Genel Ekserji Tanımlaması ve Kullanılabilirlik

Belirli sistemden en çok iş elde edilebilmesi, sistemin ilk halinden, tersinir bir hal değişimiyle çevresinin mevcut haline (ölü hale) getirilmesi sonucu gerçekleşir. Sonuç olarak, başlangıç halindeki sistem, iş yapabilme kapasitesini ifade etmektedir ve kullanılabilirlik diye ifade edilmektedir.



**Şekil 5.1:** Kullanılabilirlik Kavramının Şematik Gösterimi

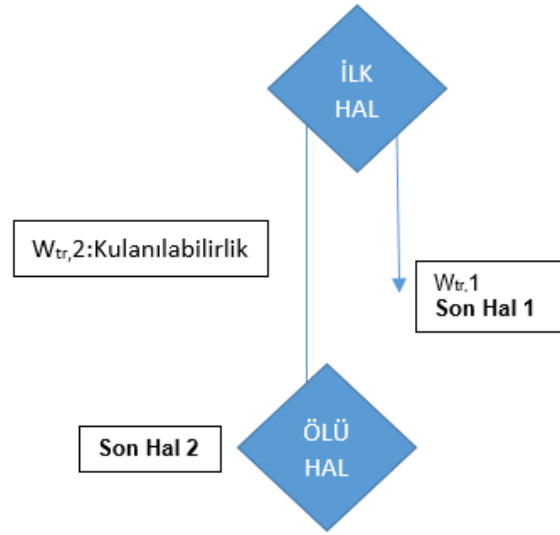
Sistemin belirlenen bir haldeki kullanılabilirliği, çevre koşullarına, sistem özelliklerine, yani başka deyişle ölü hal durumuna bağlıdır. Bu nedenle kullanılabilirlik yalnız sistemin değil çevresinin bir özelliğidir [20].

## 5.2 Tersinmezlik ve Tersinir İş

Çevre işi  $W_{\text{çevre}}$  ile gerçek iş  $W$  arasındaki farkı, iş yapabilme veya gerçek yararlı iş olarak tanımlanabilir.  $W_y$  olarak ifade edilir:

$$W_y = W - W_{\text{çevre}} \quad (\text{kJ}) \quad (5.1)$$

Belirli iki hal arasında değişimin, bir sistemde elde edilebilir en çok yararlı iş olarak tanımlanır ve  $W_{tr}$  olarak ifade edilir. Bu durum, başlangıç ve son halleri arasında gerçekleşen hal değişimlerinin tümünden tersinir olma durumuyla elde edilir. Son halin ölü hale eşit olması durumunda tersinir iş kullanılabilirliğe eşit olur.



**Şekil 5.2:** Kullanılabilirlik ve Tersinir İş İlişkisi

Yararlı iş  $W_y$ , tersinir iş  $W_{tr}$  arasındaki farkı, hal değişimleri esnasındaki tersinmezlikler meydana getirir. Bu fark  $I$  olarak denklemden ifade edilir:

$$I = W_{tr} - W_y \quad (\text{kJ}) \quad (5.2)$$

veya,

$$i = w_{tr} - w_y \quad (\text{kJ/kg}) \quad (5.3)$$

Hal değişimi sırasındaki birim zamanda oluşan tersinmezlik,  $\dot{I}$  olarak ifade edilir:

$$\dot{I} = \dot{W}_{tr} - \dot{W}_y \quad (\text{kJ/kg}) \quad (5.4)$$

Tümden tersinir bir hal değişiminde tersinir iş ve gerçek tanımları aynıdır, yani tersinmezlik sıfırdır. Bu nedenle tümden tersinir bir halin değişimi esnasında entropi üretimi gerçekleşmez. Gerçek hallerin değişimi esnasında tersinmezlikler sıfırdan büyük bir değerdir,  $W_{tr} > W_y$  dir, iş yapılan makineler içinse iş ifadesi eksidir;

$|W_{tr}| > |W_y|$  olarak ifade edilir.

Tersinmezlik iş yapabilme durumda azalma gibi görülebilir. İşe dönüştürülebilir ama dönüştürülemez enerji olarak tanımlanır [20].

Tersinmezlik meydana getiren etkenler aşağıdaki durumlardır;

- Sürtünme
- Elastik olmayan deformasyonlar
- Kimyasal reaksiyonlar
- Sonlu sıcaklık farkındaki ısı transferi
- Farklı kimyasal potansiyele sahip maddelerin karıştırılması
- Gazlar ve sıvılar sonlu basınç farkları ile genişlemesi
- Direnç içerisindeki elektrik akımı

Tanımlamaları yapılan kavramları termodinamiğin ikinci kanunuyla ifade edersek; doğal enerji dönüşme koşulları tersinmezdir. Gerçek enerji dönüşümlerinde toplam entropinin sürekli arttığı görülmektedir [22].

### 5.3 Ekserji

Enerji iş yapabilme potansiyeli olarak tanımlanır ve bu potansiyel enerji ve ekserji olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır. Enerji, kullanılmayan enerji olurken, Ekserji ise kullanılabilir enerji olarak tanımlanır [32].

Yunan dilinde ‘‘tersinir’’ kelimesi ‘‘Ex’’ anlamında ve ‘‘iş’’ ise ‘‘ergon’’ kelimelerinden türetilerek ‘‘Ekserji’’ kelimesi türetilmiştir. İlk defa 1824 yılında S.Carnot tarafından kullanılmıştır ön görülmektedir [23].

Çevre sıcaklığında çalışan enerji sistemleri için, kullanılabilir enerji olarak da bilinen ekserjiyi enerjinin faydalı kısmı olarak düşünebiliriz. Yani; enerjinin faydalı kısmı, enerjinin başka enerji formuna dönüştürülebilir kısmıdır. Bir madde ya da bir enerji akışına bağlı ekserji, baca gazı, soğutma suyu ve ısı kaybı şeklinde çevreye atılır. Hem ekserji tahribi hem de ekserji kaybı, termodinamiğin ikinci kanun analizi de denilen ‘‘Ekserji Analizi’’nden saptanır. Termodinamiğin ikinci kanunu, hem bir enerji

taşıyıcının gerçek termodinamik değerini hem de proses ya da sistemlerden olan kayıpların ve gerçek termodinamik yetersizliklerin hesaplarının yapılabilmesi sonucu ile bir enerji dengesini tamamlar ve geliştirir. Ekserji tahribi direk olarak sistem içindeki tersinmezliklerin sonucudur [18].

Bir çok kaynakta, ekserji kullanılabilir enerji olarak tanımlanırken literatürde farklı tanımlamalar da bulunmaktadır. Bu tanımlamaların bazıları ise şunlardır:

- Kotas (1985) , Bejan vd. (1996) tarafından sistemin başlangıç hali ile son haline olan kullanılabilen maksimum yararlı iş olarak tanımlarlar [14].
- (Szargut,1980) tarafından çevre şartlarında kabul edilen ve tersinir olan prosesler ile bir madde termodinamik dengeye getirildiğinde elde edilen o maddenin ekserji ile aynı tanımlanabilir.[25].
- (Riekart, 1974) tarafından sistem ile çevre arasında yalnızca ısı değişim şartı ile bir maddenin çevredeki diğer maddelerden tersinir süreçler yoluyla üretilmesi için gereken mekanik veya elektrik enerjisi o maddenin ekserjisi olarak tanımlanabilir [26].

Ekserji tanımı şöyle yapılabilir, çevresiyle denge hali olmayan sistem denge haline doğru geçiş sırasında maksimum tersinir iş olarak tanımlanabilir. Enerji kaynağından elde edilebilecek iş kaynağın bulunduğu çevreye bağlıdır. Çevre ile kaynak arasındaki fark büyüdükçe sistemden elde edilebilecek iş de o kadar büyük olacaktır [27].

Ekserji kısaca bir sistem ölü hale ulaştığında, kazanılan maksimum iştir [28]. Ekserji, enerjinin bazı termodinamik koşullar ile bir tür enerji haline dönüştürülebilen kısmıdır. En fazla iş, iş kaybı oluşması ile entropi artışına karşın tersinmez işlemlerde oluşur. Ekserji, enerji gibi korunan bir konuma sahip değildir. Bundan dolayı enerji korunumu kanununa aykırıdır. Gerçek sistemlerde tersinmezlikler sebebiyle ekserji tüketilir veya yok edilebilir. Ekserji tüketimi sistemde oluşan entropiyle orantılıdır. Enerji ve ekserji tanımları çizelge 5.1 de karşılaştırılmaktadır.

**Çizelge 5.1: Enerji ve Ekserji Arasındaki Başlıca Farklar [31]**

| ENERJİ  | EKSERJİ  |
|---|--|
| Sadece kütle veya enerji akışının özelliklerine bağlıdır. Ortam özelliklerinden bağımsızdır.            | Kütle veya enerji akışının özellikleri ile birlikte, ortamın özelliklerine de bağlıdır.  |
| Sıfırdan farklı değerlere sahiptir. Einstein yasasına göre $mc^2$ değerine eşittir.                     | Ortam ile denge durumunda sifira eşittir.  |
| Bütün işlemler için Termodinamiğin Birinci Yasasını dikkate alır.                                       | Sadece tersinir işlemler için Termodinamiğin 1. Yasasını dikkate alır. Tersinmez işlemlerde tamamen veya kısmen ekserji tüketilir. |
| Tersinir işlemlerde dahil olmak üzere, bütün işlemler için Termodinamiğin İkinci Yasası ile sınırlıdır. | Termodinamiğin İkinci Yasası nedeni ile tersinir işlemler için sınırlı değildir.   |
| Hareket veya hareket üretme yeteneğidir.  | İş veya iş üretme yeteneğidir.   |
| Bir işlemde sürekli olarak korunur. Diğer bir deyişle, ne yok olur, ne de üretilebilir.                 | Sadece tersinir bir işlemde sürekli olarak korunur. Tersinmez bir işlemde sürekli olarak tüketilir.                                |
| Miktarın bir ölçütüdür.   | Entropi nedeniyle, hem kalite hem de miktarın bir ölçütüdür.   |

#### 5.4 Geleneksel Ekserji Bileşenleri

Manyetik, elektriksel, nükleer ve yüzey gerilme etkileri olmadığı bir sistemin toplam ekserjisini  $E$  ile ifade edilir. Dört farklı bileşen olarak bölünebilir.

Kinetik ekserji  $E^{KN}$ ,

Potansiyel ekserji  $E^{PT}$ ,

Kimyasal ekserji  $E^{CH}$

Fiziksel ekserji  $E^{PH}$

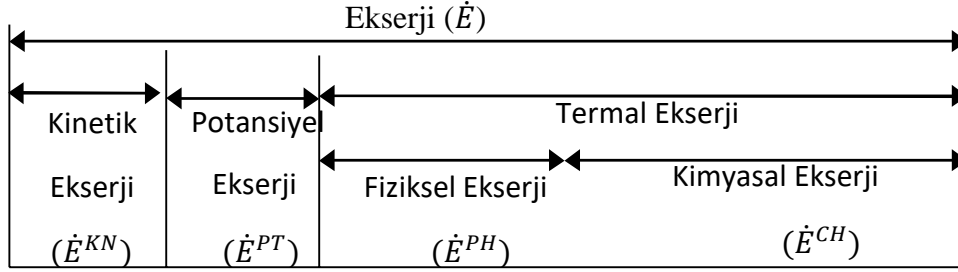
$$E = E^{KN} + E^{PT} + E^{CH} + E^{PH} \quad (5.5)$$

Özgül ekserjisi aşağıda denklemde tanımlanmaktadır [14]

$$e = e^{PH} + e^{KN} + e^{PT} + e^{CH} \quad (5.6)$$

Sistem sıcaklığının, hızının, basıncının çevreden farklı olduğunda işin meydana gelmesi için güzel fırsat oluşur. Sistemin çevre şartlarına göre değişmesi bu fırsatı azaltır. İkisinin dengeyi bulması bu fırsatı bitirir. Bu hal sistemin ölü hali diye tanımlanmaktadır.

Sistem ve çevre arasında farklı bir denge tanımlanabilir. Tanımlama ise mekanik ve ısıl dengenin sağlandığı dengenin sınırlı şeklidir. Bu hal sistemin sınırlı ölü hal durumu diye ifade edilir.



Şekil 5.3: Ekserji Bileşenleri [33]

Çevreye göre göreceli ve durağan bir sisteme bakıldığında fiziksel ve kimyasal ekserjilerin  $e^{KN} = 0$ ,  $e^{PT} = 0$  olarak kabul alınabilir [14].

#### 5.4.1 Fiziksel ekserji

Fiziksel ekserji, sıcaklık ve basıncı bilinen bir sistemin bu durumundan, sıcaklık ve basıncı çevre şartları ( $P_0, T_0$ ) ile dengeye getirildiğinde sistemden elde edilecek maksimum iş olarak tanımlanır [6].

Genel olarak saf maddelerde fiziksel ekserji,

$$e^{PH} = (u - u_0) - p_0(v - v_0) - T_0(s - s_0) \quad (\text{kJ/kg}) \quad (5.7)$$

Olarak ifade edilir. Denklemden  $u_0$  ve  $s_0$  sırayla, bir maddenin akımı ısı kaynağı olduğu kabul edilen  $T_0$  sıcaklığı ve  $P_0$  basıncı özgül iç enerji ve entropi olarak tanımlanmaktadır [39].

Kısaca fiziksel ekserjisi;

$$e^{PH} = (h - h_0) - T_0(v - v_0) \quad (5.8)$$

Olarak ifade edilebilir.

Toplam fiziksel ekserji akısı ise;

$$\dot{E}^{PH} = \dot{m}.e^{PH} \quad (5.9)$$

## 5.4.2 Kimyasal ekserji

Kimyasal ekserji incelenirken, sistemdeki çıkan maddeler çevrede bulunan sabit durumdaki var olan eş maddeleriyle karıştırılmamalıdır. Çevre ortamının termodinamik düşünce yapısının değişmesi için ekserji referans çevresi ve termodinamik çevre tanımlamaları yapılmaktadır. Bundan dolayı kolay olması bakımından standart kimyasal ekserji tanımlamaları standart bir çevre kabulünün üzerinde kurulmaktadır. Standart kimyasal ekserjilerde, sıcaklığı  $T_0$  ve basıncı  $P_0$  olan (bu çalışmada olduğu gibi  $298 \text{ K}=25^\circ\text{C}$  , 1 bar) standart çevreye dayandırılır. Saf maddelerin standart kimyasal ekserji değerleri tablolardan bakılarak analizlerde kullanılabilir. Gaz karışımları için ise aşağıdaki eşitlikten yararlanılır [14].

$$\bar{e}^{\text{CH}} = \sum x_k \bar{e}_k^{\text{CH}} \bar{R} \cdot T_0 \sum x_k \ln x_k \quad (\text{kJ/kg}) \quad (5.10)$$

Denklemden  $\bar{e}^{\text{CH}}$  ifadesi standart kimyasal ekserji tablolarından seçilebilir.

## 5.5 Ekserji Yıkımı ve Kaybı

Prosesin bir ekipmanına birim sürede kaybolan ekserji yıkım miktarını  $E_{ky}$ ;

$$E_{ky} = E_Q - E_{W,E} + \sum E_{mass,i} - \sum E_{mass,e} \quad (5.11)$$

veya

$$E_{ky} = \sum \left(1 - \frac{T_0}{T}\right) Q - W + \sum m_i e_i - \sum m_e e_e \quad (5.12)$$

ile ifade edilir. Bu denklemlerde kaybolan ekserji akısı  $E_K$  incelenen ekipmandan farklı bir prostesten dönüştürülen ekserjinin akısı ile tersinmezlikler sebebiyle tüketilen ve farklı bir yer için kullanılmayan ekserjinin akısı toplamı olarak gösterilmektedir. Prosesin tamamında yok olan ekserji ise, her bir ekipmanda yok olan ekserji tamamıdır.

$$\sum_{x=1}^n E_{ky_x} = E_{ky_1} + E_{ky_2} + E_{ky_3} + \dots + E_{ky_n} \quad (5.13)$$

Herhangi bir birimde veya ekipmanda ekserji yıkımı prosesin tümünde yıkıma uğrayan ekserjiye ( $y_{ky}$ ), incelenen birimin kayıp enerjisinde ne kadarının sebep olduğunu göstermektedir.

$$y_{ky} = \frac{E_{ky}}{\sum E_{ky}} \quad (5.14)$$

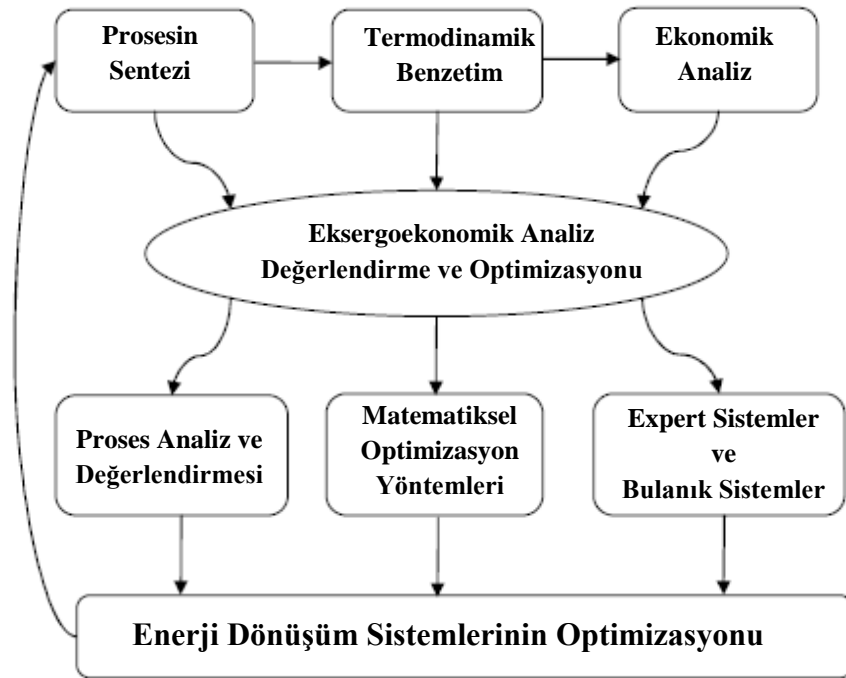


## 5.6 Eksergoekonomik Analiz Yöntemleri

Eksergoekonomik analiz, ısı sistemlerine ilişkin yapılan sentez, maliyet analizi ve simülasyon çalışmalarında elde edilen sonuçların değerlendirilmesinde, ısı sistemlerinin optimizasyonunda ve yapay zeka teknikleri kullanılarak tasarımı ve işletilmesinin geliştirilmesinde gerekli olan bilgileri sağlar [14] [34].

