

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



**GÜÇ SANTRALLERİNİN ÇEVRESEL ETKİLERİNİN  
EKSERJİ YAKLAŞIMI İLE İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
YUSUF SAYICI**

**Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı**

**Makine Mühendisliği**

**MART 2019**



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



**GÜÇ SANTRALLERİNİN ÇEVRESEL ETKİLERİNİN  
EKSERJİ YAKLAŞIMI İLE İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**YUSUF SAYICI**

**181222004**

**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 181222004 numaralı öğrencisi **Yusuf SAYICI**'nın "GÜÇ SANTRALLERİNİN ÇEVRESEL ETKİLERİNİN EKSERJİ YAKLAŞIMI İLE İNCELENMESİ" adlı tez çalışması Enstitümüz Yönetim Kurulunun 19/02/2019 tarih ve 2019/03 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından **Q. birtaj** 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

*(Handwritten signatures in blue ink)*

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

## YEMİN METNİ

Yüksek lisans olarak sunduğum “*Güç Santrallerinin Çevresel Etkilerinin Ekserji Yaklaşımı ile 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)

YUSUF SAYICI



## ÖNSÖZ

Dünya’da nüfus artışı ve teknolojik gelişmeler neticesinde enerji’nin tasarruflu kullanılma zorunluluğu doğmuştur. Enerji denilince akla ilk gelen kavram ise elektrik enerjisidir. Buna bağlı olarak ülkemiz açısından bakılınca, Türkiye geliştirmekte olan bir ülke olup elektrik ihtiyacının büyük bir bölümünü birçok ülke gibi düşük kalorili linyitlerin kullanıldığı termik santraller vasıtası ile karşılamaktadır. Dünyada ülkelerin yerine getirmekle olduğu bazı yükümlülükler bulunmaktadır. Bu yükümlülükler gerek çevreyi korumak gerekse enerjiyi en verimli şekilde kullanmak gibi sıralanabilir. Bu nedenle bilim adamları ve mühendisler enerji tasarrufu sağlama, enerjiyi verimli kullanım ve çevreyi koruyan sistemlerin tasarımı ya da mevcut sistemlerin iyileştirilmesi konusunda büyük çalışmalar yapmaktadırlar. Bu bağlamda enerji konusunda dışa bağımlı olan ülkemizde termik santrallerin varlığı zorunlu bir ihtiyaç olmakla birlikte, birçok santralimizde bazı revizyonların yapılması ve çeşitli iyileştirmelerin yapılması gerekmektedir.

Bu çalışmada ise ülkemizde çalışmakta olan bir güç santralinin bir ünitesine termodinamiğin birinci ve ikinci yasası ışığında enerji, ekserji ve eksergoçevresel analiz uygulanıp bu analizler neticesinde santralin ünitesindeki kayıplar tespit edilmeye çalışılmıştır. Yapılan belirlemelere bağlı olarak verimliliğin artırılması gereken değişikliklerin yapılması veya yapılabilecek iyileştirmeler üzerinde durulmuştur.

Bu çalışma sırasında desteği ve yönlendirmeleri ile bana yardımcı olan sayın hocam Prof. Dr. Zafer UTLU’ ya, yardımları için sayın hocam Dr. Öğretim Üyesi Fatih ÜNAL’ a, araştırmalarımda desteklerini esirgemeyen sayın arkadaşlarım makine mühendisleri Selim AKSAR ve Oğuzhan YILDIZ’a, güç santrali çalışanlarına ve benden hiçbir zaman sevgisini ve desteğini esirgemeyen tüm aileme teşekkürlerimi sunarım.

MART 2019

YUSUF SAYICI

Makine Mühendisi





## İÇİNDEKİLER

### Sayfa

<b>KISALTMALAR</b> .....	<b>xii</b>
<b>ÇİZELGE LİSTESİ</b> .....	<b>xiv</b>
<b>ŞEKİL LİSTESİ</b> .....	<b>xvi</b>
<b>SEMBOL LİSTESİ</b> .....	<b>xviii</b>
<b>ÖZET</b> .....	<b>xx</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>xxi</b>
<b>1. GİRİŞ</b> .....	<b>1</b>
<b>2. ISIL SİSTEMLERDE EKSERGOÇEVRESEL ANALİZ'İN KULLANIMI</b> ..	<b>3</b>
2.1 Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi (YDD) .....	3
2.2 Eksergoçevresel Etkiyi Değerlendiren Çalışmalar.....	5
<b>3. GÜÇ SANTRALLERİ</b> .....	<b>7</b>
3.1 Güç Santrallerinin Çalışma Prensibi .....	8
3.2 Buhar Türbini ile Çalışan Santrallerin Görevleri ve Bölümleri .....	10
3.3 Sistemin Tanıtılması (Bir Güç Santrali).....	12
3.3.1 Bir güç santral hakkında genel bilgiler .....	12
3.3.1.1 Güç santralinin kömür ihtiyacının karşılanması .....	13
3.3.1.2 Güç santralinin su temini .....	13
3.3.1.3 Güç santralinin kül nakli ve stoklanması .....	14
3.3.2 Güç santralinin çalışma prensibi .....	14
<b>4. TERMODİNAMİK BAĞINTILAR</b> .....	<b>17</b>
4.1 Termodinamiğin I.Yasası .....	18
4.2 Termodinamiğin II.Yasası .....	19
4.3 İç Enerji.....	19
4.4 Entropi.....	20
4.5 Entalpi .....	20
4.6 Ekserji .....	20
4.7 Eksergoçevresel.....	21
<b>5. EKSERJİ ÇÖZÜMLEME YÖNTEMİ</b> .....	<b>23</b>
5.1 Genel Ekserji Tanımlaması ve Kullanılabilirlik .....	23
5.2 Tersinmezlik ve Tersinir İş .....	24
5.3 Ekserji .....	25
5.4 Geleneksel Ekserji Bileşenleri .....	26
5.4.1 Fiziksel ekserji .....	27
5.4.2 Kimyasal ekserji.....	28
5.5 Ekserji Yıkımı ve Kaybı.....	28
5.6 Eksergoçevresel Analiz.....	29
5.6.1 Metodoloji .....	29
5.6.1.1 Yaşam döngüsü değerlendirme .....	30
5.6.1.2 YDD'nin amaç ve kapsam tanımı .....	31
5.6.1.3 Yaşam döngüsü envanteri (YDE) .....	32
5.6.1.4 Yaşam döngüsü etki değerlendirme (YDED).....	33
5.6.1.5 YDD'de kullanılan yazılım programları .....	34

5.6.2 Çevresel etkilerin ekserji akımına uygulanması.....	35
<b>6. GELENEKSEL YÖNTEM İLE SİSTEM ANALİZİ .....</b>	<b>37</b>
6.1 Güç Santrallerinde Ekseji Analiz Uygulaması.....	37
6.1.1 Geleneksel enerji ve ekserji analizi .....	41
6.1.2 Santral bileşenlerinin ekserji kayıplarının bulunması .....	43
6.2 Güç Santralin Eksergoçevresel Açıdan İncelemesi.....	47
<b>7. SONUÇLAR ve ÖNERİLER .....</b>	<b>57</b>
<b>KAYNAKLAR.....</b>	<b>59</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>63</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>YDD</b>	: Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi
<b>YDE</b>	: Yaşam Döngüsü Envanteri
<b>YDED</b>	: Yaşam Döngüsü Etki Değerlendirmesi
<b>TEP</b>	: Ton Eşdeğer Petrol



## ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 3.1: Türkiye’de birincil enerji talepleri .....	8
Çizelge 3.2: Uygulaması yapılan güç santralin genel bilgileri .....	13
Çizelge 5.1: Enerji ve ekserji arasındaki başlıca farklar.....	26
Çizelge 5.2: Bazı emisyon, kaynak veya ürünlerin eko-indikatör 99 puanları.....	34
Çizelge 6.1: Santral’ e ait belirlenen enerji değerleri .....	40
Çizelge 6.2: Üniteye ait KTP ve KBP verileri.....	40
Çizelge 6.3: Enerji ve ekserji dengeleri .....	41
Çizelge 6.4: Güç santralin ünitesinin enerji ve ekserji değerleri .....	43
Çizelge 6.5: Ünite komponentleri için enerji kayıp oranları. ....	49
Çizelge 6.6: Ünite komponentleri için ekserji kayıp oranları .....	50
Çizelge 6.7: Santral komponentlerinin enerji – ekserji kayıpları ve verimleri.....	51
Çizelge 6.8: Santral proseslerinde termodinamik ve eksergoçevresel değerler .....	52
Çizelge 6.9: Santral proseslerinde ekserji ve eksergoçevresel analizler.....	53



## ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 3.1: Bir güç santral 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 .....	23
Şekil 5.2: Kullanılabilirlik ve tersinir iş ilişkisi .....	24
Şekil 5.3: Ekserji bileşenleri .....	27
Şekil 5.4: Yaşam döngüsü envanteri aşamaları .....	32
Şekil 5.5: Eko-indikatör 99 analizlerinin metolojisi .....	33
Şekil 6.1: Güç santrali akış diyagramı .....	39
Şekil 6.2: Ünite komponentleri giren ve çıkan enerji değerleri.....	48
Şekil 6.3: Ünite komponentleri giren ve çıkan ekserji değerleri .....	48
Şekil 6.4: Ünite komponentleri enerji kayıp oranları .....	49
Şekil 6.5: Ünite komponentleri için ekserji kayıp oranları.....	50
Şekil 6.6: Santralin parça bazında çevresel etki dağılımı .....	53
Şekil 6.7: Santralin ekserji yıkımına bağlı çevresel etki dağılımı .....	54
Şekil 6.8: Santralin eksergoçevresel faktör dağılımı .....	54





## Sembol Listesi

$A$	: 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
$g$	: 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
$\dot{Z}$	: Toplam maliyet değeri, \$
$z$	: Yükseklik, m
$\rho$	: Yoğunluk, kg/ m <sup>3</sup>
$j$	: Her bir akış, birimsiz
$b_j$	: Birim ekserji başına çevresel etki Pts/Gj
$\dot{B}_j$	: Çevresel etki miktarı mPts/s
$k$	: Her bir sistem parçası, birimsiz
$\dot{Y}_k$	: Parça bazında çevresel etki Pts/h
$f$	: Eksergoçevresel faktör, birimsiz



# GÜÇ SANTRALLERİNİN ÇEVRESEL ETKİLERİNİN EKSERJİ YAKLAŞIMI İLE İNCELENMESİ

## ÖZET

Kömürle çalışan elektrik santralleri, elektrik arzında uzun bir süredir önemli rol oynamaktadır. Kömürün yaygın olarak bulunması, istikrarlı fiyatı, nükleer santrallere karşı oluşan kamuoyu tepkisi ve yenilenebilir enerji kaynaklarının yüksek maliyetleri gibi nedenlerle elektrik üretimindeki payının önümüzdeki yıllarda 'da değişmeyeceği öngörülmektedir. Küresel kömür talebinin 2040 yılına kadar %15 oranında artması beklenmektedir. Türkiye'de son yıllarda gerçekleştirilen kömür arama çalışmaları sonucu önemli rezerv artışı elde edilmiş olması, elektrik üretiminde kömürün kullanımının önümüzdeki yıllarda artarak devam edeceğini desteklemektedir. Gelecek için, enerji kaynaklarının sürdürülebilirliğinin sağlanması bir yana enerji üretimi sürecinde çevresel kaynakların minimum miktarda kullanılması ve çevreye verilen zararın en aza indirgenmesi hedeflenmektedir.

Bu çalışmada öncelikle bir güç santralının performansı incelenmiştir. Santralde 27 düğüm noktası belirlenerek her bir düğümün enerji, ekserji ve verimlilikleri hesaplanmıştır. Daha sonra santralin eksergoçevresel analizleri incelenmiştir. Eksergoçevresel analizinin amacı incelenen elemanın özelliklerini iyileştirirken ortaya çıkan maliyet ve çevreye olan etkinin optimize edilmesidir. Çevresel analiz üç aşamada gerçekleştirilmektedir. İlk aşama enerji dönüşüm sisteminin ekserji analizidir. İkinci aşama yaşam döngüsü analizi metodu ile çevresel etkiler belirlenir. Üçüncü aşamada bileşenlerin ekserji akımları çevresel etki değerleri ile birleştirilerek sistemin çevresel etkisi incelenmiştir.

**Anahtar Kelimeler :** *Enerji analizi, Ekserji analizi, Çevresel etki, Güç santrali*



# INVESTIGATION WITH EXERGY APPROACH OF ENVIRONMENTAL EFFECTS OF POWER PLANTS

## ABSTRACT

Coal-fired power plants have been playing an important role in the supply of electricity for a long time. It is foreseen that its share in electricity generation will not change in the coming years due to reasons such as the widespread availability of coal, its stable price, public response to nuclear power plants and the high costs of renewable energy sources. Global coal demand is expected to increase by 15% until 2040. The result of coal exploration work carried out in recent years, Turkey has obtained significant increase in reserves and the use of coal in electricity production support will continue to increase in the coming years. For the future, in addition to ensuring the sustainability of energy resources, it is aimed to use minimum amount of environmental resources in the energy production process and to minimize the damage to the environment.

In this study, the performance of a power plant was first investigated. The energy, exergy and efficiency of each node were calculated by determining 27 nodes in the power plant. Then, exergoenvironmental analysis of the power plant was investigated. The purpose of the exergoenvironmental analysis is to optimize the cost and environmental impact of improving the properties of the inspected element. Environmental analysis takes place in three stages. The first stage is the exergy analysis of the energy conversion system. Environmental impacts are determined by the second stage life cycle analysis method. In the third stage, the exergy currents of the components are combined with the environmental impact values and the environmental impact of the system is examined

**Key Words:** *Energy analysis, Exergy analysis, Environmental impact, Power plant.*



## 1. GİRİŞ

Günümüzün en önemli ve en çok tartışılan problemlerden biri enerji kaynakları ve bunların kullanım süreçleridir. Dünyanın kısıtlı ve tükenen enerji kaynakları ile artan nüfusun ihtiyaçlarını gelecekte karşılayamayacağı açıktır. Mevcut veya doğacak olan enerji arz talep açığı beraberinde enerji fiyatlarının yükselmesi milletlerin küresel rekabeti sürecinde etkili olmaktadır. Enerji ile ilgili başlıca tartışılan konular enerjinin miktarı değil niteliği ile ilgilidir. Gelecek için, enerji kaynaklarının sürdürülebilirliğinin sağlanması ve enerji üretimi sürecinde çevresel kaynakların minimum miktarda kullanılması ve çevreye verilen zararın en aza indirgenmesi hedeflenmektedir.

Ana yaşam kaynağımız olan Dünya'mız kendini belirli oranda yenileyebilecek süreçlere de sahiptir. Ancak bu yenilenmenin günümüzdeki tüketim hızına erişmesi hatta önüne geçmesi henüz mümkün değildir. Dolayısıyla biz insanların gelecek nesillerin hayatını teminat altına alabilmek için Dünya'da ki süreçlere pozitif yönde müdahale etme zamanımız gelmiştir. İşte enerji kaynaklarının kullanım süreçlerine müdahale de bu kapsamda en önemli konulardan biri olarak gündemde yerini almaktadır [1].

Enerji üretim ve tüketim sürecinde çevreye verilen zararı da değerlendirmek gerekir. Avrupa'da ortalama kabul edilen değer olarak, tüketilen her 1 mWh elektrik için 0.46 ton CO<sub>2</sub> atmosfere salınmaktadır [2]. Güneş, rüzgâr, toprak ve hava gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının artması ile bu değer düşürülmesi öngörülmektedir. Nükleer santrallerde CO<sub>2</sub> salınımı sıfır olmasına karşın, radyoaktif sızıntıların, faciaların ve atıkların binlerce yıl bertaraf edilememesi sebebiyle bu kategorinin dışındadır [3].

Tüm dünya için enerjinin her alanda en iyi şekilde kullanımı vazgeçilmemesi gereken bir durum haline gelmiştir. Mevcut enerji talebi karşılanmakla beraber ihtiyaçtan fazla olan tüketim engellenmeli, verimlilikleri artırılarak kullanılan enerji ile daha fazla iş yapılabilmesi, daha çok ürün ve hizmet elde edilmelidir. Buna ek olarak hem enerji üretimi yaparken hem 'de enerji kullanımı sırasında çevreye verilen zararlar düşürülmelidir. Bunu sağlamak için bilhassa yenilenebilir enerji ile birlikte çalışan teknolojiler üretmeli ve bu sistemlerin gündelik hayatta kullanılabilecek seviyeye çıkarmalıdır [3].





## **2. ISIL SİSTEMLERDE EKSERGOÇEVRESEL ANALİZ'İN KULLANIMI**

Bir enerji dönüşüm sisteminin performansını artırmada en önemli faktör termodinamik verimliliklerdir. Proseslerin termodinamik kusurları ekserji analizi ile saptanmakta ve ölçülebilmektedir. Termodinamik verimsizlikler sistemin enerji ihtiyacını artırmakta, çevresel etkileri ve operasyon maliyetini artırmaktadır; bununla birlikte verimsizlikleri indirgemeye çalışmak hammadde, işletme maliyeti ve üretim sürecindeki enerji sarfiyatını artırabilmektedir. Yaşam döngüsü analizinin amacı incelenen elemanın özelliklerini iyileştirirken ortaya çıkan maliyet ve çevreye olan etkinin optimize edilmesidir.

Eksergoçevresel analiz temel olarak 3 aşamadan oluşur. İlk aşama enerji dönüşüm sisteminin ekserji analizidir. İkinci aşamada yaşam döngüsü analizi metodu ile çevresel etkiler belirlenir. Üçüncü aşamada çevresel etkiler proses'teki ekserji akışına uygulanır [3].

Ekserji analizi için ilk olarak sistem sınırları belirlenmelidir. Prosesi etkileyen tüm alt sistemler ayrı ayrı incelenir. Bir maddenin ekserji değeri, kinetik ve potansiyel ekserjiler işleme dâhil edilmeden, ona ait kimyasal ve fiziksel ekserji değerinin toplamı olarak hesaplanır [4].

Bütün sistemin yaşam döngüsü analizi girdilerin tedarikini, özellikle yakıt ve ekipman'ların operasyonu ve tahliyesini kapsmalıdır. Doğal kaynakların kullanımı, enerji tedarik zinciri ve emisyon değerleri uluslararası standartlarda yer almaktadır [5]. Yaşam döngüsü prosesleri için envanter sonuçları kütle ve enerji dengesi ifadeleri ile hesaplanır. Bu prosedürün doğruluk oranı sistem tanımına ve kabullere göre değişkenlik gösterir.

### **2.1 Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi (YDD)**

YDD; bir ürünün veya hizmetin geniş kapsamlı ve tarafsız değerlendirilmesini sağlayan ve çevresel performansın iyileştirilmesi için fırsatlar sunan bir çevre

yönetimi biçimidir. Yaşam döngüsü değerlendirmesinde ortaya çıkan işin veya hizmetin çevreye verdiği etkiyi yaşamları süresince ve ilgili tedarik bağlantılarının 'da çevreye verdiği etkiler hesap edilerek incelenmesini hedef gösteren ve çevreye verilen zararları daha az olan malzemeler kullanılmasını yada süreçlerin belirlenmesinde, çevresel çalışmaları iyileştirmede büyük rolü olan bir yöntemdir.

Etkilerin kantitatif olarak oranlanması ve karşılaştırılması geri plan süreçlerin etkilerini kapsayacak birikimli çevresel etkilerin tahminde bulunulması ve etkide mesul süreçlerin, mamullerin belirlenmesi Ydd 'yi kuvvetli bir çevre yönetimi olmasını sağlar. Ydd'nin kullanılmasının daha kolay olması için altyapısı gelişmiş ve bu yöntemin kalitesinden ödün vermemek için tüm dünyaca standartlar (ISO14040) belirlenmiştir.

Örneğin Avrupa Komisyonu tarafından oluşturulmuş ELCD ve ILCD veri tabanlarında enerji, taşıma ve malzemelere ait girdi ve çıktı verileri mevcuttur. Amerika'da NREL tarafından kamu ve özel sektör katılımı ile hazırlanmış ulusal veri tabanlarına erişim sağlanabilir.

AB Entegre Ürün Politikası, UNEP/SETAC, LCI Teşebbüsü Ydd 'nin daha fazla kullanılmasına öncü olmuştur. AB Entegre Ürün Politikası (IPP), yaşam döngüsü boyunca ürün etkilerini görmemize olanak sağlayan bir oluşumdur. Avrupa Birliği 17 yıl önce bu oluşumu tartışma konusu açmak için IPP hakkında bir "Yeşil Belge" kabulünde bulunmuştur.

YDD'ler birçok kullanıcı tarafından çeşitli amaçlar için kullanılmaktadır. Özellikle;

- Ürünlerin yaşam süreleri boyunca çevresel yönden geliştirilme fırsatlarının tanımlanmasında,
- İşletmelerde ve çeşitli kurumlarda (örn. stratejik planlama, öncelik belirleme, ürün ve süreç tasarımı),
- Çevresel performansla ilgili ölçme teknikleri de dahil gösterge seçiminde,
- Pazarlamada (örn. çevresel davalar, eko-etiket tasarımı veya çevresel ürün bildirimlerinde) yardımcıdır.

Büyük şirketler YDD'leri çevresel sorunları belirlemek ve çevresel yönetim stratejilerini geliştirmek amacıyla kullanmaktadırlar [6].

## 2.2 Eksergoçevresel Etkiyi Değerlendiren Çalışmalar

Babbitt ve Lindner, (2004) Amerika'nın Florida eyaletinde dört adet konvansiyonel güç santralinde kömürün madenden çıkarılmasından, taşınması, elektriğin üretimi ve yakma sonrası oluşan katı atığın oluşturacağı çevresel etkileri ile emisyon azaltımında ne aşamada ne tür iyileştirmelere gidilebileceğini araştırılmıştır. Araştırma sonucuna göre kömür üretimi ve kömür hazırlama aşamaları bölgedeki metan dışı uçucu bileşikler ile metan oluşumuna % 98 ve sudaki toplam çözünmüş katı madde oluşumuna % 76 oranında katkıda bulunmaktadır [7].

Spath vd. (1999) Amerika'da biri mevcut ve ikisi gelecekte kurulması düşünülen üç adet kömürlü santral için sınırları, her birinin alt sisteminde kömür madenciliği, taşıma ve elektrik üretimini kapsayan bir YDD yapmış, madencilik aşamasına ait envanter paylaşmış fakat yalnızca sera gazı etki kategorisi üzerinde çalışmıştır. Bu araştırmacılar hammaddenin yararlı son ürüne dönüşümünden bertarafı ve yan ürün oluşumuna kadar olan tüm aşamalar arasında madde ve enerji dengesi kurarak, kaynak kullanımı, emisyon ve enerji tüketimlerinin sayısallaştırmasını yapmıştır. Sonuçlara bakıldığında, toplam CO<sub>2</sub> emisyonu mevcut santral için 1022 g/kWh, yeni kurulması öngörülen ilk santral için 941 g/kWh ve ikinci santral için 741 g/kWh olarak bulunmuş, % 95'in üzerindeki CO<sub>2</sub> emisyonunun güç santralinde yanma sonucu oluştuğu görülmüştür. Her üç durumda da SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub> ve CO emisyonlarının güç santralinden kaynaklandığı, metanın ise kömür madenciliğinden kaynaklandığı görülmüştür. Yaşam döngüsü verimliliği, net enerji oranı ilk iki durum için birbirine çok yakinken, bu değerler üçüncü durum için çok daha yüksektir [8].

University of Regina tarafından gerçekleştirilen 882 MW kurulum kapasitesine sahip kömürle çalışan bir güç santraline ait yaşam döngüsü değerlendirmesinde madencilik aşamasına ait seragazı emisyonu 40 g CO<sub>2</sub>-eşd./kWh bulunmuştur [9].

Liang vd.(2012), Çin'de temiz kömür teknolojileri ile ilgili bir YDD çalışması yapmış, küresel ısınma potansiyeli yakma aşamasına kadar 80 g CO<sub>2</sub>-eşd./kWh olarak bulunmuştur [10].

U.S. Department of Energy tarafından gerçekleştirilen bir yaşam döngüsü değerlendirmesinde kömürle çalışan güç santrallerinde karbon tutma ve depolama teknolojisi uygulanan ve uygulanmayan sistemlerin çevresel etkileri

karşılaştırılmıştır. Bu etki kategorilerine ait sonuçlar karbon tutma ve depolama teknolojisi kullanan santrallerde kullanılmayan santrallere oranla daha yüksek seviyede bulunmuştur. Bu araştırmada toprak kirliliğiyle ilgili bir çalışma yapılmamıştır [11].



### 3. 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. 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 [12].

Dünyada ve ülkemizde elektrik enerjisinin büyük bir bölümü güç santrallerinden karşılanmaktadır. 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 enerjisini mekanik enerjiye ve daha sonra elektrik enerjisine dönüştürüldüğü sistemlerdir. 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.

Ham enerji kaynağından, yüksek basınç ve yüksek kızgınlık sayesinde buhar elde edilmesi ve bu buharla buhar türbinlerinin tahrik edilmesi suretiyle, jeneratörü çevirerek elektrik enerjisinin üretildiği sistemlerdir. Güç santralleri genel olarak, yakıtın yanması ile oluşan ısı enerjisini mekanik sonrasında da bu mekanik enerjiyi elektrik enerjisine çeviren sistemlerdir. Bu santrallerde ham enerji kaynağı olarak katı yakıtlar (linyit, taşkömürü, çöp, talaş vb.), sıvı yakıtlar (fuel-oil), gaz yakıtlar (doğal gaz, baca gazı), sentetik yakıtlar, nükleer enerji gibi yakıtlar kullanılmaktadır [13].