Eksergoekonominin diğer mühendislik alanları ile etkileşimleri ve optimizasyon yöntemi şekil 5.4’de verilmektedir [35].

Eksergoekonomi, bir enerji dönüşüm sisteminin çevresindeki ve içerisindeki termodinamik verimsizliklerin parasal maliyetler ile ilişkilendirilebildiği tek rasyonel temel olan ekserji kavramına dayanmaktadır [40] . Bu yaklaşıma, Tsatsaronis (1999) tarafından, ekserji maliyetlendirmesi denilmektedir.



**Şekil 5.4:** Eksergoekonominin Diğer Mühendislik Alanları İle Etkileşimleri ve Optimizasyon Yöntemi [35]

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 kullanıldığı görülmektedir [14] [34].

Bir sistem biriminin girişinde ekserji maliyeti biliniyorsa ve çıkışında birden fazla çıkan ekserji akımı varsa, çıkıştaki ekserji akımının maliyetini hesaplamak için maliyet dengesi tek başına yeterli değildir. Bu durumda, çıkan ekserji akımı sayısı  $m$  ise,  $m-1$  kadar ek yardımcı denkleme ihtiyaç vardır. Bu denklemlerin belirlenmesi için bir takım yaklaşımlar geliştirilmiştir [36].

Literatürde, verimleri ve yardımcı maliyet denklemlerini oluşturmak için farklı yaklaşımlar önerilmiştir [37]. Bu yaklaşımlar, iki grup altında sınıflandırılabilir:

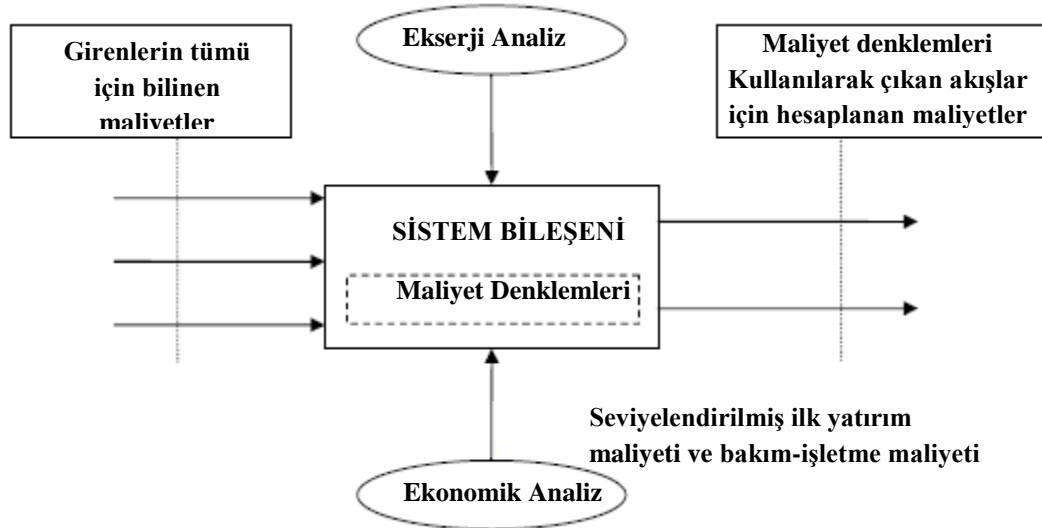
Ürün akım maliyetlerinin hesaplanmasını, sistemlerin ve birimlerinin değerlendirilmesini ve enerji sistemlerinin iteratif optimizasyonunu amaçlayan eksergoekonomi temelli yaklaşımlar, tüm sistemin optimizasyonunu ve marjinal maliyetlerin hesaplanmasını amaçlayan Langran temelli yaklaşımlardır. Literatürde, Eksergoekonomik analiz için kullanılan birçok model bulunmaktadır [37].

- Ekserji Ekonomik Yaklaşım (Exergy Economic Approach; EEA) (Gaggioli ve Wepfer, 1980):
- Termoeconomik Fonksiyonel Analiz (Thermoeconomic Functional Analysis; TFA) (Frangopoulos, 1983)
- İlk Eksergoekonomik Yaklaşım (First Exergoeconomic Approach; FEA) (Tsatsaronis ve Winhold, 1985)
- Ekserjik Maliyet Teorisi (Exergetic Cost Theory, ECT) (Valero vd., 1986)
- Son Giren İlk Çıkar Yaklaşımı (Last In First Out Approach; LIFOA) (Tsatsaronis ve Lin, 1990)
- Yapısal Analiz Yaklaşımı (Structural Analysis Approach; SAA) (Valero vd., 1992)
- Ekserji, Maliyet, Enerji ve Kütle Analizi (Exergy Cost Energy Mass Analysis EXCEM) (Rosen ve Dincer, 2003b)
- Özgül Ekserji Maliyetlendirmesi (Specific Exergy Costing- SPECO) (Lazzaretto ve Tsatsaronis, 2006)

Bu tez çalışmasında, SPECO yöntemine göre eksergoekonomik analiz yapılacaktır. SPECO Yöntemi Lazzaretto ve Tsatsaronis (2006) tarafından geliştirilmiş bir eksergoekonomik analiz yöntemidir ve üç adımdan oluşur [37]:

- Sisteme ait tüm birimlerin giriş ve çıkışlarındaki ekserji akımı değerlerinin saptanması,
- Yakıtı ve ürünün ekserji akımlarının her sistem ekipmanı için ayrı olarak belirlenmesi,
- Bulunan ekserji akımı 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, sistemden çıkan maddeler veya enerji akımlarıyla ısı ve iş yoluyla meydana gelen ekserjiler maliyet akımına dönüştürülmektedir [14]. SPECO yönteminin analiz şeması şekil 5.5’de gösterilmektedir:



Şekil 5.5: SPECO Yönteminin Analiz Şeması [9]

## 5.7 Ekserji Maliyeti

Ekserji maliyetlendirmesinde maliyet her bileşenin ekserji akımıyla ilgilidir. Sisteme giren ve sistemden çıkan madde akımları, iş ve ısı aktarımı biçiminde enerji dönüşümü gerçekleşebilir. Sistemde gerçekleşen madde ve enerji aktarımı, aynı şekilde ekserji transferi olur. Aktarılan ekserji bir bölümünü sistemden çıkarken, diğer bölümü de tersinmezlik sebebiyle sistemde yok olmaktadır. Birim ekserji fiyat ifadesi “c” ile gösterilirken toplam ekserjinin fiyat denklemi aşağıda gösterilmektedir:

$$\dot{C} = c \cdot \dot{E} = c(m.e) \quad (5.15)$$

Denkleimde “ $\dot{C}$ ” ekserji akısının fiyatı, “ $\dot{E}$ ” ekserji akısı olarak ifade edilir. Denkleme uygun şekilde aşağıdaki ifade yazılabilir:

$$\dot{C}_g = c_g \dot{E}_g = c_g (\dot{m}_g \cdot e_g) \quad (5.16)$$

$$\dot{C}_\zeta = c_\zeta \dot{E}_\zeta = c_\zeta (\dot{m}_\zeta \cdot e_\zeta) \quad (5.17)$$

$$\dot{C}_w = c_w \dot{E}_w = c_w \dot{W}_w \quad (5.18)$$

$$\dot{C}_q = c_q \dot{E}_q = c_q \dot{W}_q \quad (5.19)$$

Ekserji maliyetlendirmesi her bir birim için ayrı ayrı yazılmış ekserji denklemlerini içerir. Bir sistemde k komponent için maliyet dengesi aşağıdaki denklemlerde gösterilir.

$$\sum_\zeta \dot{C}_{\zeta,k} + \dot{C}_{w,k} = \dot{C}_{q,k} + \sum_g \dot{C}_{g,k} + \dot{Z}_k \quad (5.20)$$

Yukarıdaki eşitliklerde  $c_g$ ,  $c_\zeta$ ,  $c_w$ , ve  $c_q$  sırasıyla sistem giriş ve çıkışında, iş ve ısıya bağlı birim madde akış ekserjisinin ortalama maliyetini temsil eder. Bunların maliyet oranları ise,  $\dot{C}_g$ ,  $\dot{C}_\zeta$ ,  $\dot{C}_w$  ve  $\dot{C}_q$  ile gösterilir.  $\dot{E}_g$  ve  $\dot{E}_\zeta$  giriş ve çıkıştaki ekserji oranlarını,  $\dot{E}_w$  gücü,  $\dot{E}_q$  ısı transferi ile ilişkili ekserji oranını ifade eder. Buradan hareketle, bir sistem bileşeni için alınan ısı ve üretilen güce bağlı ekserjetik maliyet dengesi yukarıdaki gibi yazılabilir:

Denklemlerde  $Z_k$  ifadesi, sistemde bulunan k’inci komponentin işletme, yatırım, bakım bedellerini içeren bir değere getirilmiş parasal değerdir. Buradaki değer ( $Z$ ); faiz, yıllık çalışma süre, eskalasyon, sistem ömrü parametrelerinin fonksiyonunu ifade eder.

Bu  $Z$  değerinin hesaplanması için sistem ve komponentinin işletme maliyeti ve ilk yatırım maliyetlerini tespit edilmesi gerekmektedir. İlk yatırım maliyetleri, sistem veya komponentlerin işletme ve bakım masrafları olarak ifade edilmektedir [43].

$Z$  değerini hesaplamak için; ilk yatırımın ve işletme maliyetlerinin toplamını, “bir değere getirilme faktörüyle ( $A$ )” çarpılmaktadır. Bu faktör aşağıdaki eşitlikle ifade ile tanımlanmaktadır [38].

$$A = \frac{CEL F}{1-r_i} CR F \quad (5.21)$$

Denklemlerde “CRF” ifadesi kapital geri kazanım faktörünü, “CEL F” sabit eskalasyon düzeltme faktörünü, “ $r_i$ ” ise faiz oranını ifade etmektedir.

Denklemlerdeki “CEL F” ifadesi aşağıdaki denklemlerde verilmektedir.[38]

$$CELF = \frac{k(1-k^n)}{1-k} CRF \quad (5.22)$$

Burda ise “k” ise, bir değere getirilen fiyat düzeltme faktörü olarak tanımlanır. “n” ise, sistemin veya komponentinin öngörülen sistem ömrünü ifade etmektedir.

Kapital Geri Kazanım Faktörü (CRF) aşağıda denklemde gösterilmektedir [38].

$$CRF = \frac{i_{eff}(1+i_{eff})}{(1+i_{eff})^n - 1} \quad (5.23)$$

Yukarıdaki denklemde “ $i_{eff}$ ” değeri, geri ödeme oranını ifade etmektedir.

Fiyat düzeltme faktörü ise aşağıdaki denklemle ifade edilir [38].

$$k = \frac{(1+r_n)}{(1+i_{eff})} \quad (5.24)$$

### 5.8 Eksergoekonomik Faktör

Sistemler için komponent maliyet kaynakları iki gruba ayrılmaktadır. İlk grupta ekserji dışında gerçekleşen maliyetler olan ilk yatırım, bakım, işletme maliyetleri bulunurken, ikinci grupta ise ekserji yıkım ve kaybıyla kaynaklı maliyet bulunmaktadır.

Komponentlerin performans değerlendirmeleri yapılırken, her kategorinin bağlı öneminin anlaşılması gerekmektedir. Her komponente tanımlanan termo ekonomik (eksergo ekonomik) faktörler yardımıyla sağlanmaktadır. Eksergo ekonomik faktörü sistemin k komponentinde aşağıdaki denklem ile göstermekteyiz [42].

$$f = \frac{\dot{Z}}{(\dot{Z} + c_p \cdot \dot{E}_k)} \quad (5.25)$$

$f$ ’nin nispeten büyük değeri, çalışması yapılan ünitenin maliyet giderlerinin ağırlıklı olarak yatırım, işletme masraflarından kaynaklandığını gösterir. Bu masrafların azaltılması araştırılır. Ünitelerde verimi yükseltmeye çalışmak, örnek olarak verimin yüksek olduğu daha maliyetli ekipman kullanılması pek de gerçekçi olmaz.

Küçük  $f$  değerleriyse tam tersini ifade eder. Buna göre, ilk yatırım ve işletme maliyetlerinin artması riski de olsa yüksek verimle çalışan donanımlar alınarak verimleri arttırılmaya çalışılır [42].

## 6. UYGULAMA SİSTEM ANALİZ

### 6.1 Buharlı güç Santralinde Ekserji Analizi Uygulaması

Analiz çalışması yapılacak buharlı güç santrali Türkiye’de TKİ tesisleriyle birlikte çalışmakta olan buharlı güç santralidir. Santralde düşük nitelikteki linyit kömürü depolarının değerlendirilmesi amacıyla kurulmuş bir tesistir.

Bu çalışmada buharlı güç santralinin bir ünitesi göz önüne alınıp değerlendirilmiştir. Analizde ünitenin 27 tane düğüm noktaları belirtilmiş ve belirtilen bu düğümler santralden alınan proses şeması göz önüne alınarak hesaplamalar gerçekleştirilmiştir. Hesaplamalar santralin düğüm noktalarından alınan sıcaklık, basınç ve debi değerlerine göre santral düğüm noktalarında oluşan değerlere ulaşılmıştır. Santralin bir ünitesinin akış şeması şekil 6.1’de gösterilmektedir.

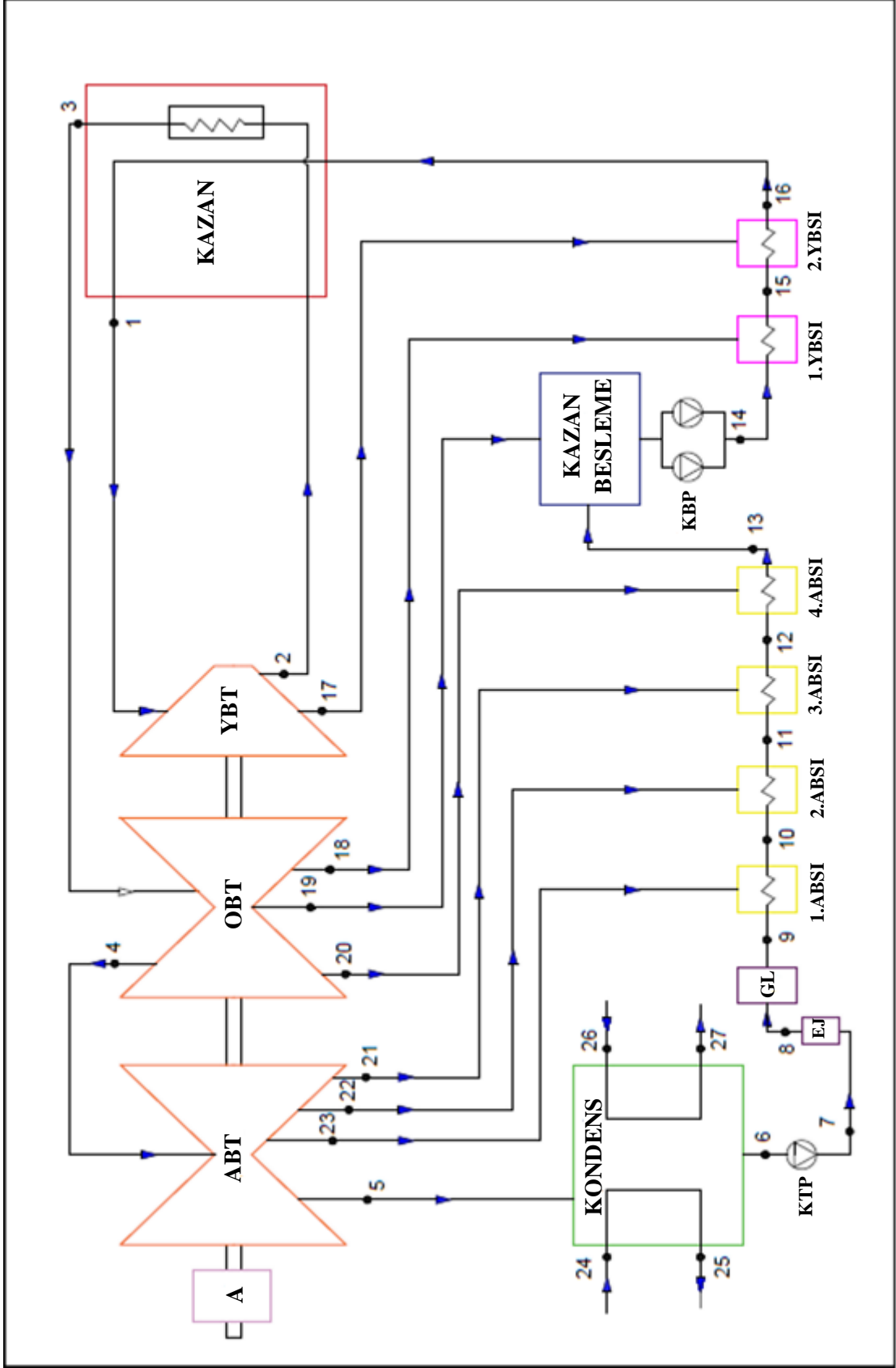
Buharlı güç santrali birinci ünitesinde 165 mW kapasitede türbin grubu, bir adet kondenser, bir adet buhar kazanı ve ara ısıtıcı gruplarından ve yardımcı grup olarak adlandırılan ejektörden ve glend kondenserden oluşmaktadır. Türbin grubu 1. ünite, alçak basınç, ortada basınç ve yüksek basınç türbinleri bulunmaktadır. Isıtıcı grupları 2. ünite, 2 adet yüksek basınç, 4 adet alçak basınç besleme suyu ısıtıcısı ve degazör ünitelerinde oluşmaktadır.

Bacadan dışarı atılan gazların üzerinde bulunan ısının geri dönüşümü için ve yanmanın kullanılabilirliğinin artırılması amacı ile yakma havasının bir eşanjör (LUVO) ile ön ısıtma yapıldığı ünite mevcuttur. İşletmenin termodinamik hesaplamalarında alçak ve yüksek basınç ısıtıcıları ve türbinler ayrı olarak tek bir grup gibi düşünülerek kabul edilip hesaplamaları yapılmıştır. Bu analizde kazanı besleyen pompalar aynı özellikte olduğundan dolayı tek bir pompa olarak düşünülüp boru demetlerinde oluşan kayıplar göz ardı edilip proses ara kızdırmalı ve ara buhar almalı Rankine çevrimidir

Yakmada yakıt olarak işlem gören pülvarize kömür kazanda ön ısıtma yapılmış taze hava ile birlikte karıştırılıp yakılmaktadır. Yakıtın reaksiyona girmesi ile ortaya çıkan kimyasal enerjiler ısıtıcı yüzeyleri ile prosesde kullanılan suya aktarılmakta ve buhar oluşturulmaktadır. Yanma sonucu oluşan buhar borular vasıtası ile türbin grubuna giderek üzerindeki mekanik enerjiyi türbin kanatlarına çarparak türbini çevirir ve türbin miline akuple olarak çalışan alternatöre ileterek elektrik üretilir. Prosesin

kullanılabilirliğini arttırmak için yüksek basınç türbininde kullanılan buharın geri besleme boruları ile kazanda tekrar kızgın buhar fazında orta basınç türbinine gönderilmektedir.

Verim arttırıcı başka bir yöntemde türbin grubundan borular vasıtasıyla belirli ölçülerde buhar alarak besi suyu ısıtıcılarına buhar gönderilerek ve kazan işletme suyunu daha yüksek sıcaklıklarda kazana girmesi sağlanır bu da kazana girecek sıcak suyun daha hızlı şekilde faz dönüştürerek tekrar prosese girer ve kondenserden alçak ve yüksek basınç ısıtıcılarına gelen su, türbin gruplarından borular vasıtası ile alınarak ara buhar karıştırılıp kazana gönderilecek su sıcaklığı böylece artmış olur.



Şekil 6.1 : Buharlı Güç Santrali Akış Diyagramı



**Çizelge 6.1:** Santral' e Ait Belirlenen Enerji Değerleri

| Düğüm No  | Faz Durumu             | Sıcaklık (T) (°C) | Basınç (P) (kPa) | Debi (m) (kg/s) | Entalpi (h) (kJ/kg) | Entropi (s) (kJ/kg.k) |
|-----------|------------------------|-------------------|------------------|-----------------|---------------------|-----------------------|
| 1         | Buhar                  | 540               | 13200,00         | 116,6           | 3441,4              | 6,565                 |
| 2         | Buhar                  | 380               | 3300,00          | 106,5           | 3179,1              | 6,801                 |
| 3         | Buhar                  | 535               | 3000,00          | 106,5           | 3535,3              | 7,334                 |
| 4         | Buhar                  | 280               | 370,00           | 89,9            | 3026,1              | 7,530                 |
| 5         | Buhar                  | 57                | 10,00            | 77,2            | 2605,1              | 8,214                 |
| 6         | Sıkıştırılmış Sıvı     | 51                | 10,00            | 77,2            | 188,4               | 0,639                 |
| 7         | Sıkıştırılmış Sıvı     | 51                | 1425,00          | 77,2            | 214,7               | 0,716                 |
| 8         | Sıkıştırılmış Sıvı     | 49                | 1350,00          | 77,2            | 206,3               | 0,690                 |
| 9         | Sıkıştırılmış Sıvı     | 49                | 1350,00          | 77,2            | 206,3               | 0,690                 |
| 10        | Sıkıştırılmış Sıvı     | 68                | 1230,00          | 79,9            | 285,6               | 0,930                 |
| 11        | Sıkıştırılmış Sıvı     | 71                | 1200,00          | 83,0            | 298,2               | 0,960                 |
| 12        | Sıkıştırılmış Sıvı     | 115               | 1200,00          | 89,9            | 483,3               | 1,473                 |
| 13        | Sıkıştırılmış Sıvı     | 147               | 1180,00          | 95,2            | 619,3               | 1,811                 |
| 14        | Sıkıştırılmış Sıvı     | 170               | 13800,00         | 100,4           | 741,5               | 2,090                 |
| 15        | Sıkıştırılmış Sıvı     | 198               | 13800,00         | 106,5           | 848,7               | 2,293                 |
| 16        | Sıkıştırılmış Sıvı     | 240               | 13800,00         | 116,6           | 1038,7              | 2,679                 |
| 17        | Buhar                  | 365               | 3300,00          | 10,1            | 3143,8              | 6,746                 |
| 18        | Buhar                  | 300               | 1600,00          | 6,1             | 3034,8              | 6,884                 |
| 19        | Buhar                  | 300               | 600,00           | 5,2             | 3061,6              | 7,372                 |
| 20        | Buhar                  | 237               | 300,00           | 5,3             | 2940,6              | 7,465                 |
| 21        | Buhar                  | 210               | 50,00            | 6,9             | 2896,8              | 8,198                 |
| 22        | Buhar                  | 82                | 40,00            | 3,1             | 2648,2              | 7,703                 |
| 23        | Buhar                  | 90                | 20,00            | 2,7             | 2666,6              | 8,073                 |
| 24        | Sıkıştırılmış Sıvı     | 25                | 160,00           | 3300,0          | 104,9               | 0,367                 |
| 25        | Sıkıştırılmış Sıvı     | 30                | 120,00           | 3300,0          | 125,8               | 0,436                 |
| 26        | Sıkıştırılmış Sıvı     | 25                | 160,00           | 3300,0          | 104,9               | 0,367                 |
| 27        | Sıkıştırılmış Sıvı     | 30                | 120,00           | 3300,0          | 125,8               | 0,436                 |
| <b>WT</b> | 165000 *0,70=115500 kW |                   |                  |                 |                     |                       |

**Çizelge 6.2:** Üniteye Ait KTP ve KBP Verileri

| Pompa tipi                | Güç (kW) | m (kg/sn) |       | P (kPa) |       | T (°C) |       | h (kJ/kg) |        |
|---------------------------|----------|-----------|-------|---------|-------|--------|-------|-----------|--------|
|                           |          | Giriş     | Çıkış | Giriş   | Çıkış | Giriş  | Çıkış | Giriş     | Çıkış* |
| <b>Kondenser tahliye</b>  | 800      | 76,3      | 76,3  | 10      | 1100  | 34,5   | 34,5  | 144,5     | 145,5  |
| <b>Kazan besleme suyu</b> | 3514     | 99,8      | 99,8  | 700     | 18800 | 163    | 163   | 688,7     | 699,3  |

\*Çevrimdeki su sıkıştırılmaz sıvı kabul edilmiştir.

### 6.1.1 Geleneksel enerji ve ekserji analizi

**Çizelge 6.3:** Buharlı Güç Santrali Ünitesinin Enerji ve Ekserji Değerleri

| Düğüm No | Enerji E(kW) | Fiziksel ekserji $\dot{E}^{PH}$ (kW) | Kimyasal Ekserji $\dot{E}^{CH}$ (kW) | Toplam Ekserji $\dot{E}$ (kW) |
|----------|--------------|--------------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------|
| 1        | 401267,24    | 173700,79                            | 291,5                                | 173992,29                     |
| 2        | 338574,15    | 123229,79                            | 266,25                               | 123496,03                     |
| 3        | 376509,45    | 144249,27                            | 266,25                               | 144515,51                     |
| 4        | 272046,39    | 70737,38                             | 224,75                               | 70962,13                      |
| 5        | 201113,72    | 12507,42                             | 193                                  | 12700,41                      |
| 6        | 14544,48     | 205,60                               | 193                                  | 398,59                        |
| 7        | 16574,84     | 464,53                               | 193                                  | 657,52                        |
| 8        | 15926,36     | 414,19                               | 193                                  | 607,19                        |
| 9        | 15926,36     | 414,19                               | 193                                  | 607,19                        |
| 10       | 22819,44     | 1050,30                              | 199,75                               | 1250,05                       |
| 11       | 24750,60     | 1246,43                              | 207,5                                | 1453,92                       |
| 12       | 43448,67     | 4407,90                              | 224,75                               | 4632,65                       |
| 13       | 58957,36     | 8014,70                              | 238                                  | 8252,69                       |
| 14       | 74446,60     | 12385,85                             | 251                                  | 12636,86                      |
| 15       | 90386,55     | 18112,58                             | 266,25                               | 18378,83                      |
| 16       | 121112,42    | 28572,04                             | 291,5                                | 28863,53                      |
| 17       | 31752,38     | 11495,59                             | 25,25                                | 11520,84                      |
| 18       | 18512,28     | 6026,40                              | 15,25                                | 6041,64                       |
| 19       | 15920,32     | 4520,41                              | 13                                   | 4533,41                       |
| 20       | 15585,18     | 3819,79                              | 13,25                                | 3833,04                       |
| 21       | 19987,92     | 3163,52                              | 17,25                                | 3180,77                       |
| 22       | 8209,42      | 1107,91                              | 7,75                                 | 1115,66                       |
| 23       | 7199,82      | 716,93                               | 7,75                                 | 723,68                        |
| 24       | 346170,0     | 723,36                               | 8250                                 | 8973,36                       |
| 25       | 415140,0     | 1838,76                              | 8250                                 | 10088,76                      |
| 26       | 346170,0     | 723,36                               | 8250                                 | 8973,36                       |
| 27       | 415140,0     | 1838,76                              | 8250                                 | 10088,76                      |

### 6.1.2 Santral bileşenlerini ekserji kayıplarının bulunması

Santral bileşenlerini ekserji kayıplarının bulunması (5.11) nolu denklemden yararlanılacaktır.

Yapılacak hesaplamalarda ekipmanların yüzey sıcaklıkları ihmal edilmiştir. Buna göre;

### **Buhar kazanında kayıp ekserji:**

$$\dot{E}_g = \dot{E}_\zeta + \dot{E}_{ky}$$

$$\dot{E}_A + \dot{E}_B + \dot{E}_2 + \dot{E}_{16} = \dot{E}_C + \dot{E}_1 + \dot{E}_3 + \dot{E}_{ky}$$

$$553456,17+1474,17 +123496,03+228572,04=66649,41+173992,29+144515,51+\dot{E}_{ky}$$

$$\dot{E}_{ky} = 322132,70 \text{ kJ/s}$$

### **Türbin grubunda kayıp ekserji:**

$$\dot{E}_g = \dot{E}_\zeta + \dot{E}_{ky}$$

$$\dot{E}_1 + \dot{E}_3 + \dot{E}_4 = \dot{E}_2 + \dot{E}_{17} + \dot{E}_{18} + \dot{E}_{19} + \dot{E}_{20} + \dot{E}_{21} + \dot{E}_{22} + \dot{E}_{23} + \dot{E}_4 + \dot{E}_5 + \dot{E}_{w,türbin} + \dot{E}_{ky}$$

$$173700,79+144249,27+70737,38=123229,79+11495,59+6026,40+4520,41+3819,79+316 +3,52+ 1107,91+716,93+70737,38+12507,42+115500+\dot{E}_{ky}$$

$$\dot{E}_{ky} = 47383,14 \text{ kJ/s}$$

### **Kondenserde kayıp ekserji:**

$$\dot{E}_g = \dot{E}_\zeta + \dot{E}_{ky}$$

$$\dot{E}_5 + \dot{E}_{24} + \dot{E}_{26} = \dot{E}_6 + \dot{E}_{25} + \dot{E}_{27} + \dot{E}_{ky}$$

$$12700,41+8973,36+8973,36=398,59+8828,16+8828,16+\dot{E}_{ky}$$

$$\dot{E}_{ky} = 10071,02 \text{ kJ/s}$$

### **Kondenser tahliye pompasında kayıp ekserji :**

Kondenser tahliye pompası verimi %80 alınacaktır. Bu durumda işin tamamı ekserji olacağı için,

$$\dot{E}_g = \dot{E}_\zeta + \dot{E}_{ky}$$

$$\dot{E}_g = 800 \text{ kW}, \dot{E}_\zeta = 640 \text{ kW} \text{ bulunur.}$$

$$\dot{E}_{ky}=160 \text{ kJ/s}$$

### **Kazan besleme suyu pompa grubunda kayıp ekserji;**

Kazan besi suyu pompası iki tane 3514 kW kapasitede pompa grubu bulunmaktadır. Yapılan çalışmanın pompa grubunda hesap yaparken bir adet pompa varmış gibi hesap yapılacaktır. Pompalardaki verim %85 olduğu varsayılarak pompa grubunun verimi %85 alınacaktır. Böylece işin tamamı ekserji olacağından,  $\dot{E}_g=3514$  kW ,  $\dot{E}_\zeta=2986,9$  kW bulunur.

$$\dot{E}_g = \dot{E}_\zeta + \dot{E}_{ky}$$

$$3514=2986,9+\dot{E}_{ky}$$

$$\dot{E}_{ky}=527,1 \text{ kJ/s} \rightarrow 2. \dot{E}_{ky}=2986,9=1054,20 \text{ kJ/s}$$

### **Ejektörde kayıp ekserji;**

$$\dot{E}_g = \dot{E}_\zeta + \dot{E}_{ky}$$

$$\dot{E}_7 = \dot{E}_8 + \dot{E}_{ky}$$

$$657,52=607,19+\dot{E}_{ky}$$

$$\dot{E}_{ky} = 50,33 \text{ kJ/s}$$

### **1 nolu Alçak basınç besi suyu ısıtıcı kayıp ekserjisi;**

$$\dot{E}_g = \dot{E}_\zeta + \dot{E}_{ky}$$

$$\dot{E}_9 + \dot{E}_{23} = \dot{E}_{10} + \dot{E}_{ky}$$

$$607,19+723,68=1250,05+\dot{E}_{ky}$$

$$\dot{E}_{ky}= 80,83 \text{ kJ/s}$$

### **2 nolu Alçak basınç besi suyu ısıtıcı kayıp ekserjisi;**

$$\dot{E}_g = \dot{E}_\zeta + \dot{E}_{ky}$$

$$\dot{E}_{10} + \dot{E}_{22} = \dot{E}_{11} + \dot{E}_{ky}$$

$$1250,05+1115,66=1453,92+\dot{E}_{ky}$$

$$\dot{E}_{ky}=911,79 \text{ kJ/s}$$

### **3 nolu Alçak basınç besi suyu ısıtıcı kayıp ekserjisi;**

$$\dot{E}_g = \dot{E}_\zeta + \dot{E}_{ky}$$

$$\dot{E}_{11} + \dot{E}_{21} = \dot{E}_{12} + \dot{E}_{ky}$$

$$1453,92+3180,77=4632,65+\dot{E}_{ky}$$

$$\dot{E}_{ky}= 2,043 \text{ kJ/s}$$

### **4 nolu Alçak basınç besi suyu ısıtıcı kayıp ekserjisi;**

$$\dot{E}_g = \dot{E}_\zeta + \dot{E}_{ky}$$

$$\dot{E}_{12} + \dot{E}_{20} = \dot{E}_{13} + \dot{E}_{ky}$$

$$4632,65+3833,04=8252,69+\dot{E}_{ky}$$

$$\dot{E}_{ky}= 213,00 \text{ kJ/s}$$

### **Degazörde kayıp ekserjisi;**

$$\dot{E}_g = \dot{E}_\zeta + \dot{E}_{ky}$$

$$\dot{E}_{13} + \dot{E}_{19} = \dot{E}_{14} + \dot{E}_{ky}$$

$$8252,69+4533,41=12636,87+\dot{E}_{ky}$$

$$\dot{E}_{ky}= 149,24 \text{ kJ/s}$$

### **1 nolu Yüksek basınç besi suyu ısıtıcı kayıp ekserjisi;**

$$\dot{E}_g = \dot{E}_\zeta + \dot{E}_{ky}$$

$$\dot{E}_{14} + \dot{E}_{18} = \dot{E}_{15} + \dot{E}_{ky}$$

$$12636,87+6041,64=18378,83+\dot{E}_{ky}$$

$$\dot{E}_{ky}= 299,68 \text{ kJ/s}$$

## **2 nolu Yüksek basınç besi suyu ısıtıcı kavıp ekserjisi;**

$$\dot{E}_g = \dot{E}_\zeta + \dot{E}_{ky}$$

$$\dot{E}_{15} + \dot{E}_{17} = \dot{E}_{16} + \dot{E}_{ky}$$

$$18378,83 + 13045,69 = 28863,53 + \dot{E}_{ky}$$

$$\dot{E}_{ky} = 1036,14 \text{ kJ/s}$$

### **6.2 Buharlı Güç Santralinin Ekonomik Analiz İncelemesi**

Yapılacak çalışmanın sistem analizi ekserji maliyet hesapları ve sistemin eksergoekonomik analiziyle gerçekleştirilecektir. Hesaplamalarda santral sistemi için aşağıdaki kabuller alınacaktır.