Dünyada ve ülkemizde elektrik enerjisinin büyük bir kısmı birincil enerji kaynaklarından (kömür, petrol, doğal gaz, vb.) yani 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 [14]

	2013 (bin tep)	2013 (%)	2014 (bin tep)	2014 (%)	2015 (bin tep)	2015 (%)
<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	

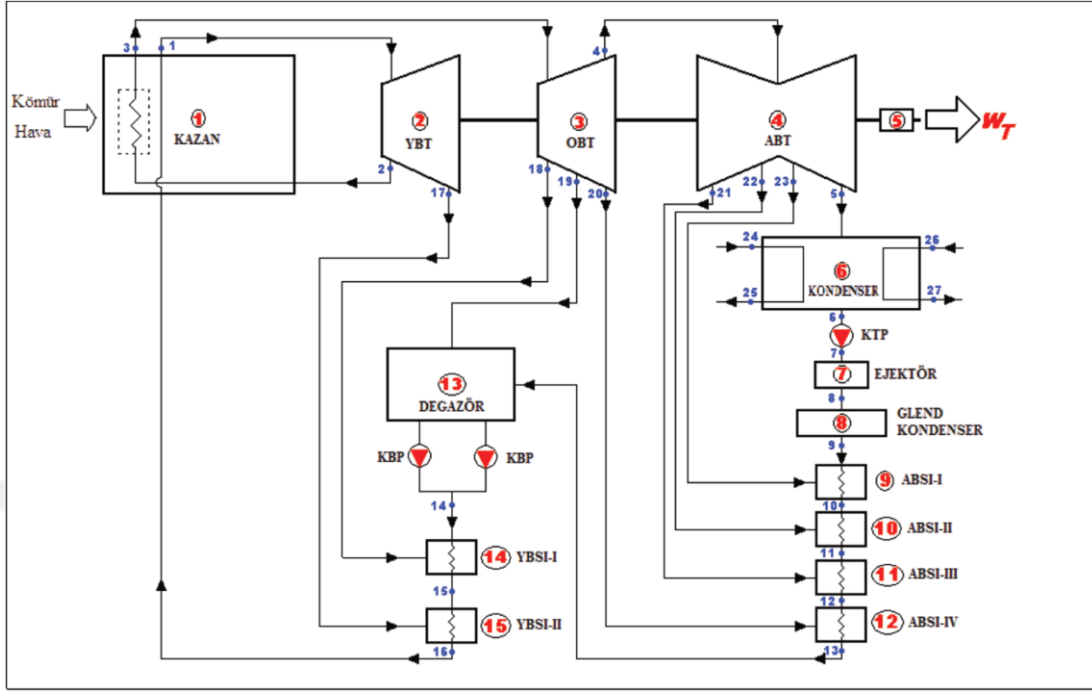
(1) Linyit kömürü, taş kömürü, asfaltit ve bunlardan türetilen gaz toplamını ifade eder.

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

### 3.1 Güç Santrallerinin Çalışma Prensibi

Güç santraller temel olarak buharlı güç çevrimine başka bir deyişle Rankine çevrimine göre çalışan santrallerdir. Şekil 3.1 de örnek bir 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 degazöre iletilir. Degazör, 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 Güç Santrali Akış Şeması [15]

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 mile bağlı birde jeneratör bulunmaktadır. Türbinden geçen buhar türbin kanatlarına çarparak mili döndürür. Böylece jeneratör elde edilen bu mil işini elektrik enerjisine çevirir ve dağıtım yapılmak üzere santral alanındaki şalt sahasına iletilir. Santrallarda kullanılan kömür genel olarak yakında bulunan maden sahasından konveyör bant sistemiyle getirilir. Kazandan çıkan yanma sonu



baca gazları ise filtrelerden geçirilerek doğal sirkülasyon veya soğutma suyu yardımıyla bacalarda arındırıldıktan ve soğutulduktan sonra doğaya bırakılırlar.

Güç santralleri temel olarak bu prensibe göre çalışmaktadırlar. Yukarıda örnek olarak verilen santral dört adet alçak basınç, iki adet yüksek basınç ısıtıcıları, yüksek, orta ve alçak basınç türbinlerinden oluşan türbin grubu, degazör (hava ayırıcı), 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 [16].

### **3.2 Buhar Türbini ile Çalışan Santrallerin Görevleri ve Bölümleri**

Kömürün yakılması sonucunda elde edilen enerji ile çalışan santraller, üretilen buhar ile türbinler vasıtasıyla alternatöre aktararak 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. Güç santrallerinin ilk adımında kömür stok sahası ve sırası ile güç santrallerin görevleri ve bölümleri aşağıdaki gibidir.

- 1. Stok sahası:** Santral binasında kömürün konveyörlere girmeden depolandığı alan.
- 2. Kömür konveyörleri:** Kazan'da yakılacak kömürün taşınmasını sağlayan hatlar.
- 3. Değirmen:** Bunker'den alınan kömürün öğütülerek toz haline getirildiği yer.
- 4. Süzgeç:** Değirmenden gelen kömürün süzüldüğü bölüm.
- 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 yakıtın yakıldığı bölüm.
- 8. Elektro filtre:** Baca içerisinde bulunan kül tanelerinin elektrostatik filtreler yardımı ile baca gazından ayrıştırıldığı birimdir.

**9. Baca:** Kazan içerisinde yanma sonucu oluşan gazların ve dumanın dışa aktarıldığı yerdir.

**10. Ekonomizer :** Baca gazı ile kazan besleme suyunun ısıtıldığı bölümdür.

**11. Flaş buhar tankı:** Ekonomizer ve kazan borularından gelen suyun depolandığı ve yarıya kadar su diğer yarısı 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:** Kazana su beslemesi yapan hat.

**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 prostestir.

**20. Besleme suyunun tankı:** Degazör'den çıkan suyun korozif maddelerden arınarak ısıtıcı eşanjörlerine verilen buradada 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. Soğuk su tesisatı**

**26. Sıcak su tesisatı**

**27. Soğutma kuleleri:** Kondenser de türbinden çıkan ölü buharı yoğunlaştıran soğuk su, ısı alışverişi ile ısınır ve kondenser'de 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.

### **3.3 Sistemin Tanıtılması (Bir Güç Santrali)**

#### **3.3.1 Bir güç santrali hakkında genel bilgiler**

Güç santrali 9.310.000 ton/yıl linyit kömürü tüketerek 6.721.000.000 kw/h elektrik enerjisi üreten her biri  $22 \times 2 = 44$  MW ve  $165 \times 6 = 990$  MW Toplam kurulu gücü 1034 MW olan bir güç santralidir [17].

Projenin maden bölümü TKİ Genel müdürlüğüne bağlı ELİ Bölge müdürlüğü tarafından karşılanmaktadır [17].

Güç santrali kullanım sahası  $1.752.000 \text{ m}^2$  tesisin işgal ettiği alan  $1.077.000 \text{ m}^2$  sosyal ve idari tesislerin alanı  $42.700 \text{ m}^2$  yeşil alan  $32.000 \text{ m}^2$  boş alan  $600.300 \text{ m}^2$  ve ayrıca ayıtlı kül barajı da  $1.700.000 \text{ m}^2$  alanı kaplamaktadır [17].

**Çizelge 3.2: Uygulaması Yapılan Güç Santralinin Genel Bilgileri**

<b>Kurulu Güç :</b>	6x165= 990 MWe
<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) 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

### **3.3.1.1 Güç santralının kömür ihtiyacının karşılanması**

ELİ Bölge müdürlüğü güç santralde yakılacak kömürleri, merkez bölge Kısırakdere, Işıklar, Eynez, Elmalı, Darkale ocakları ve deniz bölgesinden çıkartarak santrale 1600 t/saat kapasiteli bantlarla ve özel firmalara ait kamyonlarla kömür hazırlama tesislerine teslim şartıyla karşılamaktadır [17].

### **3.3.1.2 Güç santralının 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 [17].

### 3.3.1.3 Güç santralının 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 [17].

### 3.3.2 Güç santralının 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. Güç santralının stok sahası santralin 30 günlük kömür ihtiyacını karşılayacak büyüklüktedir. Değirmen ve elek işleminden sonra stok sahasına alınan 2800kcal/kg kömürleri 1,2,3 ve 4.gruplara ait bunker'lere 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 bunker'lere 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 bunker'lerine 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 bunker'leri yerleştirilmiştir. Kazanları besleyen 6 tane 37 ton/saat öğütme kapasitesine sahip değirmenler vardır. 5 ve 6. Grup'lar için kömür bunker'leri 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 bunker'leri 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 elektro statik kül tutucu filtreler ile %99 oranında tutulmaktadır. Baca yükseltileri 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 7.8. 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 curuflar 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 türbin'e verilerek türbin kanatlarını çevirir türbine eklenen alternatör'den elektrik üretilmiş olur. Alternatör çıkışı 15000 volt olarak Üretilen elektrik, ana transformatör de 380000 volta yükseltilecek şalt tesisleri vasıtası ile ulusal elektrik sistemine verilmektedir. Santral ulusal elektrik (Enterkonvekte) sistemine bağlamak üzerine inşa edilen şalt sahası 380.000 voltluk kısmı Aliğa(İzmir) ve Balıkesire, 154.000 voltluk kısmından Bergama-Balıkesir(Seka1-2) ve soma 7-8 ünitelere ,gönderilir. ve gelecekteki ihtiyaçlarını karşılamak üzere yedek çıkışları ihtiva etmektedir. Bunun haricinde gruplar 6300 voltluk dağıtım merkezi ile irtibatlıdır ve ürettiğinin %10'nu iç ihtiyaçta kullanır.

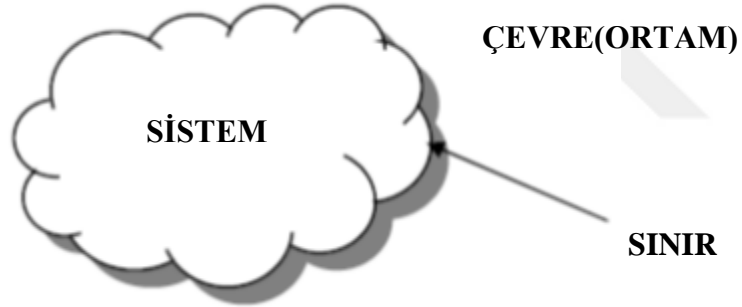
Türbinde işini bitiren buharın sıcaklığı ve basıncı 33 kğ/cm<sup>2</sup> basınca , 380 °C Sıcaklığa düşer. Bu buhar tekrar kazana gönderilir kazanda istenilen 30 kğ/cm<sup>2</sup> basınca ve 535 °C sıcaklığa ulaşan buhar tekrar türbin gönderilir. İş görmüş buhar kondensere dökülür.

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 [17].



#### 4. TERMODİNAMİK BAĞINTILAR

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 [18].



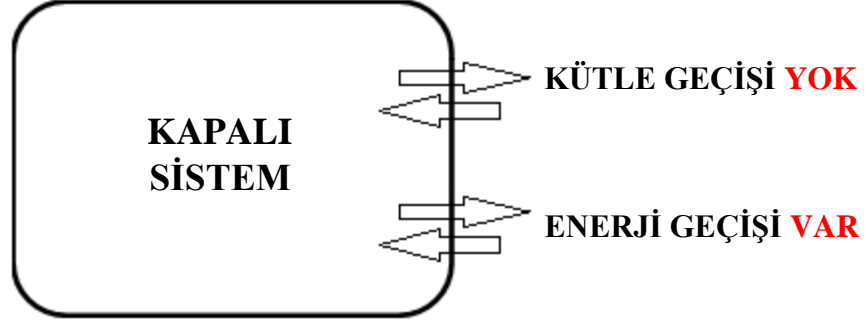
Şekil 4.1: Sistem, Sınır ve Çevre [19]

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 [18].