- Buharlı güç santralinde yıllık ortalama 7745 saat çalışıldığı kabul edilmiştir.
- Buharlı güç santralinin saatte ortalama 170 ton düşük kalorili soma linyit kömürü kullanılmıştır.
- Faiz oranı %3 ( $r_i=0,03$ ); geri ödeme oranı %6 ( $i_{eff}=0,06$ ), yıllık düzenli artış oranı %4 ( $r_n=0,04$ ); olarak kabul edilmiştir.
- Buharlı güç Santrali işletme ömrü  $n=50$  yıl baz alınarak Kabul yapılmıştır.

Buharlı güç santralinin ekipmanlarının seviyelendirilmiş ilk yatırım, işletme ve bakım masrafları hesaplanırken (5.21), (5.22), (5.23), (5.24) nolu denklemlerden yararlanılacaktır.

**Seviyelendirilmiş fiyat düzeltme faktörü (k):**

$$k = \frac{(1 + r_n)}{(1 + i_{eff})} = \frac{(1 + 0,04)}{(1 + 0,06)} = 0,9811$$

**Ana para geri kazanım faktörü (CRF):**

$$CRF = \frac{i_{eff}(1 + i_{eff})^n}{(1 + i_{eff})^n - 1} = \frac{0,06(1 + 0,06)^{50}}{(1 + 0,06)^{50} - 1} = 0,0634$$

**Yıllık düzenli artış oranı düzeltme faktörü (CELF):**

$$CELF = \frac{k(1 + k^n)}{1 - k} CRF = \frac{0,9811(1 - 0,9811^{50})}{1 - 0,9811} 0,0634 = 2,0262$$

**Seviyelendirme faktörü (A):**

$$A = \frac{CELF}{1 + r_i} = \frac{2,0262}{1 + 0,03} = 1,9672$$

### 6.2.1 Santralin ekserji ve eksergoekonomik analizi

Santralin ekserji maliyeti ve eksergoekonomik analizi hesaplanırken sistemin ilk yatırım maliyeti ve işletme masrafları çizelge 6.4'de verilmiştir.

**Çizelge 6.4:** Santraldeki Ekipman Maliyetleri

| MALİYETLER          |                           |  |                          |   |
|---------------------|---------------------------|--|--------------------------|---|
| EKİPMAN             | İlk Yatırım Maliyeti (\$) | Yıllık Vergiler,Sigorta ve Personel Masrafı (\$) | Yedek Parça Masrafı (\$) | Seviyelendirilmiş İlk Yatırım İşletme ve Bakım Masrafı (Z) (\$/H) |
| <b>Kazan</b>        | 21.926.300                | 548.158  | 1.096.315                | 529,09  |
| <b>Türbin Grubu</b> | 15.299.900                | 382.498  | 764.995                  | 369,192   |
| <b>Kondenser</b>    | 961.290                   | 24.033   | 48.065                   | 23,196  |
| <b>Ktp</b>          | 126.005                   | 3.150  | 6.301                    | 3,041   |
| <b>Degazör</b>      | 218.350                   | 5.459  | 10.918                   | 5,269   |
| <b>Kbp</b>          | 276.815                   | 6.921  | 13.841                   | 6,680   |
| <b>Ejektör</b>      | 35.970                    | 899,8  | 1.799                    | 0,868   |
| <b>ABSI-I</b>       | 146.355                   | 3.659  | 7.318                    | 3,532   |
| <b>ABSI-II</b>      | 151.910                   | 3.798  | 7.596                    | 3,666   |
| <b>ABSI-III</b>     | 167.860                   | 4.197  | 8.393                    | 4,051   |
| <b>ABSI-IV</b>      | 182.380                   | 4.560  | 9.119                    | 4,401   |
| <b>YBSI-I</b>       | 199.485                   | 4.987  | 9.975                    | 4,814   |
| <b>YBSI-II</b>      | 200.805                   | 5.020  | 10.041                   | 4,846   |

Tablodaki maliyet analizleri göz önünde bulundurularak, komponent'lerin seviyelendirilmiş parasal değeri (Z) aşağıdaki şekilde bulunur.

$$Z_k = \left\{ \frac{\text{İlk yatırım maliyeti}}{\text{Sistem Ömrü} \times \text{Yıllık Çalışma Saati}} + \frac{\text{Bakım Gideri}}{\text{Yıllık Çalışma Saati}} \right\} \times A \quad (6.1)$$

Z değerlerinin hesaplamaları aşağıdaki denklemlerde hesaplanmıştır;

**Kazan için;**

$$Z_k = \left\{ \frac{\text{İlk yatırım maliyeti}}{\text{Sistem Ömrü} \times \text{Yıllık Çalışma Saati}} + \frac{\text{Bakım Gideri}}{\text{Yıllık Çalışma Saati}} \right\} \times A$$

$$\dot{Z}_{kazan} = \left\{ \left( \frac{21926300}{50 \times 7745} \right) \right\} + \left\{ \left( \frac{548158 + 1096315}{7745} \right) \right\} \times 1,9672$$

$$\dot{Z}_{kazan} = (56,621 + 212,327) \times 1,9672$$

$$\dot{Z}_{kazan} = 529,089 \$/h$$

**Türbin grubu için;**

Santral türbinleri alçak basınç, orta basınç, yüksek basınç türbinlerinden oluşmaktadır. Bu türbinleri grup olarak tek türbin gibi hesaplamaları yapılmıştır. Tüm giriş ve çıkışların tek türbin üzerinde gerçekleştirildiği varsayılmıştır.

$$Z_k = \left\{ \frac{\text{İlk yatırım maliyeti}}{\text{Sistem Ömrü} \times \text{Yıllık Çalışma Saati}} + \frac{\text{Bakım Gideri}}{\text{Yıllık Çalışma Saati}} \right\} \times A$$

$$\dot{Z}_{türbin} = \left\{ \left( \frac{15299900}{50 \times 7745} \right) \right\} + \left\{ \left( \frac{382498 + 764995}{7745} \right) \right\} \times 1,9672$$

$$\dot{Z}_{türbin} = (39,509 + 148,159) \times 1,9672$$

$$\dot{Z}_{türbin} = 369,192 \$/h$$

**Kondenser için;**

$$Z_k = \left\{ \frac{\text{İlk yatırım maliyeti}}{\text{Sistem Ömrü} \times \text{Yıllık Çalışma Saati}} + \frac{\text{Bakım Gideri}}{\text{Yıllık Çalışma Saati}} \right\} \times A$$

$$\dot{Z}_{kondenser} = \left\{ \left( \frac{961290}{50 \times 7745} \right) \right\} + \left\{ \left( \frac{24033 + 48065}{7745} \right) \right\} \times 1,9672$$

$$\dot{Z}_{kondenser} = (2,482 + 9,309) \times 1,9672$$

$$\dot{Z}_{kondenser} = 23,196 \$/h$$



### **Kondenser tahliye pompası için;**

$$Z_k = \left\{ \frac{\text{İlk yatırım maliyeti}}{\text{Sistem Ömrü x Yıllık Çalışma Saati}} + \frac{\text{Bakım Gideri}}{\text{Yıllık Çalışma Saati}} \right\} x A$$

$$\dot{Z}_{KTP} = \left\{ \left( \frac{126005}{50 \times 7745} \right) \right\} + \left\{ \left( \frac{3150 + 6301}{7745} \right) \right\} x 1,9672$$

$$\dot{Z}_{KTP} = (0,325 + 1,220) x 1,9672$$

$$\dot{Z}_{KTP} = 3,041 \$/h$$

### **Ejektör için;**

$$Z_k = \left\{ \frac{\text{İlk yatırım maliyeti}}{\text{Sistem Ömrü x Yıllık Çalışma Saati}} + \frac{\text{Bakım Gideri}}{\text{Yıllık Çalışma Saati}} \right\} x A$$

$$\dot{Z}_{ejektör} = \left\{ \left( \frac{35970}{50 \times 7745} \right) \right\} + \left\{ \left( \frac{8998 + 1799}{7745} \right) \right\} x 1,9672$$

$$\dot{Z}_{ejektör} = (0,093 + 0,348) x 1,9672$$

$$\dot{Z}_{ejektör} = 0,868 \$/h$$

### **1 nolu Alçak basınç besleme suyu ısıtıcısı için;**

$$Z_k = \left\{ \frac{\text{İlk yatırım maliyeti}}{\text{Sistem Ömrü x Yıllık Çalışma Saati}} + \frac{\text{Bakım Gideri}}{\text{Yıllık Çalışma Saati}} \right\} x A$$

$$\dot{Z}_{ABSI-I} = \left\{ \left( \frac{146355}{50 \times 7745} \right) \right\} + \left\{ \left( \frac{3659 + 7,318}{7745} \right) \right\} x 1,9672$$

$$\dot{Z}_{ABSI-I} = (0,378 + 1,417) x 1,9672$$

$$\dot{Z}_{ABSI-I} = 3,532 \$/h$$

### **2 nolu Alçak basınç besleme suyu ısıtıcısı için;**

$$Z_k = \left\{ \frac{\text{İlk yatırım maliyeti}}{\text{Sistem Ömrü x Yıllık Çalışma Saati}} + \frac{\text{Bakım Gideri}}{\text{Yıllık Çalışma Saati}} \right\} x A$$

$$\dot{Z}_{ABSI-II} = \left\{ \left( \frac{151910}{30 \times 7745} \right) \right\} + \left\{ \left( \frac{3798 + 7596}{7745} \right) \right\} x 1,9672$$

$$\dot{Z}_{ABSI-II} = (0,392 + 1,471) x 1,9672$$

$$\dot{Z}_{ABSI-II} = 3,666 \$/h$$

### **3 nolu Alçak basınç besleme suyu ısıtıcısı için;**

$$Z_k = \left\{ \frac{\text{İlk yatırım maliyeti}}{\text{Sistem Ömrü x Yıllık Çalışma Saati}} + \frac{\text{Bakım Gideri}}{\text{Yıllık Çalışma Saati}} \right\} x A$$

$$\dot{Z}_{ABSI-III} = \left\{ \left( \frac{167860}{50x7745} \right) \right\} + \left\{ \left( \frac{4197 + 8393}{7745} \right) \right\} x 1,9672$$

$$\dot{Z}_{ABSI-III} = (0,433 + 1,626)x1,9672$$

$$\dot{Z}_{ABSI-III} = 4,051 \$/h$$

### **4 nolu Alçak basınç besleme suyu ısıtıcısı için;**

$$Z_k = \left\{ \frac{\text{İlk yatırım maliyeti}}{\text{Sistem Ömrü x Yıllık Çalışma Saati}} + \frac{\text{Bakım Gideri}}{\text{Yıllık Çalışma Saati}} \right\} x A$$

$$\dot{Z}_{ABSI-IV} = \left\{ \left( \frac{182380}{50x7745} \right) \right\} + \left\{ \left( \frac{4560 + 9119}{7745} \right) \right\} x 1,9672$$

$$\dot{Z}_{ABSI-IV} = (0,471 + 1,766)x1,9672$$

$$\dot{Z}_{ABSI-IV} = 4,401 \$/h$$

### **Degazör için;**

$$Z_k = \left\{ \frac{\text{İlk yatırım maliyeti}}{\text{Sistem Ömrü x Yıllık Çalışma Saati}} + \frac{\text{Bakım Gideri}}{\text{Yıllık Çalışma Saati}} \right\} x A$$

$$\dot{Z}_{Degazör} = \left\{ \left( \frac{218350}{50x7745} \right) \right\} + \left\{ \left( \frac{5459 + 10918}{7745} \right) \right\} x 1,9672$$

$$\dot{Z}_{Degazör} = (0,564 + 2,114)x1,9672$$

$$\dot{Z}_{Degazör} = 5,269 \$/h$$

### **1 nolu Yüksek basınç suyu ısıtıcısı için;**

$$Z_k = \left\{ \frac{\text{İlk yatırım maliyeti}}{\text{Sistem Ömrü x Yıllık Çalışma Saati}} + \frac{\text{Bakım Gideri}}{\text{Yıllık Çalışma Saati}} \right\} x A$$

$$\dot{Z}_{YBSI-I} = \left\{ \left( \frac{199485}{50x7745} \right) \right\} + \left\{ \left( \frac{4987 + 9975}{7745} \right) \right\} x 1,9672$$

$$\dot{Z}_{YBSI-I} = (0,515 + 1,932)x1,9672$$

$$\dot{Z}_{YBSI-I} = 4,814 \$/h$$

**2 nolu Yüksek basınç suyu ısıtıcısı için;**

$$Z_k = \left\{ \frac{\text{İlk yatırım maliyeti}}{\text{Sistem Ömrü x Yıllık Çalışma Saati}} + \frac{\text{Bakım Gideri}}{\text{Yıllık Çalışma Saati}} \right\} x A$$

$$\dot{Z}_{YBSI-II} = \left\{ \left( \frac{200805}{50 \times 7745} \right) \right\} + \left\{ \left( \frac{5020 + 10041}{7745} \right) \right\} x 1,9672$$

$$\dot{Z}_{YBSI-II} = (0,519 + 1,945) x 1,9672$$

$$\dot{Z}_{YBSI-II} = 4,846 \$/h$$

**Kazan besleme pompaları için;**

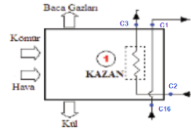
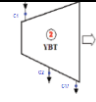
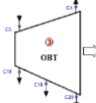
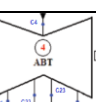
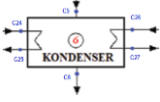



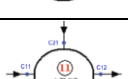
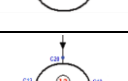
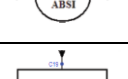

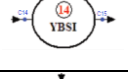

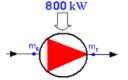
$$Z_k = \left\{ \frac{\text{İlk yatırım maliyeti}}{\text{Sistem Ömrü x Yıllık Çalışma Saati}} + \frac{\text{Bakım Gideri}}{\text{Yıllık Çalışma Saati}} \right\} x A$$

$$\dot{Z}_{KBP} = \left\{ \left( \frac{276815}{50 \times 7745} \right) \right\} + \left\{ \left( \frac{6921 + 13841}{7745} \right) \right\} x 1,9672$$

$$\dot{Z}_{KBP} = (0,715 + 2,681) x 1,9672$$

$$\dot{Z}_{YBSI-II} = 6,680 \$/h$$

Çizelge 6.5: Eksergoekonomik Eşitlikler

| Eksergoekonomik Eşitlikler |   |  |
|----------------------------|---|--|
| Komponent                  | Komponent şekli   | Maliyet denge denklemi   |
| <b>Kazan</b>               |    | $c_A \dot{E}_A + c_B \dot{E}_B + c_2 \dot{E}_2 + c_{16} \dot{E}_{16} + \dot{Z}_{kazan}$ $= c_C \dot{E}_C + c_1 \dot{E}_1 + c_3 \dot{E}_3$  |
| <b>Türbin grubu</b>        |    | $c_1 \cdot \dot{E}_1 + c_3 \cdot \dot{E}_3 + c_4 \cdot \dot{E}_4 + \dot{Z}_{türbin}$ $= c_2 \cdot \dot{E}_2 + c_4 \cdot \dot{E}_4 + c_5 \cdot \dot{E}_5$ $+ c_{17} \cdot \dot{E}_{17} + c_{18} \cdot \dot{E}_{18}$ $+ c_{19} \cdot \dot{E}_{19} + c_{20} \cdot \dot{E}_{20}$ $+ c_{21} \cdot \dot{E}_{21} + c_{22} \cdot \dot{E}_{22}$ $+ c_{23} \cdot \dot{E}_{23} + c_{wt} \cdot \dot{E}_{wt}$ |
|                            |    |  |
|                            |    |  |
| <b>Kondenser</b>           |    | $c_5 \cdot \dot{E}_5 + c_{24} \cdot \dot{E}_{24} + c_{26} \cdot \dot{E}_{26} + \dot{Z}_{kondenser}$ $= c_6 \cdot \dot{E}_6 + c_{25} \cdot \dot{E}_{25} + c_{27} \cdot \dot{E}_{27}$  |
| <b>Enjektör</b>            |  | $c_7 \cdot \dot{E}_7 + \dot{Z}_{ejektör} = c_8 \cdot \dot{E}_8 + c_{ky} \cdot \dot{E}_{ky}$  |
| <b>ABS-I</b>               |  | $c_9 \cdot \dot{E}_9 + c_{23} \cdot \dot{E}_{23} + \dot{Z}_{ABS-I}$ $= c_{10} \cdot \dot{E}_{10} + c_{ky} \cdot \dot{E}_{ky}$  |
| <b>ABS -II</b>             |  | $c_{10} \cdot \dot{E}_{10} + c_{22} \cdot \dot{E}_{22} + \dot{Z}_{ABS-II}$ $= c_{11} \cdot \dot{E}_{11} + c_{ky} \cdot \dot{E}_{ky}$   |
| <b>ABS-III</b>             |  | $c_{11} \cdot \dot{E}_{11} + c_{21} \cdot \dot{E}_{21} + \dot{Z}_{ABS-III}$ $= c_{12} \cdot \dot{E}_{12} + c_{ky} \cdot \dot{E}_{ky}$  |
| <b>ABS-IV</b>              |  | $c_{12} \cdot \dot{E}_{12} + c_{20} \cdot \dot{E}_{20} + \dot{Z}_{ABS-IV}$ $= c_{13} \cdot \dot{E}_{13} + c_{ky} \cdot \dot{E}_{ky}$   |
| <b>Degazör</b>             |  | $c_{13} \cdot \dot{E}_{13} + c_{19} \cdot \dot{E}_{19} + \dot{Z}_{degazör}$ $= c_{14} \cdot \dot{E}_{14} + c_{ky} \cdot \dot{E}_{ky}$  |
| <b>YBI-I</b>               |  | $c_{14} \cdot \dot{E}_{14} + c_{18} \cdot \dot{E}_{18} + \dot{Z}_{YBI-I}$ $= c_{15} \cdot \dot{E}_{15} + c_{ky} \cdot \dot{E}_{ky}$  |
| <b>YBI-II</b>              |  | $c_{15} \cdot \dot{E}_{15} + c_{17} \cdot \dot{E}_{17} + \dot{Z}_{YBI-II}$ $= c_{16} \cdot \dot{E}_{16} + c_{ky} \cdot \dot{E}_{ky}$   |
| <b>KTP</b>                 |  | $c_6 \cdot \dot{E}_6 + c_{w,ktp} \cdot \dot{E}_{w,ktp} + \dot{Z}_{KTP}$ $= c_7 \cdot \dot{E}_7 + c_{ky} \cdot \dot{E}_{ky}$  |
| <b>KBS</b>                 |  | $c_{14'} \cdot \dot{E}_{14'} + c_{w,KBP} \cdot \dot{E}_{w,KBP} + \dot{Z}_{KBP}$ $= c_{14} \cdot \dot{E}_{14} + c_{ky} \cdot \dot{E}_{ky}$  |

## 6.2.2 Buharlı güç santrali ekipmanlarının akım maliyetleri ve eksergoekonomik değerlerinin hesaplamaları

Buharlı güç santralinde ekipmanlara hangi iyileştirmelerin gerçekleştirileceği ve hangi ekipmanda hangi iyileştirmenin yapılmasını yorumlayabilmek için (5.15), (5.18), (5.20) ve (5.25) nolu formüllerden faydalanılarak ekipman akımlarının maliyetlerini ve ekipmanlardaki eksergoekonomik faktörler bulunacaktır.

### Buhar kazanı için eksergoekonomik analiz;

$c_A = \text{Yakıt maliyeti}$

$$c_A = \frac{1843,75 \text{ \$/h}}{553456,17 \times 3600 \text{ kj/h}} = 9,25 \times 10^{-7} \text{ \$/kj}$$

Baca gazındaki birim ekserji maliyeti, yakıt birim ekserji maliyetiyle eşittir.

$$c_A = c_C = 9,25 \times 10^{-7} \text{ \$/kj}$$

Yakma havasının birim ekserji maliyeti sıfır alınmıştır. Kanal maliyeti, elektrik ve fan maliyeti gibi bileşenler kazan maliyet hesabı içerisinde değerlendirilmiştir.

$$c_B = \text{Yakma havası maliyeti} = 0$$

Kazan içerisine giren su ve kazan içerisinden çıkan buhar, prosesin ürünü olduğu için akım maliyetleri birbirine eşittir.

$$c_1 = c_2 = c_3 = c_{16}$$

### Buhar kazanı için maliyet denge denklemi;

$$c_A \dot{E}_A + c_B \dot{E}_B + c_2 \dot{E}_2 + c_{16} \dot{E}_{16} + \dot{Z}_{kazan} = c_C \dot{E}_C + c_1 \dot{E}_1 + c_3 \dot{E}_3$$

$$\begin{aligned} 9,25 \times 10^{-7} \cdot 553456,17 \cdot 3600 + 0 + c_2 \cdot 123496,037 \cdot 3600 + c_{16} \cdot 28863,53 \cdot 3600 \\ + 529,09 \\ = 9,25 \times 10^{-7} \cdot 66649,41 \cdot 3600 + c_1 \cdot 173992,29 \cdot 3600 \\ + c_3 \cdot 144515,52 \cdot 3600 \end{aligned}$$

$$2150,81 = 598133674,8 \cdot c_1$$

$$c_1 = 3,60 \cdot 10^{-6} \text{ \$/kj bulunur.}$$

### **Buhar kazanı için kayıp ekserji maliyeti;**

$$c_{ky,kazan} = c_A \frac{\dot{E}_A}{\dot{E}_A + \dot{E}_C} + c_C \frac{\dot{E}_C}{\dot{E}_A + \dot{E}_C}$$

$$c_{ky,kazan} = 9,25 \times 10^{-7} \frac{553456,17 \cdot 3600}{(553456,17 + 66649,41) \cdot 3600} \\ + 9,25 \times 10^{-7} \frac{66649,41 \cdot 3600}{(553456,17 + 66649,41) \cdot 3600}$$

$$c_{ky,kazan} = 8,25 \times 10^{-7} \$/kj$$

$$\dot{C}_{ky,kazan} = c_{ky,kazan} \cdot E_{ky,kazan} = 8,25 \cdot 10^{-7} \cdot 322132,7 \cdot 3600 = 1073,13 \$/h$$

### **Buhar kazanı için ekserji kaybı oranı;**

$$y_{ky,kazan} = \frac{\dot{E}_{ky,kazan}}{\sum \dot{E}_{ky}} = \frac{322132,7}{383544,1} = 0,83$$

### **Buhar kazanı için eksergoekonomik faktör;**

$$f_{kazan} = \frac{\dot{Z}_{kazan}}{\dot{Z}_{kazan} + \dot{C}_{ky,kazan}} = \frac{529,09}{529,09 + 1073,13} = 0,33 \text{ bulunur.}$$

### **Türbin grubu için eksergoekonomik analiz;**

Türbine buhar girişi ve çıkış akımlarının maliyetleri eşittir.

$$c_1 = c_2 = c_3 = c_4 = c_5 = c_{17} = c_{18} = c_{19} = c_{20} = c_{21} = c_{22} = c_{23} = 3,60 \cdot 10^{-6}$$

$$c_1 \cdot \dot{E}_1 + c_3 \cdot \dot{E}_3 + c_4 \cdot \dot{E}_4 + \dot{Z}_{türbin} \\ = c_2 \cdot \dot{E}_2 + c_4 \cdot \dot{E}_4 + c_5 \cdot \dot{E}_5 + c_{17} \cdot \dot{E}_{17} + c_{18} \cdot \dot{E}_{18} + c_{19} \cdot \dot{E}_{19} + c_{20} \cdot \dot{E}_{20} \\ + c_{21} \cdot \dot{E}_{21} + c_{22} \cdot \dot{E}_{22} + c_{23} \cdot \dot{E}_{23} + c_{wt} \cdot \dot{E}_{wt}$$

$$\begin{aligned}
& 3,60 \cdot 10^{-6} \cdot 173992,29 \cdot 3600 + 3,60 \cdot 10^{-6} \cdot 144515,52 \cdot 3600 \\
& \quad + 3,60 \cdot 10^{-6} \cdot 70962,13 \cdot 3600 + 369,19 \\
& = 3,60 \cdot 10^{-6} \cdot 123496,037 \cdot 3600 + 3,60 \cdot 10^{-6} \cdot 70962,13 \cdot 3600 \\
& \quad + 3,60 \cdot 10^{-6} \cdot 12700,41 \cdot 3600 + 3,60 \cdot 10^{-6} \cdot 11520,83 \cdot 3600 \\
& \quad + 3,60 \cdot 10^{-6} \cdot 6041,64 \cdot 3600 + 3,60 \cdot 10^{-6} \cdot 4533,41 \cdot 3600 \\
& \quad + 3,60 \cdot 10^{-6} \cdot 3833,04 \cdot 3600 + 3,60 \cdot 10^{-6} \cdot 3180,77 \cdot 3600 \\
& \quad + 3,60 \cdot 10^{-6} \cdot 1115,66 \cdot 3600 + 3,60 \cdot 10^{-6} \cdot 723,68 \cdot 3600 \\
& \quad + c_{wt} \cdot 115500 \cdot 3600
\end{aligned}$$

$$2330,84 = C_{wt} \cdot 115500 \cdot 3600$$

$$c_{wt} = 5,60 \cdot 10^{-6} \$/kj$$

### **Türbin grubunun kayıp ekserji maliyeti;**

$$c_{ky,türbin} = c_1 = 3,60 \cdot 10^{-6}$$

$$\dot{C}_{ky,türbin} = c_{ky,türbin} \cdot \dot{E}_{ky,türbin} = 3,60 \cdot 10^{-6} \cdot 47383,13 \cdot 3600 = 614,08 \$/h$$

### **Türbin grubu için ekserji kaybı oranı;**

$$y_{ky,türbin} = \frac{\dot{E}_{ky,türbin}}{\sum \dot{E}_{ky}} = \frac{47383,13}{383544,1} = 0,12$$

### **Türbin grubu için eksergoekonomik faktör;**

$$f_{kazan} = \frac{\dot{Z}_{türbin}}{\dot{Z}_{türbin} + \dot{C}_{ky,türbin}} = \frac{369,19}{369,19 + 614,08} = 0,37$$

### **Kondenser eksergoekonomik analizi;**

Kondensere giren buhar ve kondenserden çıkan su, buhar hattının ürünü olduğundan akım maliyetlerinin birbirine eşit olduğu aşağıda gösterilmektedir.

$$c_5 = c_6 = 3,60 \cdot 10^{-6} \$/kj$$

Kondensere giren buhar ve kondenserden çıkan soğutma suyu, aynı hattın ürünü olduğundan akım maliyetlerinin birbirine eşit olduğu aşağıda gösterilmektedir

$$c_{24} = c_{25} = c_{26} = c_{27}$$

$$c_5 \cdot \dot{E}_5 + c_{24} \cdot \dot{E}_{24} + c_{26} \cdot \dot{E}_{26} + \dot{Z}_{kondenser} = c_6 \cdot \dot{E}_6 + c_{25} \cdot \dot{E}_{25} + c_{27} \cdot \dot{E}_{27}$$

$$\begin{aligned} 3,60 \cdot 10^{-6} \cdot 12700,42 \cdot 3600 + c_{24} \cdot 8973,36 \cdot 3600 + c_{26} \cdot 8973,36 \cdot 3600 + 23,19 \\ = 3,60 \cdot 10^{-6} \cdot 398,59 \cdot 3600 + c_{25} \cdot 10088,76 \cdot 3600 \\ + c_{27} \cdot 10088,76 \cdot 3600 \end{aligned}$$

$$182,62 = 2230,8 \cdot c_{24}$$

$$c_{24} = 8,19 \cdot 10^{-2} \text{ \$/kj bulunur}$$

### **Kondenser için kayıp ekserji maliyeti;**

$$c_{ky,kondenser} = c_5 = 3,60 \cdot 10^{-6}$$

$$\begin{aligned} \dot{C}_{ky,kondenser} = c_{ky,kondenser} \cdot \dot{E}_{ky,kondenser} = 3,60 \cdot 10^{-6} \cdot 10071,02 \cdot 3600 = \\ 130,52 \text{ \$/h} \end{aligned}$$

### **Kondenser için ekserji kaybı oranı;**

$$y_{ky,kondenser} = \frac{\dot{E}_{ky,kondenser}}{\sum \dot{E}_{ky}} = \frac{10071,02}{383544,1} = 0,026$$

### **Kondenser için eksergoekonomik faktör;**

$$f_{kondenser} = \frac{\dot{Z}_{kondenser}}{\dot{Z}_{kondenser} + \dot{C}_{ky,kondenser}} = \frac{23,19}{23,19 + 130,52} = 0,15 \text{ bulunur}$$

### **Kondenser tahliye pompasının eksergoekonomik analizi;**

Kondenser pompasına giren ve pompadan çıkan su, buhar hattının ürünü olduğundan birbirine eşittir.

$$c_6 = c_7 = 3,60 \cdot 10^{-6} \text{ \$/kj}$$

$$c_6 \cdot \dot{E}_6 + c_{w,ktp} \cdot \dot{E}_{w,ktp} + \dot{Z}_{KTP} = c_7 \cdot \dot{E}_7 + c_{ky} \cdot \dot{E}_{ky}$$

$$\begin{aligned} 3,60 \cdot 10^{-6} \cdot 398,59 \cdot 3600 + 5,60 \cdot 10^{-6} \cdot 160 \cdot 3600 + 3,04 \\ = 3,60 \cdot 10^{-6} \cdot 657,52 \cdot 3600 + c_{ky} \cdot \dot{E}_{ky} \end{aligned}$$



### **Kondenser tahliye pompasının kayıp ekserji maliyeti;**

$$\dot{C}_{ky,ktp} = c_{ky,ktp} \cdot \dot{E}_{ky,ktp} = 2,91 \text{ \$/kj}$$

### **Kondenser tahliye pompasının ekserji kaybı oranı;**

$$y_{ky,ktp} = \frac{\dot{E}_{ky,ktp}}{\sum \dot{E}_{ky}} = \frac{160}{383544,1} = 3,12 \cdot 10^{-4} = 0,00041$$

### **Kondenser tahliye pompasının eksergoekonomik faktörü;**

$$f_{ktp} = \frac{\dot{Z}_{ktp}}{\dot{Z}_{ktp} + \dot{C}_{ky,ktp}} = \frac{3,04}{3,04 + 2,10} = 0,51 \text{ bulunur}$$

### **Ejektörün eksergoekonomik analizi;**

Ejektöre, kondenserin tahliye pompasından gelen akım ve ejektörün 1 nolu alçak basınç besli suyu ısıtıcısına giden akım buhar hattında olduğundan akım maliyetleri birbirine eşittir.

$$c_7 = c_8 = 3,60 \cdot 10^{-6} \text{ \$/kj}$$

$$c_7 \cdot \dot{E}_7 + \dot{Z}_{ejektör} = c_8 \cdot \dot{E}_8 + c_{ky} \cdot \dot{E}_{ky}$$

$$3,60 \cdot 10^{-6} \cdot 657,52 \cdot 3600 + 0,86 = 3,60 \cdot 10^{-6} \cdot 607,19 \cdot 3600 + c_{ky} \cdot E_{ky}$$

### **Ejektör kayıp ekserji maliyeti;**

$$\dot{C}_{ky,ejektör} = c_{ky,ejektör} \cdot \dot{E}_{ky,ejektör} = 1,52 \text{ \$/kj}$$

### **Ejektör ekserji kaybı oranı;**

$$y_{ky,ejektör} = \frac{\dot{E}_{ky,ejektör}}{\sum \dot{E}_{ky}} = \frac{50,33}{383544,1} = 1,31 \cdot 10^{-4} = 0,000131$$

### **Ejektör için eksergoekonomik faktör;**

$$f_{ejektör} = \frac{\dot{Z}_{ejektör}}{\dot{Z}_{ejektör} + \dot{C}_{ky,ejektör}} = \frac{0,86}{0,86 + 1,52} = 0,36 \text{ bulunur}$$

### **1 nolu Alçak basınç besleme suyu ısıtıcısının eksergoekonomik analizi;**

1 nolu alçak basınç besleme suyu ısıtıcısına türbin ve glend kondenserdan gelen akımlar buhar hattı olduğundan akım maliyetleri birbirine eşittir.

$$c_9 = c_{10} = c_{23} = 3,60 \cdot 10^{-6} \$/kj$$

$$c_9 \cdot \dot{E}_9 + c_{23} \cdot \dot{E}_{23} + \dot{Z}_{ABSI-I} = c_{10} \cdot \dot{E}_{10} + c_{ky} \cdot \dot{E}_{ky}$$

$$\begin{aligned} 3,60 \cdot 10^{-6} \cdot 607,19.3600 + 3,60 \cdot 10^{-6} \cdot 723,68.3600 + 3,53 \\ = 3,60 \cdot 10^{-6} \cdot 1250,05.3600 + c_{ky} \cdot E_{ky} \end{aligned}$$

### **1 nolu Alçak basınç besleme suyu ısıtıcısının kayıp ekserji maliyeti;**

$$\dot{C}_{ky,ABSI-I} = c_{ky,ABSI-I} \cdot \dot{E}_{ky,ABSI-I} = 4,57 \$/k$$

### **1 nolu Alçak basınç besleme suyu ısıtıcısının ekserji kaybı oranı;**

$$y_{ky,ABSI-I} = \frac{\dot{E}_{ky,ABSI-I}}{\sum \dot{E}_{ky}} = \frac{80,83}{383544,1} = 2,1 \cdot 10^{-4} = 0,00021$$

### **1 nolu Alçak basınç besleme suyu ısıtıcısının eksergoekonomik faktörü;**

$$f_{ABSI-I} = \frac{\dot{Z}_{ABSI-I}}{\dot{Z}_{ABSI-I} + \dot{C}_{ky,ABSI-I}} = \frac{3,53}{3,53 + 4,57} = 0,43 \text{ bulunur}$$

### **2 nolu Alçak basınç besleme suyu ısıtıcısının eksergoekonomik analizi;**

2 nolu alçak basınç besleme suyu ısıtıcısına türbin ve alçak basınç besleme suyu ısıtıcısından gelen akımlar buhar hattı olduğundan akım maliyetleri birbirine eşittir.

$$c_{10} = c_{11} = c_{22} = 3,60 \cdot 10^{-6} \$/kj$$

$$c_{10} \cdot \dot{E}_{10} + c_{22} \cdot \dot{E}_{22} + \dot{Z}_{ABSI-II} = c_{11} \cdot \dot{E}_{11} + c_{ky} \cdot \dot{E}_{ky}$$

$$\begin{aligned} 3,60 \cdot 10^{-6} \cdot 1250,05.3600 + 3,60 \cdot 10^{-6} \cdot 1115,6.3600 + 3,66 \\ = 3,60 \cdot 10^{-6} \cdot 1453,92.3600 + c_{ky} \cdot E_{ky} \end{aligned}$$