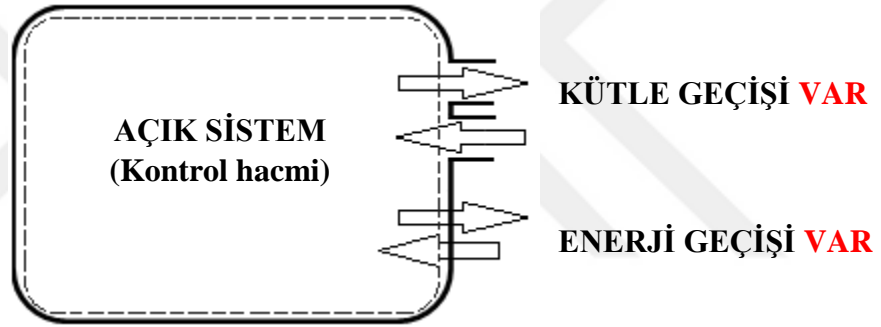
Kontrol hacmi diğer adıyla açık sistem, sınırlardan proses kütle girişi olan bir prosestir ve açık sistem lüle, türbin, kompresör gibi içerisinde kütle akışı gerçekleşen bir makineyi ele alarak inceler. Makinelerin içerisindeki akışın termodinamik açıdan analizinde ise makinenin fiziksel hudutları sistemin hudutları olarak kabul edilir.



Enerji ve kütle, kontrol yüzeyi adı verilen açık sistem sınırlarını geçebilir. Şekil 4.3’ de açık bir proses’de, kütle girişi ve çıkışı olmakla beraber proses ile çevre arasında enerji geçişi’de gerçekleşmektedir [18].



Şekil 4.2: Kapalı Sistem Şematik Görünümü



Şekil 4.3: Açık Sistem Şematik Görünümü

#### 4.1 Termodinamiğin I. Yasası

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 [18].

## 4.2 Termodinamiğin II. Yasası

Termodinamiğin ikinci yasası, 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 datalar veren yasadır 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 [20].

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 ilgilidir. 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 yerden yüksek sıcaklıktaki bir yere ısı geçişinin olması gibi. Ancak böyle bir geçiş imkansızdır ve böylece sadece termodinamiğin birinci yasası kullanılarak enerji dönüşümlerini ve geçişlerini açıklamamızın yetersiz olduğu anlaşılmaktadır. Termodinamiğin ikinci yasası enerji formlarının kaliteleri arasındaki farklılıkları belirlememizi ve bazı hal değişimleri kendiliğinden gerçekleşirken bazılarının neden gerçekleşmediğini açıklamamızı sağlar [16].

## 4.3 İç Enerji

İç enerji moleküler yapıya ve moleküllerin hareketlilik düzeyine bağlı olup, moleküllerin kinetik ve potansiyel enerjilerinin toplamı olarak düşünülebilir. İç enerji sistemlerin mikroskopik enerjileri olan duyulur enerji, gizli enerji, kimyasal enerji, nükleer enerji gibi enerjilerinin tümünün toplamıdır [18].

İç enerji, sistemin mikroskopik olarak tanımlanan moleküler yapısı ve moleküler hareketliliği ile ilgilidir ve dış referans noktalarından bağımsızdır. İç enerji aynı zamanda sistemin molekülleri arasındaki kuvvetlerle ilişkilidir.

#### **4.4 Entropi**

Bir termodinamik sistem ele alalım. Bu sistemde mekanik işe çevrilmeyecek termal enerjiyi temsil eden termodinamik terimine entropi denir. Bir sistemdeki düzensizliktir. Gündelik hayatta sadece termodinamikte değil, birçok alanda kullanılır. ‘‘S’’ ile gösterilir.

Fiziksel olarak entropiyi daha iyi anlamak gerekirse şu örnekler verilebilir: Canlılar belli bir andan sonra ölürler, bilgisayarlar eskirler ve evrendeki düzensizlik sürekli olarak artma eğilimindedir. Bilim adamları düzensizliği entropi adı verilen nicelik ile ölçerler. Sistemlerdeki düzensizlik arttıkça, entropi de ona paralel olarak artar. Bununla birlikte faydalı enerji miktarı sürekli azalır. Faydasız enerji (entropi) ise artmaktadır.

#### **4.5 Entalpi**

Bir termodinamik sistemde, toplam enerjisinin ölçüsü entalpi olarak adlandırılır. Termodinamik bir sistem oluşturmak için iç enerji gereklidir. Bu enerji, bir sistem kurmak için itme veya tetik görevini görür.

Basitçe ifade etmek gerekirse, bir sistemin entalpisi, yapılan mekanik olmayan işin ve sağlanan ısının toplamına eşdeğerdir. Sürekli basınç altında, entalpi, sistemin iç enerjisinin yanı sıra sistemin çevresine sergilediği çalışmanın değişimine eşdeğerdir. Başka bir deyişle, ısı bu koşullar altında belli bir kimyasal tepkime ile emilebilir veya bırakılabilir.

#### **4.6 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 [22].

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].

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 [24].
- (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].

#### **4.7 Eksergoçevresel**

Bir sistemdeki verimsizlikleri azaltmak, kimi zaman sistemin sürdürülebilirliğini ve çevreye olan etkilerini artırabilmektedir. Bu nedenle ekserji analizi çevresel etki analizi ile birleştirilerek eksergoçevresel analiz adını almıştır. Ulaşılmak istenen hedef verimli-çevresel sistem tasarımları oluşturulmasıdır. Sistemdeki tüm kütle ve enerji akımları ile ilgili enerji ve ekserji analizleri hesaplanarak her elemanda meydana gelen termodinamik verimsizlikler (ekserjinin yıkımı/kayıp) belirlenir. Sistemdeki her elemanın çevresel etkileri belirlenir, sistemin çevreye olan etkisini azaltmada kullanılacak faydalı bilgilerin ve elemanın kritik noktalarındaki yapısal ve parametrik değerlerdeki değişimlerin ortaya çıkarılmasını sağlar [39].

Ekserji analizi bir ısı sistemdeki termodinamik verimsizliklerin yer, büyüklük ve kaynaklarını belirler. Başka bir çalışma yöntemiyle sağlanamayan bu bilgi genel verimi ve maliyet verimini arttırmada oldukça faydalıdır. Eksergoçevresel analiz, sistemin tüm elemanlarına ait ekserji analizi sonucunda elde edilen giriş ve çıkışlardaki ekserjilerin çevresel etkilerinin belirlenmesini sağlamaktadır [39].

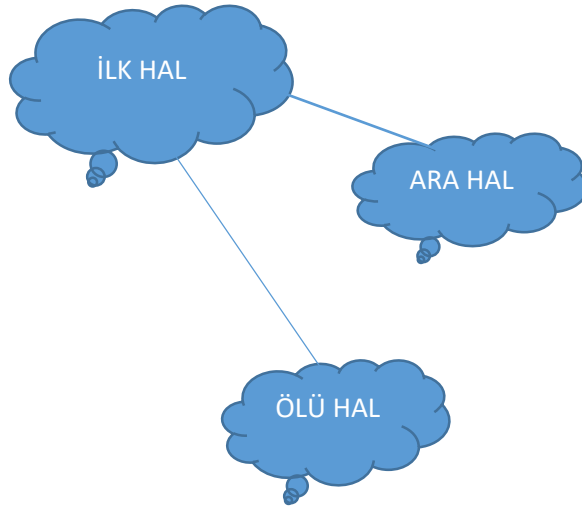


## 5. EKSERJİ ÇÖZÜMLEME YÖNTEMİ

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

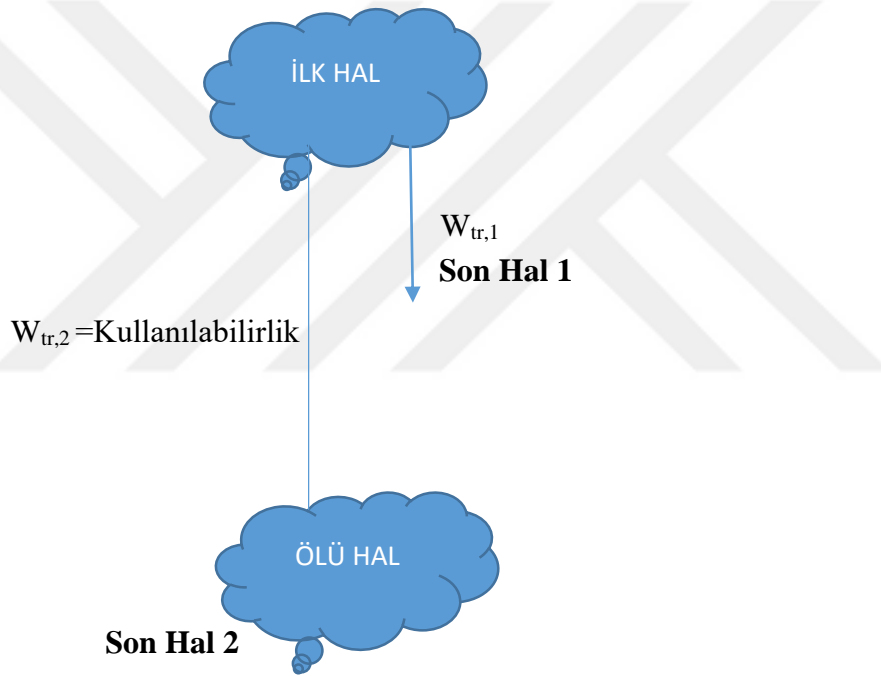
Sistemin belirlenen bir haldeki kullanılabilirliği, çevre koşullarına, sistem özelliklerine, yani başka deyişle ölü hal durumuna bağlıdır. Bu nedenle kullanılabilirlik yalnız sistemin değil çevresinin bir özelliğidir [18].

## 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  $W_{\text{tr}}$  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  $W_{\text{tr}}$  arasındaki farkı, hal değişimleri esnasındaki tersinmezlikler meydana getirir. Bu fark  $I$  olarak denklemde ifade edilir:

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

veya,

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

Hal değişimi sırasındaki birim zamanda oluşan tersinmezlik,  $I$  olarak ifade edilir:

$$i = W_{tr} - W_y \quad (\text{kJ/kg}) \quad (5.4)$$

Tümden tersinir bir hal değişiminde tersinir iş ve gerçek tanımları aynıdır, yani tersinmezlik sıfırdır. Bu nedenle tüm den 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 dönüştürülemeyecek enerji olarak tanımlanır [18].

Tersinmezlik meydana getiren etkenler aşağıdaki durumlardır;

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

doğal enerji dönüşme koşulları tersinmezdir. Gerçek enerji dönüşümlerinde toplam entropinin sürekli arttığı görülmektedir [21].

### 5.3 Ekserji

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 [29].



**Çizelge 5.1:** Enerji ve Ekserji Arasındaki Başlıca Farklar [29]

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 sıfıra eşittir.
Bütün işlemler için Termodinamiğin Birinci Yasasını dikkate alır.	Sadece tersinir işlemler için Termodinamiğin Birinci 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  $E^{CH}$

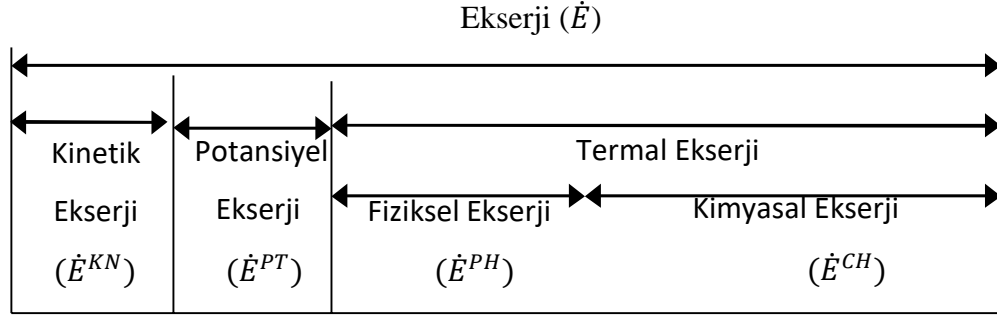
Fiziksel ekserji  $E^{PH}$

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

Özgül ekserjisi aşağıda denklemde tanımlanmaktadır.[4]

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

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.



**Şekil 5.3:** Ekserji Bileşenleri

Çevreye göre göreceli ve durağan bir sisteme bakıldığında fiziksel ve kimyasal ekserjilerin  $e^{KN} = 0$ ,  $e^{PT} = 0$  olarak kabul alınabilir [4].

#### 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 [38].

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 [38].

Kısaca fiziksel ekserjisi;

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

Olarak ifade edilebilir.

Toplam fiziksel ekserji akısı ise;

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

## 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 [4].

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

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  $E_{ky}$ ;

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

veya

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

ile ifade edilir. Bu denklemlerde kaybolan ekserji akısı  $E_K$  incelenen ekipmandan farklı bir prosesten 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 ( $y_k$ ), incelenen birimin kayıp enerjisinde ne kadarının sebep olduğunu göstermektedir.

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

## 5.6 Eksergoçevresel Analiz

Enerji kaynaklarının etkin kullanımı ve kârlılığın yanında, geliştirme işlemlerinin sürdürülebilirliği için bir sistemin çevresel etkilerinin de öngörülmesi ve potansiyel çevresel problemlerin proje planlama aşamasında belirlenmesi gereklidir. Firmalar çevresel etkileri azaltmak için ısı verimliliği artırıcı, yakıt tüketimini ve dolayısıyla emisyon azaltıcı teknolojileri geliştirmek için çalışmaktadırlar.

Bu çalışmalar yeni teknoloji tasarımlarına yön vermektedir. Sistemlerin her bir bileşeni tek tek incelenerek çevreye zarar verip vermediği, maliyeti, üretim ve operasyon sırasında harcanan enerji, iyileştirme yöntemleri ve bu yöntemlerin getirdiği ek maliyetler araştırılmaktadır. Araştırmaların sağlıklı yapılabilmesi için metodolojik yöntemler oluşturulmuştur. Bu yöntemler sistemin eksergoekonomik ve çevresel olarak incelenmesinde yardımcı olup hangi sistem bileşeninin daha fazla ekonomik ve çevresel optimizasyona ihtiyacı olduğunu belirlemektedir [30].

### 5.6.1 Metodoloji

Bir enerji dönüşüm sisteminin performansını artırmada en önemli kriter termodinamik verimliliklerdir. Proseslerin termodinamik kusurları ekserji analizi ile saptanmakta ve ölçülebilmektedir. Termodinamik verimsizlikler sistemin enerji ihtiyacını artırmakta, çevresel etkileri ve operasyon maliyetini artırmaktadır; bununla birlikte verimsizlikleri azaltmaya çalışmak hammadde, üretim maliyeti ve üretim sürecindeki enerji sarfiyatını artırabilmektedir. Yaşam döngüsü analizinin amacı incelenen elemanın özelliklerini iyileştirirken ortaya çıkan maliyet ve çevreye olan etkinin optimize edilmesidir.

Eksergoçevresel analiz temel olarak 3 aşamadan oluşur. İlk aşama enerji dönüşüm sisteminin ekserji analizidir. İkinci aşamada yaşam döngüsü analizi metodu ile çevresel etkiler belirlenir. Üçüncü aşamada çevresel etkiler prosesdeki ekserji akımına uygulanır [3].

Ekserji analizi için ilk olarak sistem sınırları belirlenmelidir. Prosesi etkileyen tüm alt sistemler ayrı ayrı incelenmelidir. Bir maddenin ekserji değeri, kinetik ve potansiyel ekserjiler işleme dahil edilmeden, ona ait kimyasal ve fiziksel ekserji değerinin toplamı olarak hesaplanır [4].

Bütün sistemin yaşam döngüsü analizi girdilerin tedarikini, özellikle yakıt, ve ekipmanların operasyonu ve tahliyesini kapsamalıdır. Doğal kaynakların kullanımı, enerji tedarik zinciri ve emisyon değerleri uluslararası standartlarda yer almaktadır [5]. Yaşam döngüsü prosesleri için envanter sonuçları kütle ve enerji dengesi ifadeleri ile hesaplanır. Bu prosedürün doğruluk oranı sistem tanımına ve kabullere göre değişkenlik gösterir.

#### **5.6.1.1 Yaşam döngüsü değerlendirmesi**

Yaşam döngüsü değerlendirmesi tüm yaşam süresince bir ürününün sisteme giren, sistemden çıkan ve potansiyel çevresel etkileri'nin toplanarak değerlendirilmesidir. Değerlendirme, enerjinde dahil olması ile ham maddenin üretilmesi, kullanılması ve parçalanması esnasında havaya, suya ve toprağa olan emisyonlar olarak alınabilir.

1990'lardan itibaren sürdürülebilirlik hareketiyle birlikte daha popüler ve yaygın hale gelmiştir. YDD uygulama amaçları aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Ürün/materyal karşılaştırmaları
- Geniş kapsamlı çevre etki değerlendirmesi yapmak
- Mevcut durum tespiti
- Üretim aşamalarının veya malzemelerinin toplam etkideki paylarının belirlenmesi
- Veri eksikliklerinin saptanması
- Yeni ürün ve süreç geliştirilmesinde yol gösterici olmak
- Karar destek sağlamak

YDD çalışma prensibi bir karar verme mekanizması değildir. Verilmeyi düşünülen kararların alınmasına yardımcı olmak için kullanılır. YDD temelde çevresel etkileme şartlarını geliştirmede, ürünlerin üretim süreçlerini, ham maddelerini, ekipmanlarını vb. değiştirilmesi yada yeniden tasarlanması ile çevresel etkilerin önlenmesi veya azaltılması amacını güder. Ayrıca, bir ürünün yaşam döngüsünde hangi aşamada daha ayrıntılı bir denetim mekanizması uygulanması gerekli olduğunu bulmak için de kullanılabilir [32].

Yaşam döngüsü değerlendirmeyi diğer yöntemlerden ayıran özgün yönleri aşağıdaki şekilde sıralanmıştır:

- Çok boyutlu çevre sorunlarının incelenmesi için gereken sistem analizi yaklaşımını mümkün kılması,
- Bir ürün veya hizmetin çevreye etkilerinin objektif olarak ve daha geniş bir çerçeveden bakılarak hesaplanabilmesi
- Çevreye ve halk sağlığına etkilerin nicel olarak ortaya konması
- Bütün materyal akışlarının birbirine bağlanmış olması ve dolayısıyla yalnızca belirli aşamaların değil tüm aşamaların, tüm maddelerin ve tüm emisyonların hesaba katılması ve böylece toplam etkinin belirlenmesini mümkün kılması
- Çevresel etkide payı büyük madde veya üretim aşamalarının saptanmasını sağlaması ve böylece bu maddelerin ve üretim aşamalarının değiştirilmesi ve ürünün çevresel performansının iyileştirilmesini sağlaması
- Sonuçların ortak bir birimle ifade edilerek alternatif ürünlerin veya hizmetlerin karşılaştırılmasının sağlanması

YDD çalışmaları ISO 14040 ve 14044 standartlarına göre yürütülür. YDD'ler üç adımdan oluşur:

1. Amaç ve Kapsam
2. Envanter Analizi
3. Etki Değerlendirmesi

#### **5.6.1.2 YDD'nin amaç ve kapsam tanımı**

Bir YDD çalışmasında öncelikle amaç ve kapsam tanımı yapılmalıdır. Amaç tanımında genellikle çalışmanın yapılma nedeni, ulaşılmak istenen hedefler, YDD raporunun sunulacağı hedef kitle ve karşılaştırma yapılıp yapılmayacağı bilgisi verilir.

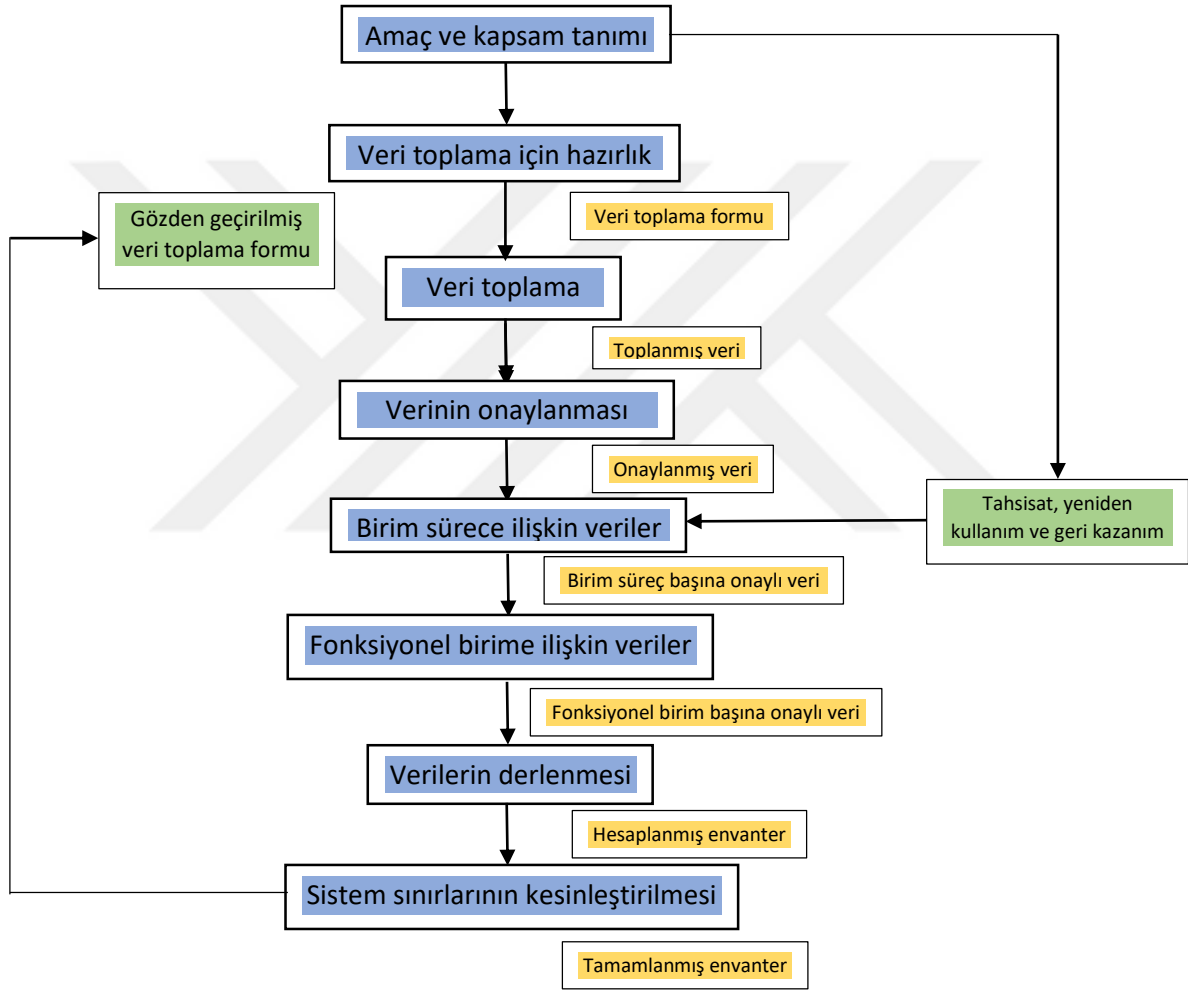
YDD çalışmaları, pazarlama, ürün oluşturma, ürün geliştirme, stratejik planlama gibi çok değişik uygulamalarda kullanılabilir. YDD raporunun hedef kitlesi; müşteri hedeflerine bağlı olarak hissedarlar, yöneticiler, mühendisler ve tüketiciler olabilir.

Kapsam tanımında; değerlendirilecek ürün veya süreç sisteminin sınırları (girdi ve çıktılarıyla birlikte üretim, dağıtım, taşıma, atık bertaraf senaryoları gibi işlem birimleri) tanımlanır ve tüm varsayımlar detaylandırılır. Sistem ve sınırları, veri

gereksinimleri ve çalışmada yer alan tahminler belirtilmelidir. Kapsam, çalışmanın hedefini desteklemelidir.

### 5.6.1.3 Yaşam döngüsü envanteri (YDE)

Yaşam Döngüsü Envanteri (YDE) ürünün yaşamı boyunca girdi (enerji, malzeme) ve çıktılarının (emisyon, ürün, yan ürün, atık su) derlenmesi ve sayısallaştırılmasıdır.



Şekil 5.4: YDE Aşamaları (TS 14044,2007)

Şekil 5.4 'de ISO 14040'a göre YDE'nin oluşturulma aşamaları görülmektedir. Tüm veriler toplandıktan sonra bütün ürün sisteminin YDE tablosu oluşturulur [35].