### **2 nolu Alçak basınç besleme suyu ısıtıcısının kayıp ekserji maliyeti;**

$$\dot{C}_{ky,ABSI-II} = c_{ky,ABSI-II} \cdot \dot{E}_{ky,ABSI-II} = 15,47 \$/kj$$

### **2 nolu Alçak basınç besleme suyu ısıtıcısının ekserji kaybı oranı;**

$$y_{ky,ABSI-II} = \frac{\dot{E}_{ky,ABSI-II}}{\sum \dot{E}_{ky}} = \frac{911,79}{383544,1} = 2,37 \cdot 10^{-4} = 0,000237$$

### **2 nolu Alçak basınç besleme suyu ısıtıcısının eksergoekonomik faktörü;**

$$f_{ABSI-II} = \frac{\dot{Z}_{ABSI-II}}{\dot{Z}_{ABSI-II} + \dot{C}_{ky,ABSI-II}} = \frac{3,66}{3,66 + 15,46} = 0,19 \text{ bulunur}$$

### **3 nolu Alçak basınç besleme suyu ısıtıcısının eksergoekonomik analizi;**

3 nolu alçak basınç besleme suyu ısıtıcısına türbin ve alçak basınç besleme suyu ısıtıcısından gelen akımlar buhar hattı olduğundan akım maliyetleri birbirine eşittir.

$$c_{11} = c_{12} = c_{21} = 3,33 \cdot 10^{-6} \$/kj$$

$$c_{11} \cdot \dot{E}_{11} + c_{21} \cdot \dot{E}_{21} + \dot{Z}_{ABSI-III} = c_{12} \cdot \dot{E}_{12} + c_{ky} \cdot \dot{E}_{ky}$$

$$\begin{aligned} 3,60 \cdot 10^{-6} \cdot 1453,92 \cdot 3600 + 3,60 \cdot 10^{-6} \cdot 3180,77 \cdot 3600 + 4,05 \\ = 3,60 \cdot 10^{-6} \cdot 4632,65 \cdot 3600 + c_{ky} \cdot \dot{E}_{ky} \end{aligned}$$

### **3 nolu Alçak basınç besleme suyu ısıtıcısının kayıp ekserjisi maliyeti;**

$$\dot{C}_{ky,ABSI-III} = c_{ky,ABSI-III} \cdot \dot{E}_{ky,ABSI-III} = 4,07 \$/kj$$

### **3 nolu Alçak basınç besleme suyu ısıtıcısının ekserji kaybı oranı;**

$$y_{ky,ABSI-III} = \frac{\dot{E}_{ky,ABSI-III}}{\sum \dot{E}_{ky}} = \frac{2,04}{385052,33} = 5,29 \cdot 10^{-6} = 0,0000053$$

### **3 nolu Alçak basınç besleme suyu ısıtıcısının eksergoekonomik faktörü;**

$$f_{ABSI-III} = \frac{\dot{Z}_{ABSI-III}}{\dot{Z}_{ABSI-III} + \dot{C}_{ky,ABSI-III}} = \frac{4,05}{4,05 + 4,07} = 0,49 \text{ bulunur}$$

#### **4 nolu Alçak basınç besleme suyu ısıtıcısının eksergoekonomik analizi;**

4 nolu alçak basınç besleme suyu ısıtıcısına türbin ve alçak basınç besleme suyu ısıtıcısından gelen akımlar buhar hattı olduğundan akım maliyetleri birbirine eşittir.

$$c_{12} = c_{13} = c_{20} = 3,60 \cdot 10^{-6} \$/kj$$

$$c_{12} \cdot \dot{E}_{12} + c_{20} \cdot \dot{E}_{20} + \dot{Z}_{ABSI-IV} = c_{13} \cdot \dot{E}_{13} + c_{ky} \cdot \dot{E}_{ky}$$

$$\begin{aligned} 3,60 \cdot 10^{-6} \cdot 4632,65 \cdot 3600 + 3,60 \cdot 10^{-6} \cdot 3833,04 \cdot 3600 + 4,4 \\ = 3,60 \cdot 10^{-6} \cdot 8252,69 \cdot 3600 + c_{ky} \cdot E_{ky} \end{aligned}$$

#### **4 nolu Alçak basınç besleme suyu ısıtıcısının kayıp ekserji maliyeti;**

$$\dot{C}_{ky,ABSI-IV} = c_{ky,ABSI-IV} \cdot \dot{E}_{ky,ABSI-IV} = 7,16 \$/kj$$

#### **4 nolu Alçak basınç besleme suyu ısıtıcısının ekserji kaybı oranı;**

$$y_{ky,ABSI-IV} = \frac{\dot{E}_{ky,ABSI-IV}}{\sum \dot{E}_{ky}} = \frac{213}{383544,1} = 5,53 \cdot 10^{-4} = 0,000553$$

#### **4 nolu Alçak basınç besleme suyu ısıtıcısının eksergoekonomik faktörü;**

$$f_{ABSI-IV} = \frac{\dot{Z}_{ABSI-IV}}{\dot{Z}_{ABSI-IV} + \dot{C}_{ky,ABSI-IV}} = \frac{4,4}{4,4 + 7,16} = 0,38 \text{ bulunur}$$

#### **Degazörün eksergoekonomik analizi;**

Degazöre türbin ve alçak basınç besleme suyu ısıtıcısından gelen akımlar buhar hattı olduğundan akım maliyetleri birbirine eşittir.

$$c_{13} = c_{14} = c_{19} = 3,60 \cdot 10^{-6} \$/kj$$

$$c_{13} \cdot \dot{E}_{13} + c_{19} \cdot \dot{E}_{19} + \dot{Z}_{Degazör} = c_{14} \cdot \dot{E}_{14} + c_{ky} \cdot \dot{E}_{ky}$$

$$\begin{aligned} 3,60 \cdot 10^{-6} \cdot 8252,69 \cdot 3600 + 3,60 \cdot 10^{-6} \cdot 4533,41 \cdot 3600 + 5,27 \\ = 3,60 \cdot 10^{-6} \cdot 12636,87 \cdot 3600 + c_{ky} \cdot E_{ky} \end{aligned}$$

#### **Degazör için kayıp ekserji maliyeti;**

$$\dot{C}_{ky,Degazör} = c_{ky,Degazör} \cdot \dot{E}_{ky,Degazör} = 7,2 \$/kj$$

### **Degazör için ekserji kaybı oranı;**

$$y_{ky, Degazör} = \frac{\dot{E}_{ky, Degazör}}{\sum \dot{E}_{ky}} = \frac{149,14}{383544,1} = 3,8 \cdot 10^{-3} = 0,0038$$

### **Degazör için eksergoekonomik faktör;**

$$f_{Degazör} = \frac{\dot{Z}_{Degazör}}{\dot{Z}_{Degazör} + \dot{C}_{ky, Degazör}} = \frac{5,27}{5,27 + 7,2} = 0,42 \text{ bulunur.}$$

### **1 nolu Yüksek basınç besleme suyu ısıtıcısının eksergoekonomik analizi;**

1 nolu yüksek basınç besleme suyu ısıtıcısına türbin ve degazörden gelen akımlar buhar hattı olduğundan akım maliyetleri birbirine eşittir.

$$c_{14} = c_{15} = c_{18} = 3,60 \cdot 10^{-6} \$/kj$$

$$c_{14} \cdot \dot{E}_{14} + c_{18} \cdot \dot{E}_{18} + \dot{Z}_{YBSI-I} = c_{15} \cdot \dot{E}_{15} + c_{ky} \cdot \dot{E}_{ky}$$

$$3,60 \cdot 10^{-6} \cdot 12636,87 \cdot 3600 + 3,60 \cdot 10^{-6} \cdot 6041,07 \cdot 3600 + 4,81 \\ = 3,60 \cdot 10^{-6} \cdot 18378,83 \cdot 3600 + c_{ky} \cdot E_{ky}$$

### **1 nolu Yüksek basınç besleme suyu ısıtıcısının kayıp ekserji maliyeti;**

$$\dot{C}_{ky, YBSI-I} = c_{ky, YBSI-I} \cdot \dot{E}_{ky, YBSI-I} = 8,68 \$/kj$$

### **1 nolu Yüksek basınç besleme suyu ısıtıcısının ekserji kaybı oranı;**

$$y_{ky, YBSI-I} = \frac{\dot{E}_{ky, YBSI-I}}{\sum \dot{E}_{ky}} = \frac{299,68}{383544,1} = 7,81 \cdot 10^{-4} = 0,0007$$

### **1 nolu Yüksek basınç besleme suyu ısıtıcısının eksergoekonomik faktörü;**

$$f_{YBSI-I} = \frac{\dot{Z}_{YBSI-I}}{\dot{Z}_{YBSI-I} + \dot{C}_{ky, YBSI-I}} = \frac{4,81}{4,81 + 8,68} = 0,35 \text{ bulunur.}$$

## **2 nolu Yüksek basınç besleme suyu ısıtıcısının eksergoekonomik analizi;**

2 nolu yüksek basınç besleme suyu ısıtıcısına türbin ve yüksek basınç besleme suyu ısıtıcısından gelen akımlar buhar hattı olduğundan akım maliyetleri birbirine eşittir.

$$c_{15} = c_{16} = c_{17} = 3,660.10^{-6} \$/kj$$

$$c_{15} \cdot \dot{E}_{15} + c_{17} \cdot \dot{E}_{17} + \dot{Z}_{YBSI-II} = c_{16} \cdot \dot{E}_{16} + c_{ky} \cdot \dot{E}_{ky}$$

$$3,60.10^{-6} \cdot 17749,29.3600 + 3,60.10^{-6} \cdot 11520,84.3600 + 4,84 \\ = 3,60.10^{-6} \cdot 28151,9.3600 + c_{ky} \cdot E_{ky}$$

## **2 nolu Yüksek basınç besleme suyu ısıtıcısının kayıp ekserji maliyeti;**

$$\dot{C}_{ky,YBSI-II} = c_{ky,YBSI-II} \cdot \dot{E}_{ky,YBSI-II} = 18,26 \$/kj$$

## **2 nolu Yüksek basınç besleme suyu ısıtıcısının ekserji kaybı oranı;**

$$y_{ky,YBSI-II} = \frac{\dot{E}_{ky,YBSI-II}}{\sum \dot{E}_{ky}} = \frac{1036,14}{383544,1} = 2,69.10^{-3} = 0,00269$$

## **2 nolu Yüksek basınç besleme suyu ısıtıcısının eksergoekonomik faktörü;**

$$f_{YBSI-II} = \frac{\dot{Z}_{YBSI-II}}{\dot{Z}_{YBSI-II} + \dot{C}_{ky,YBSI-II}} = \frac{4,84}{4,84 + 19,33} = 0,20 \text{ bulunur.}$$

## **Kazan besleme suyu pompalarının için eksergoekonomik analizi;**

Kazan besli pompasına giren ve pompadan çıkan su buhar hattının ürünü olduğundan birbirine eşittir.

$$c_{14} = c_{14'} = 3,60.10^{-6} \$/kj \text{ ve } \dot{E}_{14'} = \dot{E}_{14} = 13045,69 kW$$

$$c_{14'} \cdot \dot{E}_{14'} + c_{w,KBP} \cdot \dot{E}_{w,KBP} + \dot{Z}_{KBP} = c_{14} \cdot \dot{E}_{14} + c_{ky} \cdot \dot{E}_{ky}$$

$$3,60.10^{-6} \cdot 13045,69.3600 + 3,60.10^{-6} \cdot 930.3600 + 6,68 \\ = 3,60.10^{-6} \cdot 13045,06.3600 + c_{ky} \cdot E_{ky}$$

## **Kazan besleme suyu pompalarının kayıp ekserji maliyeti;**

$$\dot{C}_{ky,KBP} = c_{ky,KBP} \cdot \dot{E}_{ky,KBP} = 25,44 \$/kj$$

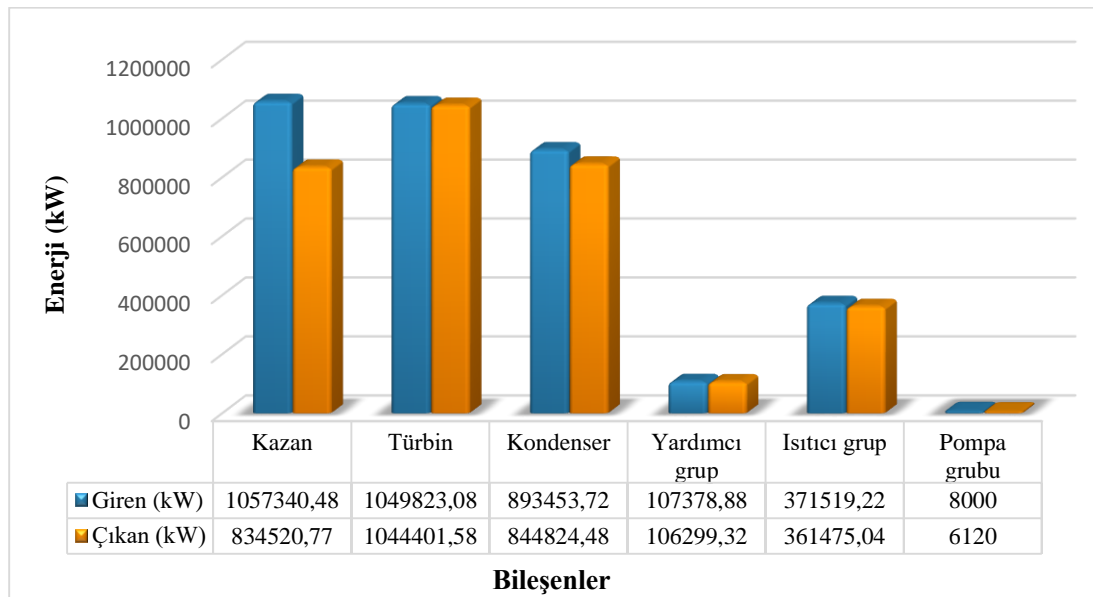
### **Kazan besleme suyu pompalarının ekserji kaybı oranı;**

$$y_{ky,KBP} = \frac{\dot{E}_{ky,KBP}}{\sum \dot{E}_{ky}} = \frac{930}{383544,1} = 2,74 \cdot 10^{-3} = 0,00274$$

### **Kazan besleme suyu pompalarının eksergoekonomik faktörü;**

$$f_{KBP} = \frac{\dot{Z}_{KBP}}{\dot{Z}_{KBP} + \dot{C}_{ky,KBP}} = \frac{6,68}{6,68 + 25,44} = 0,20 \text{ bulunur}$$

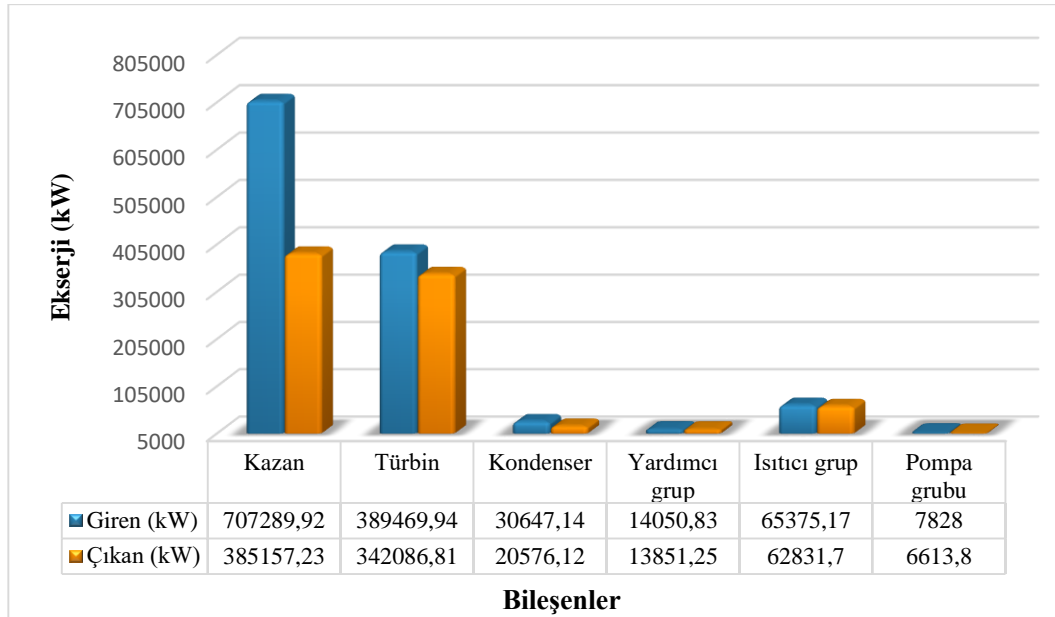
Yapmış olduğumuz çalışmalardan elde edilen sonuçlar göz önünde bulundurularak, ünitelerin bileşenlerine giren ve çıkan enerji ve ekserji değerleri şekil 6.2 ve şekil 6.3’ de verilmektedir. Santralin termodinamik analizi sırasında türbinler türbinler grup olarak, ejektör, glend, degazör ve kondenserde yardımcı grup olarak, ABSI-I, ABSI-II, ABSI-III, ABSI-IV, YBSI-I, YBSI-II ısıtıcıları ısıtıcı grubunu ve pompaları ayrı ayrı tek grupta belirterek analiz yapılmıştır.



**Şekil 6.2:** Ünite Komponentleri Giren ve Çıkan Enerji Değerleri

Santral komponentleri çıkan ve giren enerjiler tarafından incelendiğinde şekil 6.2 değerlendirilirse; enerjinin en sık yoğun olduğu komponentler Türbin grubu, buhar kazanı, alçak ve yüksek basınç ısıtıcıları, yardımcı gruplar ve kondenser olduğu görülmektedir. Yardımcı grupların ve besi pompa grubunun taşıdığı enerji çok az olduğu görülmektedir. Çıkan ve giren enerjiler arasında oluşan fark, enerji kaybını

gösterir ve ilk olarak incelenecek komponenti ifade eder bu bağlamda buhar kazanı, türbin grubu ve kondenserin enerji kaybının sebepleri gözden geçirilmelidir.



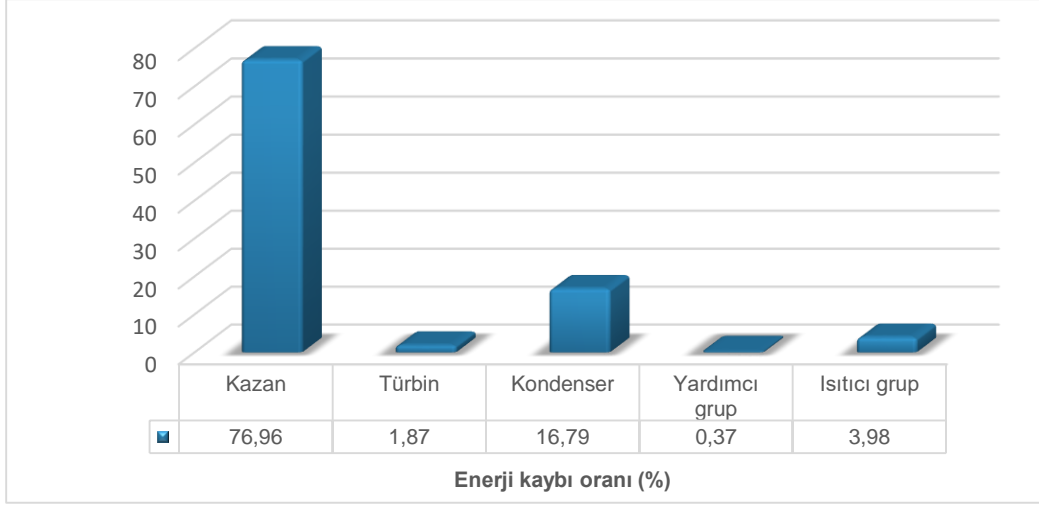
**Şekil 6.3 :** Ünite Komponentleri Giren ve Çıkan Ekserji Değerleri

Buharlı güç santrali komponentleri için çıkan ve giren ekserji değerleri açısından şekil 6.3 hakkında değerlendirme yapılırsa buhar kazanı, türbin grubu ekserjinin en yoğun görüldüğü komponent olarak ortaya çıkmaktadır. Çıkan ve giren ekserjilerin arasındaki farklar yani kayıp için değerlendirmeler yapılırsa; buhar kazanı, türbin grubunun ve ısıtıcı grubunun ilk sıralarda olduğu görülmektedir. Kondenser, pompa grubu, yardımcı gruplar için kayıplar değerlendirilirse diğer bileşenlere kıyasla düşük çıkmıştır ve bu çizelgede en çok dikkate alınması gerek komponentler türbin grubu ve buhar kazanı olarak görülmektedir.

**Çizelge 6.6:** Ünite Komponentleri Enerji Kayıp Oranları

| Düğüm No             | Kayıp Enerji (kW) | Enerji Kaybı Oranı (%) |
|----------------------|-------------------|------------------------|
| <b>Kazan</b>         | 222819,71         | 76,96                  |
| <b>Türbin Grubu</b>  | 5421,50           | 1,87                   |
| <b>Kondenser</b>     | 48629,24          | 16,79                  |
| <b>Yardımcı Grup</b> | 1079,56           | 0,37                   |
| <b>Isıtıcı Grup</b>  | 11550,18          | 3,98                   |
| <b>Toplam</b>        | <b>289500,19</b>  | <b>100</b>             |



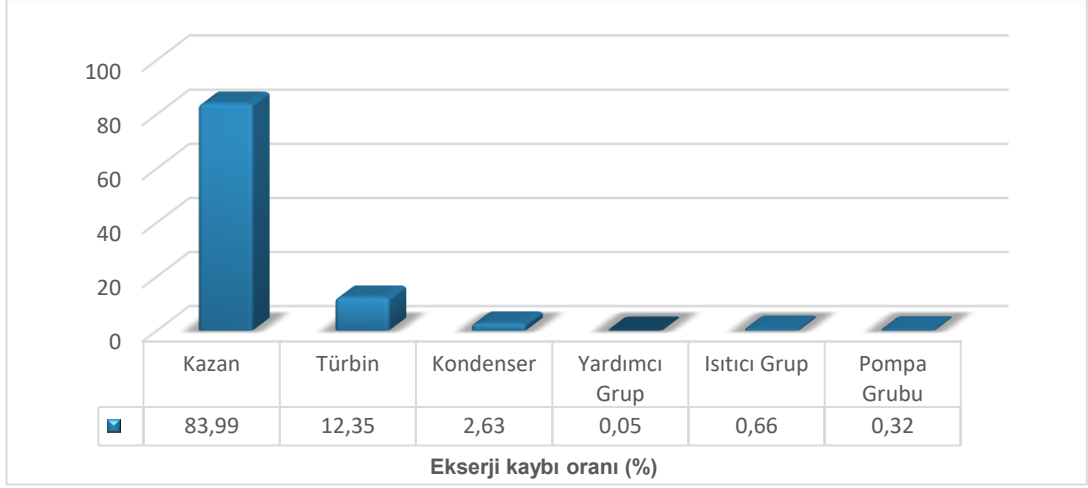


**Şekil 6.4 : Ünite Komponentleri Enerji Kayıp Oranları**

Hassas bir analiz açısından, enerji kayıp oranları ele alınırsa, komponentler için enerji kaybının en fazla görüldüğü komponent buhar kazanı ve kondenser olarak görülmektedir.

**Çizelge 6.7: Ünite Komponentleri İçin Ekserji Kayıp Oranları**

| Düğüm No             | Kayıp Ekserji (kW) | Ekserji Kaybı Oranı (%) |
|----------------------|--------------------|-------------------------|
| <b>Kazan</b>         | 322132,70          | 83,99                   |
| <b>Türbin Grubu</b>  | 47383,14           | 12,35                   |
| <b>Kondenser</b>     | 10071,02           | 2,63                    |
| <b>Yardımcı Grup</b> | 199,58             | 0,05                    |
| <b>Isıtıcı Grup</b>  | 2543,47            | 0,66                    |
| <b>Pompa Grubu</b>   | 1214,20            | 0,32                    |
| <b>Toplam</b>        | <b>382299,62</b>   | <b>100</b>              |



**Şekil 6.5:** Ünite Komponentleri İçin Ekserji Kayıp Oranları

Kayıp ekserji oranları bakımından yapılan bir analizde ise, buhar kazanının ilk sırayı aldığı ikinci sırayı türbin grubunun ve daha sonra kondenserin takip ettiği görülmektedir.

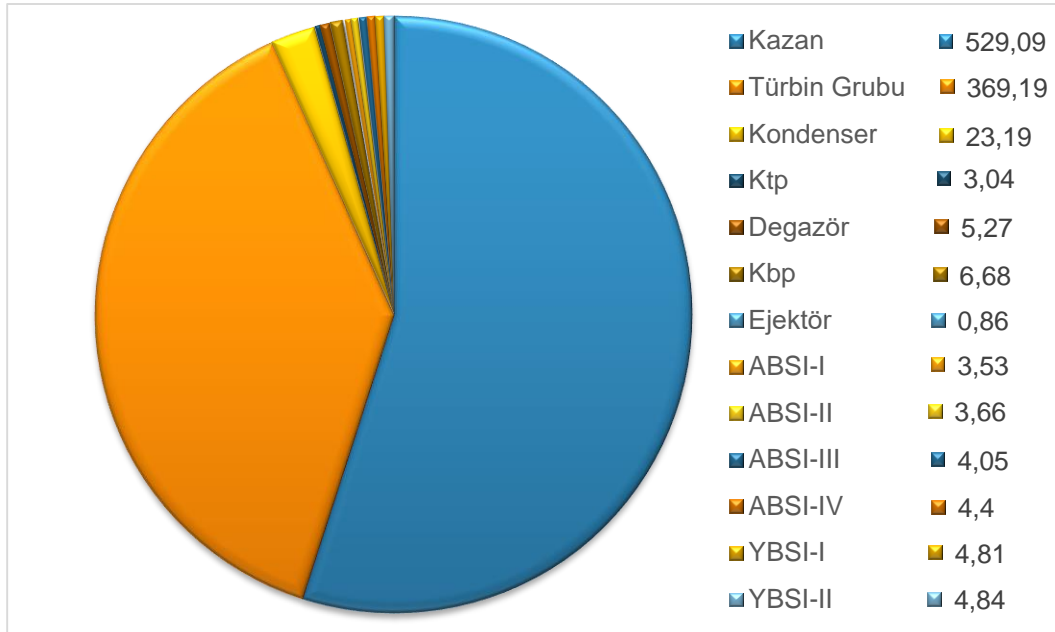
**Çizelge 6.8:** Santral Komponentlerinin Enerji - Ekserji Kayıpları ve Verimleri

| Düğüm No         | Enerji (E) (kW) | Ekserji Yıkımı (kW) | Enerji Verimi ( $\eta$ ) | Ekserji Verimi ( $\epsilon$ ) |
|------------------|-----------------|---------------------|--------------------------|-------------------------------|
| <b>Kazan</b>     | 222819,71       | 322132,70           | 0,7693                   | 0,5446                        |
| <b>Türbin</b>    | 5421,50         | 47383,14            | 0,9948                   | 0,8783                        |
| <b>Kondenser</b> | 48629,24        | 10071,02            | 0,9525                   | 0,6791                        |
| <b>Ejektör</b>   | 648,48          | 50,33               | 0,9609                   | 0,9234                        |
| <b>Glend</b>     | 0,00            | 0,00                | 0,0000                   | 1,0000                        |
| <b>1.Absı</b>    | 306,74          | 80,83               | 0,9867                   | 0,9393                        |
| <b>2.Absı</b>    | 6278,26         | 911,79              | 0,7977                   | 0,6146                        |
| <b>3.Absı</b>    | 1289,85         | 2,043               | 0,9712                   | 0,9996                        |
| <b>4.Absı</b>    | 76,49           | 213,00              | 0,9987                   | 0,9748                        |
| <b>Degazör</b>   | 431,08          | 149,24              | 0,9741                   | 0,9126                        |
| <b>1.Ybsı</b>    | 2572,33         | 299,68              | 0,9783                   | 0,9629                        |
| <b>2.Ybsı</b>    | 1026,51         | 1036,14             | 0,9916                   | 0,9653                        |
| <b>Ktp</b>       | 0,00            | 160                 | -                        | 0,8000                        |
| <b>Kbp</b>       | 0,00            | 1054,20             | -                        | 0,8500                        |

Santraldeki bileşenler için eksergoekonomik yönden detaylı incelenmesi için bileşenlerin maliyet giderleri Z(\$/h), bileşenlerin kayıp ekserji maliyeti C(\$/h) ve bileşenlerin eksergoekonomik faktörlerini (f) kıyaslamak gereklidir. Bileşenlere ait bu özellikler aşağıdaki tablo verilmiştir.

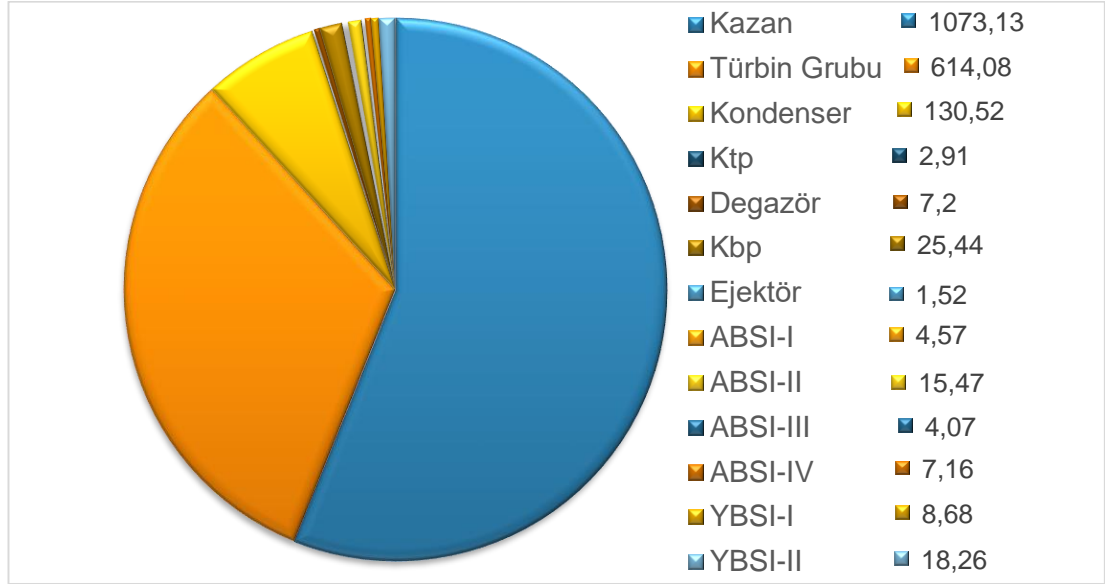
**Çizelge 6.9:** Ünite Komponentlerine ait Z(\$/h), C(\$/h) ve f Değerleri

|                     | <b>Komponentlerin Parasal Giderleri (\$/h)</b> | <b>Kayıp Ekserji Maliyeti (\$/h)</b> | <b>Eksergoekonomik Faktör (f)</b> |
|---------------------|--|--------------------------------------|-----------------------------------|
| <b>Kazan</b>        | 529,09   | 1073,13                              | 0,33                              |
| <b>Türbin Grubu</b> | 369,19   | 614,08                               | 0,37                              |
| <b>Kondenser</b>    | 23,19  | 130,52                               | 0,15                              |
| <b>Ktp</b>          | 3,04   | 2,91                                 | 0,51                              |
| <b>Degazör</b>      | 5,27   | 7,20                                 | 0,42                              |
| <b>Kbp</b>          | 6,68   | 25,44                                | 0,20                              |
| <b>Ejektör</b>      | 0,86   | 1,52                                 | 0,36                              |
| <b>ABSI-I</b>       | 3,53   | 4,57                                 | 0,43                              |
| <b>ABSI-II</b>      | 3,66   | 15,47                                | 0,19                              |
| <b>ABSI-III</b>     | 4,05   | 4,07                                 | 0,49                              |
| <b>ABSI-IV</b>      | 4,40   | 7,16                                 | 0,38                              |
| <b>YBSI-I</b>       | 4,81   | 8,68                                 | 0,35                              |
| <b>YBSI-II</b>      | 4,84   | 18,26                                | 0,20                              |



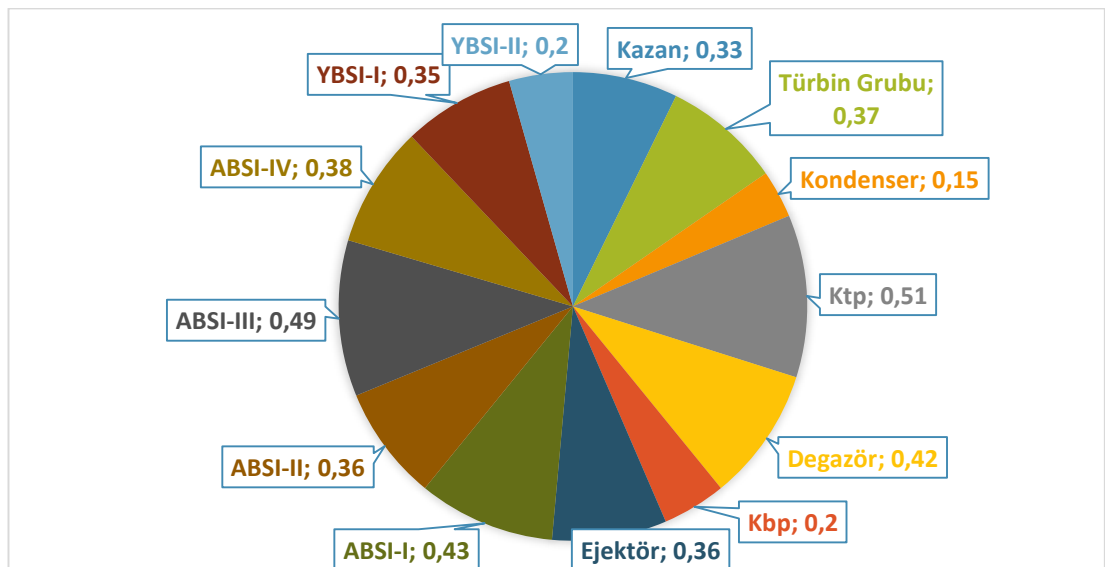
**Şekil 6.6:** Bileşenlerin Parasal Giderleri (\$/h)

Bileşenlere ait parasal giderler için şekil 6.6 yorumlarsak; en fazla parasal giderin olduğu ekipmanın kazan olduğu görülmektedir. Sonrasında türbin grubu takip etmekte beraber yüksek parasal gidere sahiptirler. Diğer ekipmanların parasal giderleri ise kazan ve türbin grubunun yanında çok az olduğu gözükmektedir.