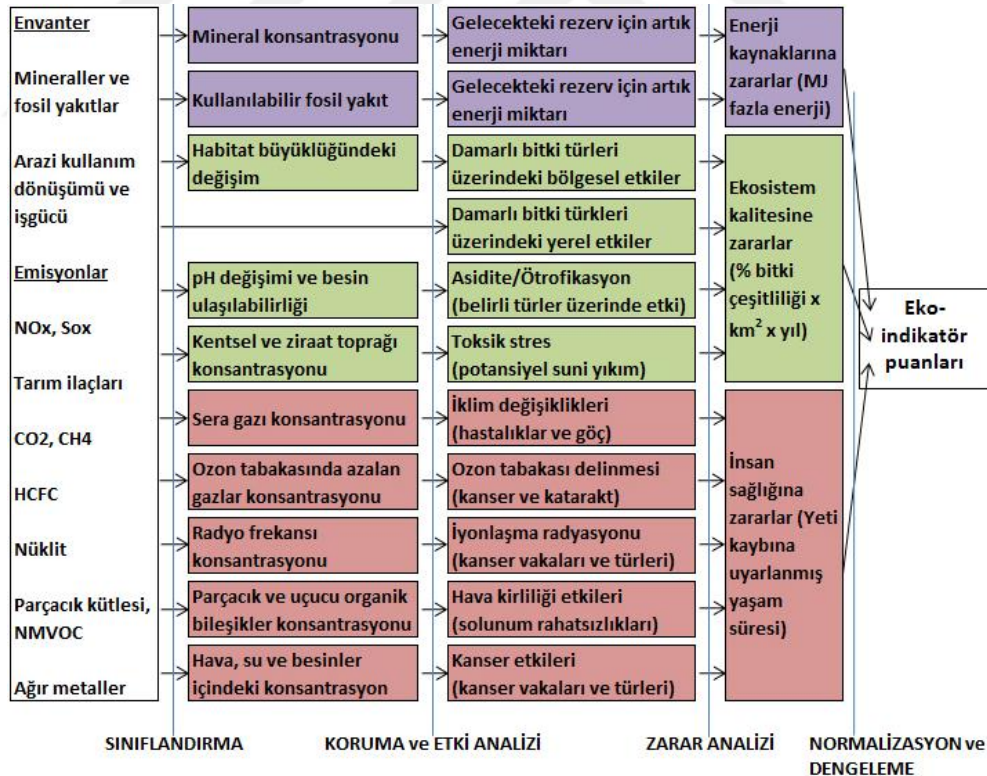
Genellikle bütün malzeme ve enerji girdi ve çıktılarının tablo halinde listelenmesi olarak tanımlanır. Enerji, malzeme girdileri ile ürün, yan ürün, atık, havaya, suya ve

toprağa olan emisyon çıktıları toplandıktan sonra kullanılacak YDD programına işlenir [35].

#### 5.6.1.4 Yaşam döngüsü etki değerlendirmesi (YDED)

Yaşam Döngüsü Etki Değerlendirmesi (YDED); sistemin potansiyel çevresel etkilerinin miktarının ve öneminin tanımlanması ve değerlendirilmesidir [35].

Yaşam döngüsü envanteri sonuçları kullanılarak, toplam etki analizi metodu ile çeşitli kategorilerde çevresel etkilerin hesaplanmasıdır. Bir etki kategorisi yaşam döngüsü envanteri ile onun doğada yok olma aşaması arasındaki yolu belirlemektedir. Bu yol, çevresel bir model üzerine indikatörlerin belirlenmesi ile sebep-sonuç zincirini kapsar. Eksergoçevresel analizin metodolojik gelişimi için tek skorlu yaşam döngüsel analiz metodu, Eko-indikatör 99 seçilmiştir. Eko-indikatör 99, tek skorlu sistemi ile ekonomik analiz yapılmasına da imkan sağlar ve çevresel etkiyi azaltmak için tasarımlarda karar vermeye yardımcı olur. Şekil 5.5’de ele alınan çevresel etkiler ve yapısal ağı gösterilmektedir [31].



Şekil 5.5: Eko-İndikatör 99 Analizlerinin Metodolojisi

Sistemin her elemanının kaynak analizi, toprak kullanım analizi ya da akıbet analizi muhtemel problemin çıkacağı bölümlere (su, toprak, hava) göre atanmıştır. Bu



doğrultuda çevresel problemlerin sınıflandırılması yapılmaktadır. Etki kategorileri üç hasar kategorisini kapsamaktadır [31].

- İnsan sağlığı
- Ekosistem kalitesi
- Doğal kaynaklar

Son aşamada bu üç hasar kategorisi standartize edilir ve Eko-indikatör puanları atanır. Yüksek hasar oranı, yüksek bir puanla gösterilmektedir. Bu değerler paket programları ile veri tabanından çekilerek hesaplanabilmektedir. Bazı örnek Eko-indikatör 99 değerleri Çizelge 5.2’de gösterilmiştir [40].

**Çizelge 5.2:** Bazı Emisyon, Kaynak veya Ürünlerin Eko-İndikatör 99 Puanları

Emisyon, kaynak veya ürün	Eko-indikatör 99 (Pts)
Havaya salınan 1 kg CO <sub>2</sub>	0,00545
Havaya salınan 1 kg Hg	64,6000
1 kg Demir madeni (%25)	0,00121
Avrupa şebekesinde, orta gerilim 1kWh elektrik (UCTE 2000)	0,02118

#### 5.6.1.5 YDD’de kullanılan yazılım programları

YDD gerçekleştirmek amacıyla yaygın olarak kullanılan yazılımlara Simapro, Team, Quantis Suite, GABI örnek olarak verilebilir. Söz konusu bu yazılımlar seçilen çevresel etki değerlendirme yöntemine göre yaşam döngüsü süreçleri için çevresel etkilerin belirlenmesini sağlarken aralarındaki temel farklar kullanıcı ara yüzleri, etki kategorileri sınıflandırması ve veri tabanlarının içerikleridir.

YDD’de Simapro, Team, Quantis Suite, GABI gibi yazılımlar kullanılmaktadır. Bu yazılımlar seçilen çevresel etki değerlendirme yöntemine göre yaşam döngüsü süreçleri için çevresel etkilerin belirlenmesini sağlarken yazılımlar arasındaki en temel fark kullanıcı ara yüzleri, etki kategorileri ve veri tabanlarının içerikleridir [6].

Programlar şu girdileri kullanır:

- Standart basınç ve sıcaklık
- Yakıt bileşimi ve masraflar
- Hava bileşimi ve rölatif nem
- Buhar türbin’inin brüt şaft gücü

- Pompalarla şaft çalışma oranı tüketimi
- Herbir bileşenin giriş ve çıkışındaki akış buharı için debi, basınç ve sıcaklık
- Kapital maliyetin ilk yatırımı, faiz oranı, hurda değeri

### 5.6.2 Çevresel etkilerin ekserji akımına uygulanması

Yaşam döngüsü analizi sonuçları ekserji akımları ile eşleştirilir. Her bir akış (j) için birim ekserji başına çevresel etki oranı ( $b_j$ ) çevresel etki miktarı ( $\dot{B}_j$ ) ve ekserji miktarına ( $\dot{E}_{x_j}$ ) bağlıdır [31].

$$b_j = \frac{\dot{B}_j}{\dot{E}_{x_j}} \quad (5.15)$$

Bir giriş akışı ile ilgili çevresel etkiler direkt olarak hesaplanabilir. Giriş ve çıkış akışları değerlerini hesaplayabilmek için her bir sistem parçası (k) arasındaki işlevsel bağıntılar dikkate alınmalıdır. Temel mantık, bir parçaya giren çevresel etkinin parçayı akıştaki termodinamik bağıntı ile değiştirerek terk etmesi zorunluluğudur. Sonuç olarak sistemde sadece bir ekserji akışı olmaz, bununla birlikte çevresel etki akışı da meydana gelir. Ekserji akışı ile gelen çevresel etkinin yanında parça (k) bazında çevresel etki de ( $\dot{Y}_k$ ) göz önünde bulundurulursa aşağıdaki bağıntılar elde edilir [31].

$$\dot{Y}_k = \dot{Y}_k^{\text{üretim}} + \dot{Y}_k^{\text{işletme}} + \dot{Y}_k^{\text{atık}} \quad (5.16)$$

$$\sum \dot{B}_{j,k,g} + \dot{Y}_k = \sum \dot{B}_{j,k,\phi} \quad (5.17)$$

Ekserji analizi ile her parçanın ekserji yıkımı hesaplanabilmektedir. Her parça için ekserjetik yakıtların ortalama birim çevresel etki değeri kullanılarak, ekserji yıkımına bağlı olan çevresel etki değeri şu şekilde elde edilir [31].

$$\dot{B}_{\text{yıkım},k} = b_{\text{yakıt},k} \dot{E}_{x_{\text{yıkım},k}} \quad (5.18)$$

Parça bazlı çevresel etkilerin toplam çevresel etkilere oranı, eksergo çevresel faktör ile kıyaslanabilir [34].

$$f_{B,k} = \frac{\dot{Y}_k}{\dot{Y}_k + \dot{B}_{\text{yıkım},k}} \quad (5.19)$$

- Eğer ( $f_{B,k}$ ) y¼ksek ise, diğer proses birimlerine kıyasla daha az çevresel etki var demektir,
- Eğer ( $f_{B,k}$ ) d¼ş¼k ise, proses birimlerinin verimliliğini ne ¼l¼de etkilediği g¼z ¼n¼ne alınarak çevresel etkiyi azaltmak için çalışmalar yapılması gerekir.



## 6. GELENEKSEL YÖNTEM İLE SİSTEM ANALİZİ

### 6.1 Güç Santrallerinde Ekserji Analiz Uygulaması

Türkiye’de TKİ tesisleri ile birlikte çalışan bir güç santralin analizleri yapılacaktır, santralde düşük nitelikteki linyit kömürü depolarının değerlendirilmesi amacıyla kurulmuş bir tesistir.

Bu çalışmada güç santralin bir ünitesi göz önüne alınıp, ünite içerisinde 27 düğüm noktası belirlenmiştir. Bu belirlenen düğüm noktalarının santralden alınan işlem şemasına göre her bir düğüm noktası için sıcaklık, basınç ve debi değerleri bulunmuştur. Santralin bu ünitesine ait akış şeması şekil 6.1’de verilmiştir.

Güç santralin analizleri yapılacak bu ünitesinde 165 MW güce sahip türbin grubu, kondenser, buhar kazanı, ara ısıtıcı grupları ve yardımcı gruplardan ejektör, glend kondenserden oluşmaktadır. Üniteye türbin grubu alçak basınç, orta basınç ve yüksek basınç türbini olarak üç kademededen oluşmaktadır. Üniteye ısıtıcı grupları 2 adet yüksek basınç, 4 adet alçak basınç besleme suyu ısıtıcısı ve degazör ünitelerinde oluşmaktadır.

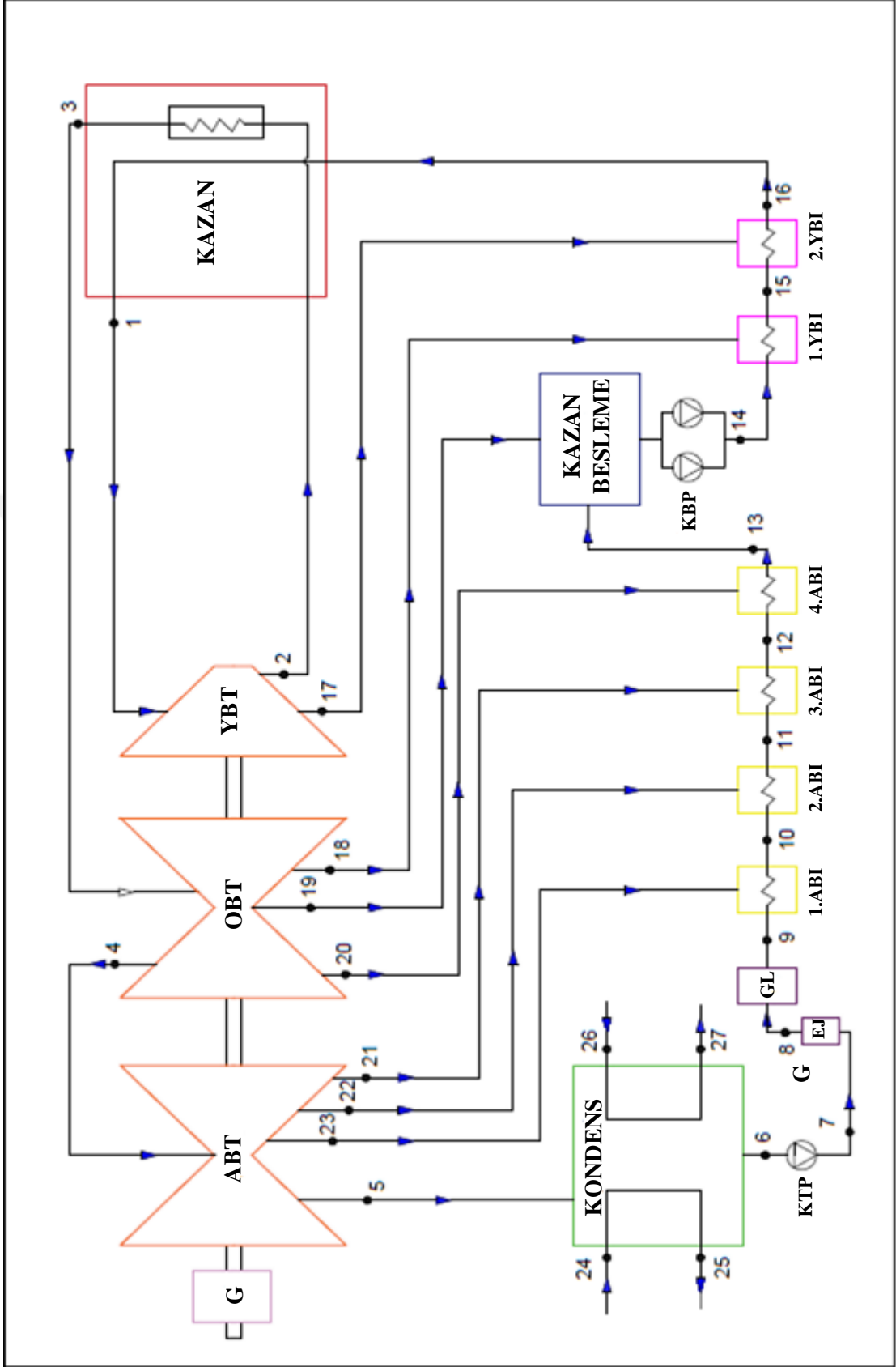
Bacadan dışarı atılan gazların üzerinde bulunan ısının geri dönüşümü için ve yanmanın kullanılabilirliğinin artırılması amacı ile yakma havasının bir eşanjör (LUVO) ile ön ısıtma yapıldığı ünite mevcuttur. İşletmenin termodinamik hesaplamalarında alçak ve yüksek basınç ısıtıcıları ve türbinler ayrı olarak 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 pulvarize kömür kazanda ön ısıtma yapılmış taze hava ile birlikte karıştırılıp yakılmaktadır. Yakıtın reaksiyona girmesi ile ortaya çıkan kimyasal enerji, ısıtıcı yüzeyler vasıtası ile proses’de kullanılan suya verilip 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.

Verimi artırmak için kullanılan başka bir yöntem ise, Türbin grubundan çekilen borular vasıtası ile buhar alınıp besleme suyuna verilir ve besleme suyu ısıtılır. Bu şekilde kazan işletme suyunun kazana daha yüksek sıcaklıklarda girmesi sağlanır. Buda kazana giren suyun sıcaklığı artmış olduğu için daha hızlı faz değişimi sağlanmış olur.





Şekil 6.1: Termik Santral Akış Diyagramı

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

Düğüm No	Faz Durumu	Sıcaklık (T) (°C)	Basınç (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
WT	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*
Kondenser tahliye	800	76,3	76,3	10	1100	34,5	34,5	144,5	145,5
Kazan besleme suyu	3514	99,8	99,8	700	18800	163	163	688,7	699,3

\*Çevrimdeki su sıkıştırılmaz sıvı kabul edilmiştir.

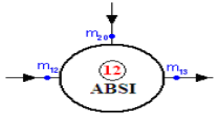
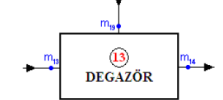
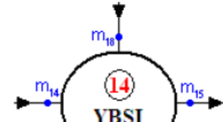
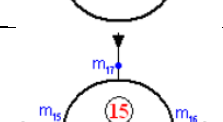
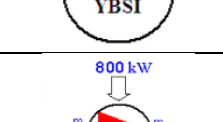
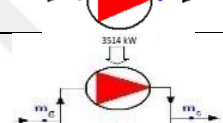
### 6.1.1 Geleneksel enerji ve ekserji analizi

Termik santralde bulunan ekipmanların enerji, ekserji denge denklemleri ve şekilleri Çizelge 6.3 te görülmek'tedir. Yapılan tüm analizler bu denklem eşitliklerine göre yapılmıştır.

Çizelge 6.3: Enerji ve Ekserji Dengeleri

Enerji ve Ekserji Dengeleri			
Komponent	Komponent şekli	Enerji Dengesi	Ekserji Dengesi
Kazan		$\dot{O}_1 = \dot{m}_1 h_1 - \dot{m}_{16} h_{16} + \dot{m}_3 h_3 - \dot{m}_2 h_2 - E_{yakıt} + E_{bg} - E_{hava}$	$\dot{E}_{X_A} + \dot{E}_{X_B} + \dot{E}_{X_2} + \dot{E}_{X_{16}} = \dot{E}_{X_C} + \dot{E}_{X_1} + \dot{E}_{X_3} + \dot{E}_{X_{ky}}$
Türbin grubu		$\dot{O}_{Türbin} - \dot{W}_T = \dot{O}_2 + \dot{O}_3 + \dot{O}_4 - (\dot{W}_2 + \dot{W}_3 + \dot{W}_4) + \dot{W}_T$	$\dot{E}_{X_1} + \dot{E}_{X_3} + \dot{E}_{X_4} = \dot{E}_{X_4} + \dot{E}_{X_{17}} + \dot{E}_{X_{18}} + \dot{E}_{X_{19}} + \dot{E}_{X_{20}} + \dot{E}_{X_{21}} + \dot{E}_{X_{22}} + \dot{E}_{X_{23}} + \dot{E}_{X_4} + \dot{E}_{X_5} + \dot{E}_{w,türbin} + \dot{E}_{X_{ky}}$
Kondenser		$\dot{O}_6 = \dot{m}_6 h_6 + \dot{m}_{25} h_{25} + \dot{m}_{27} h_{27} - \dot{m}_5 h_5 - \dot{m}_{24} h_{24} - \dot{m}_{26} h_{26}$	$\dot{E}_{X_5} + \dot{E}_{X_{24}} + \dot{E}_{X_{26}} = \dot{E}_{X_6} + \dot{E}_{X_{25}} + \dot{E}_{X_{27}} + \dot{E}_{X_{ky}}$
Enjektör		$\dot{O}_7 = \dot{m}_8 h_8 - \dot{m}_7 h_7$	$\dot{E}_{X_7} = \dot{E}_{X_8} + \dot{E}_{X_{ky}}$
Glend Kondenser		$\dot{O}_8 = \dot{m}_9 h_9 - \dot{m}_8 h_8$	$\dot{E}_{X_8} = \dot{E}_{X_9} + \dot{E}_{X_{ky}}$
Alçak basınç besleme suyu ısıtıcısı-I		$\dot{O}_9 = \dot{m}_{10} h_{10} - \dot{m}_9 h_9 - \dot{m}_{23} h_{23}$	$\dot{E}_{X_9} + \dot{E}_{X_{23}} = \dot{E}_{X_{10}} + \dot{E}_{X_{ky}}$
Alçak basınç besleme suyu ısıtıcısı-II		$\dot{O}_{10} = \dot{m}_{11} h_{11} - \dot{m}_{10} h_{10} - \dot{m}_{22} h_{22}$	$\dot{E}_{X_{10}} + \dot{E}_{X_{22}} = \dot{E}_{X_{11}} + \dot{E}_{X_{ky}}$
Alçak basınç besleme suyu ısıtıcısı-III		$\dot{O}_{11} = \dot{m}_{12} h_{12} - \dot{m}_{11} h_{11} - \dot{m}_{21} h_{21}$	$\dot{E}_{X_{11}} + \dot{E}_{X_{21}} = \dot{E}_{X_{12}} + \dot{E}_{X_{ky}}$



Alçak basınç besleme suyu ısıtıcısı-IV		$\dot{O}_{12} = \dot{m}_{13}h_{13} - \dot{m}_{12}h_{12} - \dot{m}_{20}h_{20}$	$\dot{E}x_{12} + \dot{E}x_{20} = \dot{E}x_{13} + \dot{E}x_{ky}$
Degazör		$\dot{O}_{13} = \dot{m}_{14}h_{14} - \dot{m}_{13}h_{13} - \dot{m}_{19}h_{19}$	$\dot{E}x_{13} + \dot{E}x_{19} = \dot{E}x_{14} + \dot{E}x_{ky}$
Yüksek basınç besleme suyu ısıtıcısı-I		$\dot{O}_{14} = \dot{m}_{15}h_{15} - \dot{m}_{14}h_{14} - \dot{m}_{18}h_{18}$	$\dot{E}x_{14} + \dot{E}x_{18} = \dot{E}x_{15} + \dot{E}x_{ky}$
Yüksek basınç besleme suyu ısıtıcısı-II		$\dot{O}_{15} = \dot{m}_{16}h_{16} - \dot{m}_{15}h_{15} - \dot{m}_{17}h_{17}$	$\dot{E}x_{15} + \dot{E}x_{17} = \dot{E}x_{16} + \dot{E}x_{ky}$
Kondenser tahliye pompası		$\dot{O}_{KTP} = \dot{m}_7h_7 - \dot{m}_6h_6$	$\dot{E}x_6 = \dot{E}x_7 - \dot{E}x_{ky}$
Kazan besleme suyu pompası		$\dot{O}_{KBP} = \dot{m}_{14}h_{14} - \dot{m}_{13}h_{13} - \dot{m}_{19}h_{19}$	$\dot{E}x_{13} + \dot{E}x_{19} = \dot{E}x_{14} - \dot{E}x_{ky}$

**Çizelge 6.4:** Güç Santralin 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 bileşenlerinin ekserji kayıplarının bulunması

Santraldeki ekipmanların ekserji kayıpları bulunurken (5.11) nolu denklemden yararlanılacaktır.

Yapılacak hesaplamalarda ekipmanların yüzey sıcaklıkları ihmal edilmiştir. Buna göre;

#### Buhar kazanında ekserji kaybı;

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

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

$$553456,17+1474,17$$

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

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

### **Türbin grubunda ekserji kaybı;**

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

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

$$173700,79+144249,27+70737,38=123229,79+11495,59+6026,40+4520,41+38$$

$$19,79+3163,52+1107,91+716,93+70737,38+12507,42+115500+\dot{E}_{ky}$$

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

### **Kondenserde ekserji kaybı;**

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

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

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

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

### **Kondenser tahliye pompasında ekserji kaybı;**

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

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

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

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

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

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

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

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

Kazan besleme suyu 2 adet pompadan oluşmaktadır ve her biri 3514 kW güce sahiptir. Bu analiz çalışmasında işlemler yapılırken tek pompa varmış gibi düşünülmektedir. Pompalardaki verim %85 olduğu varsayılarak pompa grubunun verimi %85 alınacaktır. Böylelikle işin tamamı ekserji olacağı için,  $\dot{E}_g=3514 \text{ kW}$  ,  $\dot{E}_\zeta=2986,9 \text{ kW}$  bulunur.