Şekil 6.7 : Kayıp Ekserji Maliyeti (\$/h)

Bileşenlere ait kayıp ekserji maliyetleri için şekil 6.7 değerlendirilirse; en yüksek kayıp ekserji maliyeti olan bileşenin kazanda olduğu ardından türbin grubu ve kondenserde meydana geldiği görülmektedir. Geri kalan bileşenlerin kayıp ekserji maliyetleri az seviyelerde olduğu gözükmektedir.



Şekil 6.8 : Eksergoekonomik Faktör (f)

Komponentlere ait eksergoekonomik faktörler için şekil 6.8 yorumlanırsa en az eksergoekonomik faktörün kondenserde meydana geldiği, en yüksek eksergoekonomik faktöre sahip bileşenler ise degazör, ktp ve ısıtıcılarda olduğu görülmektedir. Geri kalan ekipmaların ise eksergoekonomik faktörleri değişmekle beraber, değerlendirme için iyileştirme yapılması gereken ekipmanın belirlenmesinde eksergoekonomik faktörleri, ekserji kayıplarını ve ekserji maliyetleri beraber değerlendirmek daha iyi sonuç almamıza yarayacaktır.

## 7. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Yapılan çalışma bir sistemin mühendislik yaklaşımıyla, termodinamik analizleri inceleyerek sistemleri birbirleriyle karşılaştırmak pek doğru değildir. Termodinamik analizlerde, maliyetler göz önüne alınmaz. Sistem performansı termodinamik açıdan iyileştirilirken, sistemin yatırım masrafları çok yükselebilir. Benzer bir durumla, tek başına yatırım maliyetleri dikkate alınırsa, sistem performansı düşer ve böylece sistemde işletme maliyetlerinin artmasına yol açar. Böyle durumlara yol açmamak için termodinamik analizin ve maliyet etkisinin beraber düşünülerek optimum tasarım parametrelerinin bulunması gerekmektedir. Çözüm için en iyi metotlardan birisi yaptığımız çalışmada uygulanmış olan eksergoekonomik analiz metodudur.

Çalışmamızda Türkiye’de kurulu olan aktif bir buharlı güç santralının bir ünitesi için tespit edilen parametrelere bağlı olarak eksergoekonomik analiz metoduyla santral bileşenlerinin değerlendirilmesi gerçekleştirilmiştir.

Çalışmamızın ilk aşamasında santralin çeşitli çalışmalar sonucu aldığımız sistem parametreleri belirlenmiştir. Bununla beraber buharlı güç santralının belirlenen ekipmanlarının enerji ve ekserji analizleri yapılmıştır. Bu değerlendirmeler sonucunda bileşenlerin enerji ve ekserji kayıplarına göre karşılaştırmalar yapılabilmektedir.

Çalışmamızın ikinci aşaması, analizlerde hesaplanmış eksergoekonomik parametrelere bakarak yapabileceğimiz iyileştirmeleri ve bu bileşenlerin hangilerinin daha öncelikle iyileştirilebileceğinin değerlendirmeleri yapılabilmektedir.

Buharlı güç santrali enerji ve ekserji kaybının en yüksek gerçekleştiği ekipman kazan olduğu tespit edilmiştir. Bununla birlikte buhar kazanının eksergoekonomik faktörü 0,33 bulunarak bu eksergoekonomik faktör değeriyle diğer bileşenlere göre yakın ya da daha az bir değer bulunmuştur. Böylece buhar kazanının iyileştirme yapılabilecek ekipmanlardan olduğunun en önemli parametrelerinden birisidir. Böylelikle seçilmesi düşünülen buhar kazanında verimin yüksek olmasının sistemin performansı açısından çok önemli olduğu görülebilir.

Santral çevrimini en önemli yerlerinden biri olan kondenser için farklı bir durum söylenebilir. Kayıpların yüksek çıktığı kondenderde eksergoekonomik faktör açısından 0,15 değeri ile en düşük değere sahip ekipmanlar arasında olduğu görülmektedir. Kondenserdeki farklılık ise soğutma suyundaki verilen enerjinin ilk

bakışta kayıp gibi görünmesidir. Fakat pompa tek fazlı sistemle çalışan bir ekipmandır. Pompanın sıvı fazında olması nedeni ile pompadan geçen akışkanın sıvı fazında olma zorunluluğu vardır. Bu sebeple bakıldığında kondensere türbin tarafından gelen buhar sıcaklığı 57°C iken su kaynağından gelen soğutma suyu sıcaklığının 25°C' olduğu görülmektedir. Aradaki sıcaklık farkının sebep olduğu kayıp aslında kayıp değil bir zorunluluktur.

Eksergoekonomik faktöre bakarsak kondenser maliyet bakımından en düşük ekipman olması sebebiyle kondenserde gerçekleştirilmesi düşünülen iyileştirmelerin sistem yatırım maliyetinin çok fazla arttırmayacağı görülmektedir.

Türbin grubunun ekserji yıkımı buhar kazanındaki göre düşük olduğu ve bununla birlikte eksergoekonomik faktörünün diğer bileşenlere kıyasla fazla yüksek olduğu görülmektedir. Türbin grubunda gerçekleştirilmesi düşünülen iyileştirmeler ekipman performansını arttıracak ancak sistemin performans artışı fazla etkilemeyecektir. Ayrıca yapılması düşünülecek bir iyileştirme maliyetini arttıracaktır. Böylece türbinde maliyet yüksek olacak ya da sistemin kendi içerisinde yapılacak kontrollerle verim artışı sağlanmaya çalışılmalıdır. Yapılacak en iyi iyileştirmenin, türbinden alıcak ara buharın optimizasyonu gerçekleştirilerek türbinde ve sistemde verimin artması sağlanacaktır.

Sonuç olarak buharlı güç santralinin kuruluş yılı itibariyle eski bir donanım ve cihazlara sahip olması bakımından yeniden dizayn edilmesi gerekmektedir. Çalışmada yapılan ekserji ve enerji analizi yatırım ve üretim maliyetlerini azaltma, iyileştirme ve daha yüksek verimlilik elde edilmesine yardımcı olacaktır. Özellikle santralin ısıtıcı ve kazan arasındaki boru hatlarındaki yalıtım malzemelerinin yıpranmış olmasından dolayı ekstra ısı kaybı meydana gelmekte ve bu da enerji ve ekserji verimliliğini düşürmektedir. Ayrıca kazanda daha yüksek verimlilikte yanma ve elde edilen ısının doğru şekilde transfer edilebilmesi için kazan üzerinde gerekli analiz ve yenilemelerin yapılması gerekmektedir.

Değerlendirmeleri gerçekleştirilen bileşenler dışındaki ekipmanlarda sistem üzerinde hem enerji hem de ekserji yıkımındaki payları çok az olduğu için bu ekipmanlarda yapılacak iyileştirmeler sistemin performansı açısından katkı sağlamayacağı gibi sadece maliyet artmasına yol açacak iyileştirmeler olarak karşımıza çıkacaklardır.

Dünya nüfusunun artışıyla birlikte insanlığın sınırsız ihtiyaçlarını sınırlı olan enerji kaynakları ile karşılamak, enerjinin ancak verimli ve etkin bir biçimde kullanılması ile mümkündür. Etkin ve verimli enerji kullanımını ise enerjinin miktarı yerine kalitesi ile ilgili olan termodinamiğin ikinci kanununun ilgi alanına girmektedir

Türkiye'yi enerji probleminden kurtarmak için öncelikle uygulanabilir gerçekçi stratejiler belirlemesi gerekmektedir. Planlanmış buharlı güç santrali yatırımlarına, ülkemizin sahip olduğu enerji rezervleri dikkate alınarak karar verilmelidir. İthal yakıtla çalışan doğalgaz santralleri yerine, yerli kömürle çalışan buharlı güç santralleri kurmaya önem verilmelidir. Yatırımcılar açısından oluşacak bürokratik engellerin kaldırılarak yabancı sermayeye enerji sektörüne girişi için kolaylık yapılmalıdır. Ülkemizin enerji üretiminde buharlı güç santrali yatırımlarının mevcut rezervler bakımından önemli bir üretim şekli olduğu, kurulması planlanan buharlı güç santrallerinin yeni teknolojilere sahip kömür yakıtlı buharlı güç santrallerinden olması gereklidir.





## KAYNAKLAR

- [1] **Çengel, Y. ve Boles, M.** (1994). *Thermodynamics: An Engineering Approach*, 2 nd Edition, Mc Graw-Hill, New York
- [2] **Yıldırım, U. ve Güngör, A.** (2012). An application of exergoeconomic analysis for a CHP system, *Electrical Power and Energy Systems Journal*, 42, 250–256
- [3] **Ehyaei, M. A. Ahmadi, P. Atabi, F. Heibatic, M. R. ve Khorshidvand, M.** (2012). Feasibility study of applying internal combustion engines in residential buildings by exergy, economic and environmental analysis, *Energy and Buildings*, 55, 405–413
- [4] **Mert, M. S. Dilmaç, Ö. F. Özkan, S. Karaca, F. ve Bolat, E.** (2012). Exergoeconomic analysis of a cogeneration plant in an iron and steel factory, *Energy Journal*, 46, 78-84
- [5] **Kanoğlu, M. ve Abuşoğlu, A.** (2009). Exergoeconomic Optimization of a Diesel-engine- powered Cogeneration Plant, *Energy & Fuels*, 23, 1977–1989
- [6] **Kotas, T. J.** (1995). *The Exergy Method of Thermal Plant Analysis*, Kreiger Publishing Company, Malabar, Florida
- [7] **Rosen, M. A.** (2001). Energy- and exergy- based comparison of coal-fired and nuclear steam power plants, *Exergy an International Journal*, 1(3), 180-192.
- [8] **Oktay, Z.** (2005). Energy and Exergy Analysis of a Coal-Fired Power Plant in Turkey, *Proceedings of the 2nd International Exergy, Energy and Environment Symposium (IEEES2)*, Kos-Greece, 3-7 Temmuz.
- [9] **Mert, S.** (2010) “*Bir Güç Santralinin Ekserjik ve Termoekonomik Analizi*” Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi
- [10] **Oymak, M.** (2007) “*Isıl Sistem Tasarımlarında Ekonomik Yalıtım Kalınlıklarının Ekserji Ekonomik Yöntemle Belirlenmesi*” T.C. Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi
- [11] **Tsatsaronis, G.** (2006). “*Definitions and nomenclature in exergy analysis and exergoeconomics*”, *Energy*, 32: 249-253
- [12] **Turgut, E. T.** (2007). “*Uçaklarda Kullanılan Gaz Türbinli Motorların Ekserjoekonomik Analizi*” Doktora Tezi, Anadolu Üniversitesi SHYO, Eskişehir
- [13] **Valero, A. Serra, L. ve Uche, J.** (2006). “*Fundamentals of exergy cost accounting and thermoeconomics. Part 1: Theory*”, *Journal of Energy Resources Technology*, 128: 1-8
- [14] **Bejan, A. Tsatsaronis, G. Moran, M.** (1996). *Thermal Design and Optimization*, John Wiley, New York.

- [15] **Coşkun, A.** (2013). “Çayırhan Termik Santralinin Enerji Ve Ekserji Analizi”. 11.Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi İzmir Sayfa (1).
- [16] **Kocaman, B.** (2003) Elektrik Enerjisi Üretim Santralleri. Tek Baskı, Birsen Yayın Evi. İstanbul, Sayfa (253).
- [17] **EÜAŞ,** (2017). 2016 Sektör Raporu, Araştırma Planlama Ve Koordinasyon Dairesi Başkanlığı İstatistik Ve Araştırma Müdürlüğü
- [18] **Atalay, Ö.** (2004). “*Jeotermal Sistemlerin Ekserji Analizi: Kızıldere Örneği*” T.C. Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, DENİZLİ
- [19] **Beyhan, B.** (2015). Soma Termik Santrali Vardiya Amiri , Santral Dökümanları
- [20] **Çengel, Y. A. Boles, M. A.** (1996). Mühendislik yaklaşımıyla termodinamik, McGraw-Hill
- [21] **Karakoç, T. H. Erbay, B. ve Karakoç, N.** (2011). *Enerji Analizi*. Türkiye Cumhuriyeti Anadolu Üniversitesi Yayını, Birinci Baskı, 2486, Anadolu Üniversitesi, Eskişehir, 167s.
- [22] **Oymak, M.** (2007). “*Isıl sistem tasarımlarında ekonomik yalıtım kalınlıklarının ekserji ekonomik yöntemle belirlenmesi*”, Yüksek lisans tezi, Trakya Üniversitesi Fen bilimleri enstitüsü
- [23] **Wall, G.** (1993). Exergetics, Exergy, Ecology and Democracy-Concepts of a vital society. Energy Systems and Ecology July 5-9, 111-121
- [24] **Çelik, C.** (2015) “*Termik Santrallarda Enerji ve Ekserji Analizi İçin Yazılım Geliştirilmesi*” Bülent Ecevit Üniversitesi Fen Bilimler Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Zonguldak
- [25] **Szargut, J.** (1980). International Progress in Second Law Analysis Energy 5, 709
- [26] **Riekart, L.** (1974). The efficiency of Energy Utilization in Chemical Processes. Chemical Engineering Science 29,1613
- [27] **Rosen, M. A. ve Dinçer, İ.** (2004). *Effect of Varying dead-state properties on energy and exergy analysis of thermal systems*, International Jouran of Thermal Science, 43,121-133
- [28] **Bejan, A.** (1988). *Advanced Engineering Thermodynamics*. Wiley, New york
- [29] **Tsatsaronis, G.** (1993). *Thermoeconomic Analysis and Optimization of Energy Systems. Prog. Energy Combust, Sci., 19, 227-257.*
- [30] **Tsatsaronis, G. ve Moran,** (1997). M. J. *Exergy-aided cost minimization. Energy Conversion and Management 38, 15–17, 1535–1542. 23*
- [31] **Hepbaşlı, A.** (2003). “*Güneş Enerjili Sistemlerde Ekserji Analizinin Gerekliliği ve Uygulanması*”. TMMOB Makine Mühendisleri Odası Güneş Enerjisi Sistemleri Sempozyumu ve Sergisi, 20- 21 Haziran 2003, Mersin, Bildiriler Kitabı: 197-206

- [32] **Rosen, M. A.** (2002). Exergy Conservation; an alternative to conserving the already conserved quantity energy, *Exergy an International Journal*, 2, 59-61
- [33] **Filiz, Ç.** (2012). “*Bir Buhar Kazanının Enerji ve Ekserji Analizi Yoluyla Performansının Değerlendirilmesi*” Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Karabük
- [34] **Tsatsaronis, G. ve Czielsa F.** (2002). “Thermoeconomics” *Encyclopedia of Physical Science and Technology*, Third Edition, Volume 16.
- [35] **Tsatsaronis, G.** (1999). “*Design Optimization Using Exergoeconomics*”, *Thermodynamic Optimization Of Complex Energy Systems*, Nato Sciences, 3. High Technology, Volume 69.
- [36] **Ballı, Ö.** (2008). “*Kojenerasyon Sistemlerinin Enerji, Kullanılabilirlik (Ekserji) ve Ekserjiekonomik Analiz Yöntemleri Kullanılarak Performansının Değerlendirilmesi*”, Doktora Tezi, Osmangazi Üniversitesi, Eskişehir
- [37] **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
- [38] **Ünal, F.** (2009). “*Bir Termik Santralin Ekserji Analizi*” Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul
- [39] **Utlı, Z. Kıncay, O.** (2013). “*An assessment of a pulp and paper mill through energy and exergy analyses*” *Energy* 57 565-573
- [40] **Utlı, Z. Hepbaslı, A.** (2011). “*Thermo-Economic Analysis Of Energy Utilization In A Ceramic Production : An Application*” ULIBTK’11 Bildiri Özetleri Kitabı Zonguldak
- [41] **Utlı, Z. Aydın, D. Kıncay, O.** (2013). “*Yeşil Bina Uygulamalarında Gizli Isı Depolama Sistemlerinin Kullanılabilirliğinin Araştırılması*” 11. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi İzmir
- [42] **Ünal, F.** (2019). “*Theoretical Investigations and Applied Studies in Engineering Analysis of Thermal Power Plants (Energy, Exergy, Exergoeconomic and Exergoenvironmental)*” Chapter 17 : 301 - 328
- [43] **Ünal, F. Temir, G. Köten, H.** (2019). “*Energy, exergy and exergoeconomic analysis of solar-assisted vertical ground source heat pump system for heating season*” *Journal of Mechanical Science and Technology* 32 (8) (2018) 3929~3942



# ÖZGEÇMİŞ

**Ad-Soyad:** Selim AKSAR

**Doğum Tarihi ve Yeri:** 31.05.1991- Bakırköy/İstanbul

**E-posta:** selimaksar12@gmail.com

## ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans:** İstanbul Aydın Üni. Müh. Fak. Makine Mühendisliği (2012-2014)
- **Önlisans:** İstanbul Üniversitesi Tek. Bil M.Y.O Makine (2009-2011)
- **Lise:** Avcılar Teknik Lisesi (2005-2009)
- **İlköğretim:** Saadetdere İlköğretim Okulu (1997-2005)

## MESLEKİ DENEYİMLERİ

- Elektromag Makina San. Tic A.Ş. (Haziran-Temmuz 2008/ Yaz Stajı)
- İstanbul Üniversitesi Tek. Bil. M.Y.O ( Haziran-Temmuz 2010 /Yaz Stajı)
- Sistem Reklamcılık Aydınlatma San. A. Ş. (Temmuz- Ağustos 2013 / Yerinde Uygulama Çalışması 1 )
- Sistem Reklamcılık Aydınlatma San. A. Ş. (Ağustos-Eylül 2013 / Yerinde Uygulama Çalışması 2 )
- Uzman Muayene Gözetim ve Çevre Lab. Tic. Ltd.Şti. (2015- Devam)