**Ejektörde kayıp ekserji:**

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

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

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

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

**Alçak basınç (Besleme suyu ısıtıcısı-1)'de kayıp ekserji:**

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

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

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

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

**Alçak basınç (Besleme suyu ısıtıcısı-2)'de kayıp ekserji:**

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

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

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

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

**Alçak basınç (Besleme suyu ısıtıcısı-3)'de kayıp ekserji:**

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

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

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

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

**Alçak basınç (Besleme suyu ısıtıcısı-4)'de kayıp ekserji;**

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

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

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

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

**Degazörde kayıp ekserji;**

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

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

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

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

**Yüksek basınç (Besleme suyu ısıtıcısı-1)'de kayıp ekserji;**

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

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

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

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

**Yüksek basınç (Besleme suyu ısıtıcısı-2)'de kayıp ekserji;**

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

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

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

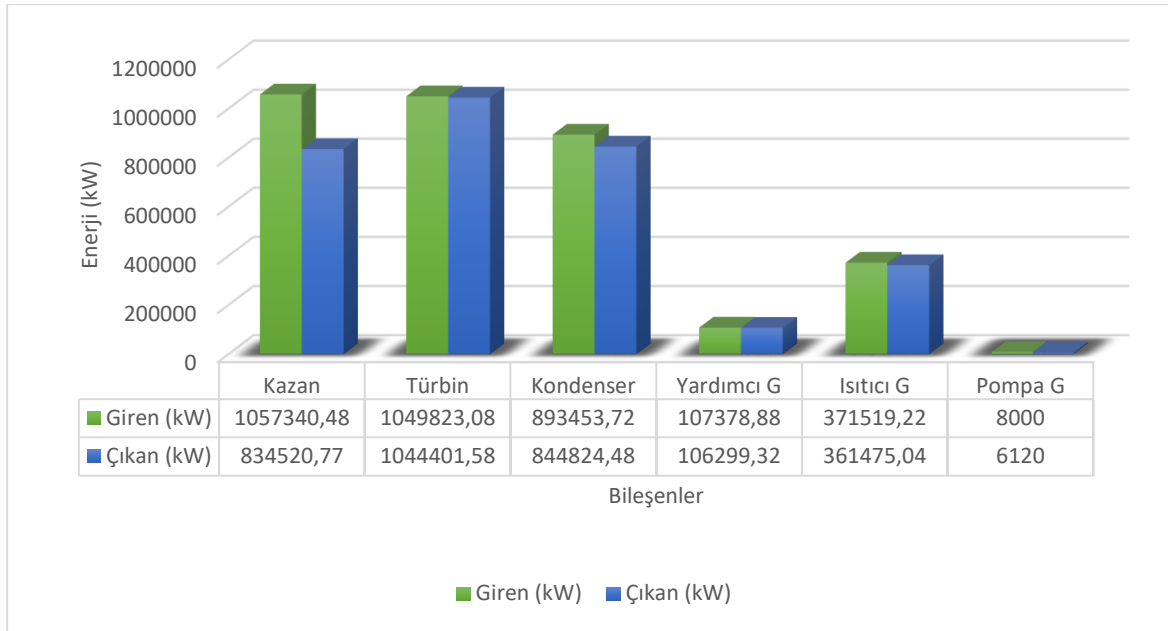
$$\dot{E}_{ky} = 1036,14 \text{ kJ/s}$$

## 6.2 Güç Santralin Eksergoçevresel Açından İncelenmesi

Bir sistemdeki verimsizlikleri azaltmak, kimi zaman kullanılması gereken hammadde miktarını ve çevreye olan etkilerini artırabilir. Bu nedenle ekserji analizi çevresel analizi ile birleştirilerek eksergoçevresel analiz adını almıştır. Ulaşılmak istenen hedef hem çevresel hemde verimli sistem tasarımlarının oluşturulmasıdır. Eksergoçevresel analiz, ekserji analizi ve çevresel analiz, aşamalarını içermekte ve genellikle sistem elemanları seviyesinde uygulanmaktadır. Sistemdeki tüm kütle ve enerji akımları ile ilgili çevresel etkiler hesaplanarak her elemanda meydana gelen termodinamik verimsizlikle (ekserjinin yıkımı/kayıp) belirlenir. Sistemdeki her elemanın ekserji yıkım oranı ile çevresel etkileri oranı karşılaştırılması, elemanın çevresel etkisini azaltmakta kullanılacak faydalı bilgilerin ve sistemin kritik noktalarındaki yapısal değişimlerin ortaya çıkarılmasını sağlar. Ekserji analizi bir ısı sistemdeki termodinamik verimsizliklerin yer, büyüklük ve kaynaklarını belirler. Başka bir çalışma yöntemiyle sağlanamayan bu bilgi genel verimi ve çevresel etkiyi azaltmakta oldukça faydalıdır [36]. Eksergoçevresel analiz, sistemin tüm elemanlarına ait ekserji analizi sonucunda elde edilen giriş ve çıkışlardaki ekserjilerin çevresel etkileri belirlenmesini sağlamaktadır.

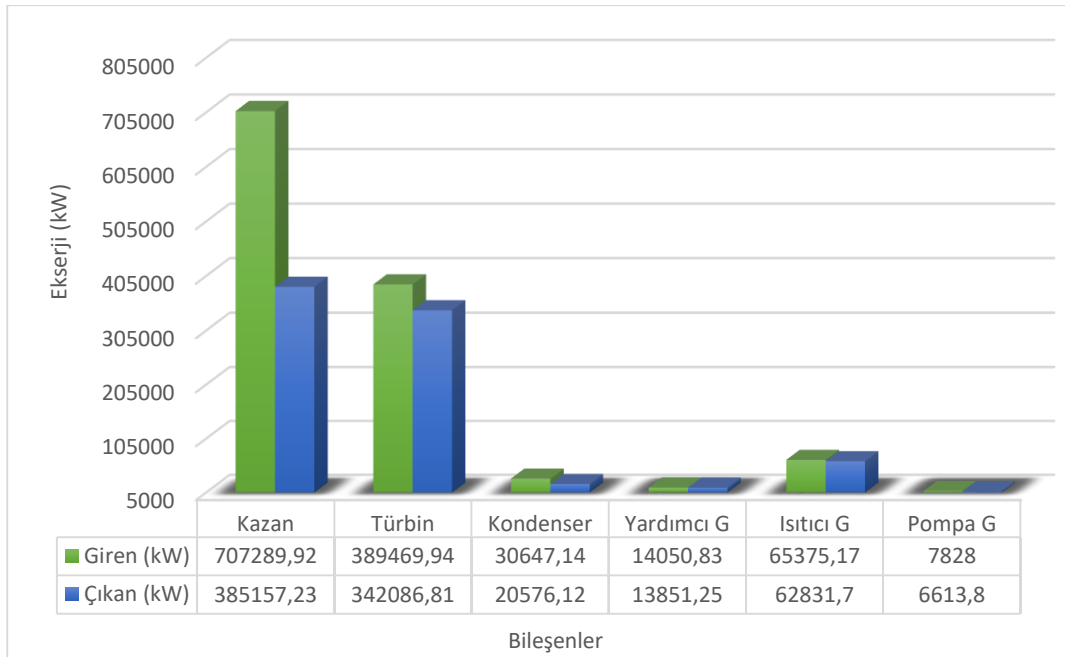
Sistemdeki madde ve enerji akışlarının etkileri, her sistem elemanı için ayrı, ayrı yazılan çevresel ekserji denklemleri yardımıyla hesaplanır. Böylece sistemin termodinamik özelliklerinin ekonomik eşdeğerlerinin bilinmesi, ürün ve yakıtların çevresel etkilerin belirlenmesinin yanı sıra araştırma ve geliştirme çalışmaları için de yeterli düzeyde bilgi edinimine olanak sağlamaktadır [37].

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 tek türbin grubu gibi düşünülüp, yardımcı gruplar olarak ejektör, glend kondenser ve degazör ısıtıcı gruplar olarak alçak basınç ve yüksek basınç ısıtıcıları, pompalar ayrı gruplar olarak analizlere dahil edilmiştir.



**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.

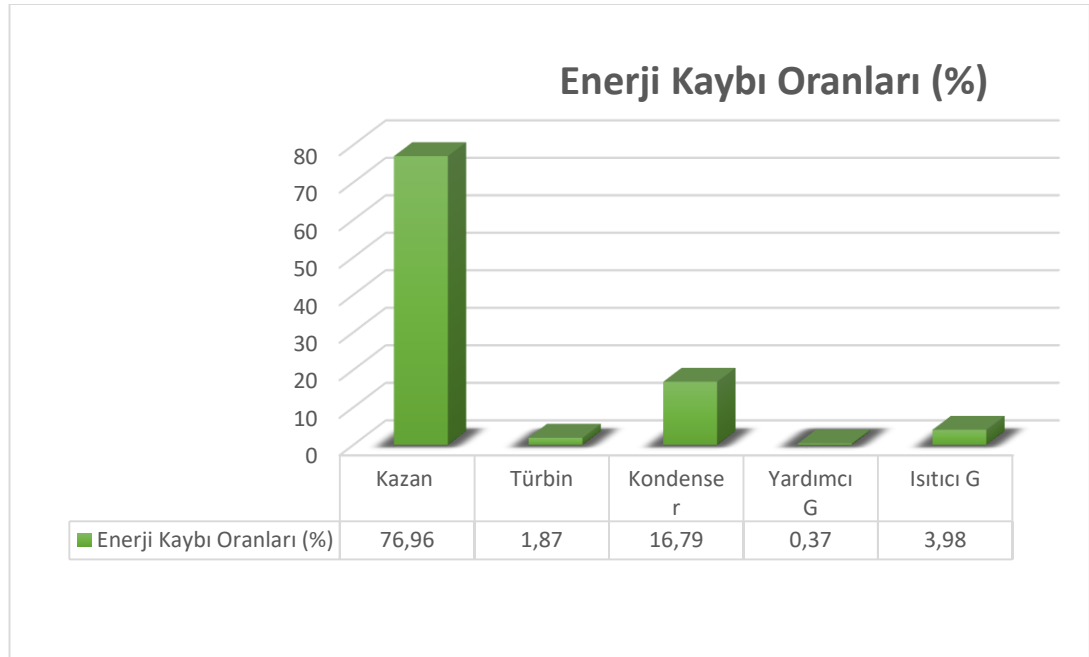


**Şekil 6.3:** Ünite Komponentleri Giren ve Çıkan Ekserji Değerleri.

Güç santral 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 ekserjiler ve giren ekserjiler arasındaki farklar yönünden değerlendirme yapılacak olursa; buhar kazanı, türbin grubu ve ısıtıcı gruplarının ekserji kayıpları yönünden ilk sıraları paylaşmaktadırlar. Kondenser ve pompa grupları yardımcı gruplarda görülen ekserji kayıpları diğerleri ile kıyas edilirse oldukça düşük olduğu görülür. Bu çizelgede en çok dikkate alınması gerek komponentler türbin grubu ve buhar kazanı olarak görülmektedir.

**Çizelge 6.5:** Ünite Komponentleri için Enerji Kaybı Oranları.

Düğüm	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 Kaybı Oranları.



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

**Çizelge 6.6:** Ünite Komponentleri için Ekserji Kaybı Oranları

Düğüm	Kayıp ekserji (kW)	Ekserji kaybı oranı (%)
<b>Kazan</b>	322132,70	83,99
<b>Türbin</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 için Ekserji Kaybı 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 6.7:** 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

Bu çalışmada Eksergoçevresel Analiz yapılırken kullanılan SimaPro programı, yaşam döngüsü analizi (LCA) yapmaktadır. LCA sunulan ürün ve hizmetlerin çevresel etkiler bakımından tüm yaşam döngüsünün değerlendirilmesini sağlar. Bu paket program Eko-indikatör 99 puanlarını veri tabanında bulundurmaktadır. Bu çalışmada tesisatta bulunan elemanların imalatı, transfer edilen ısının çevresel etkisi ve kullanılan kaynakların (su, soğutucu akışkan ve elektrik) çevresel etkileri bu programdan çıktı olarak alınmıştır. Atık malzemenin çevresel etkisi, karbon analizi ve su analizi gibi çalışmalar yapılmamıştır. Bu paket program bir eksergo çevresel analiz programı değil sadece çevresel etki puanlarının elde edilmesi için bir araçtır. Eko-indikatör 99 puanları, SimaPro7 paket programındaki veri tabanından alınmıştır. Santralin ekserji açısından tüm bileşenlerin çevresel etkileri ve birim ekserji başına düşen çevresel etki oranları Çizelge 6.8 de verilmiştir.

**Çizelge 6.8: Santral Proseslerinde Termodinamik ve Eksergoçevresel Değerler**

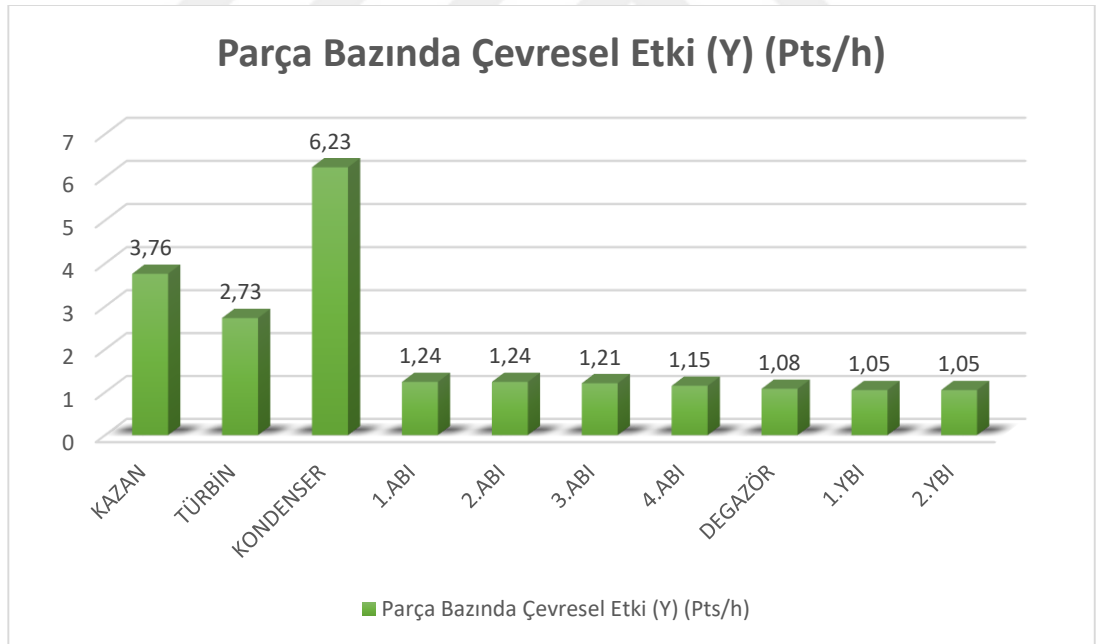
Düğüm	Akış	Termodinamik			Eksergoçevresel		
		$\dot{m}$ (kg/s)	T (C)	P (kPa)	$\dot{E}$ (MW)	$\dot{B}$ (mPts/s)	b (Pts/GJ)
1	KAZAN ÇIKIŞ	116,6	540	13200	173,99	3,38	19,43
2	YBT ÇIKIŞ	106,5	380	3300	123,49	2,39	19,43
3	OBT GİRİŞ	106,5	535	3000	144,51	2,93	20,33
4	ABT GİRİŞ	89,9	280	370	70,96	1,44	20,33
5	ABT ÇIKIŞ	77,2	57	10	12,70	0,25	20,33
6	KOND ÇIKIŞ	77,2	51	10	0,39	0,003	17,43
7	KOND POMP ÇIKIŞ	77,2	51	1425	0,65	0,03	58,02
8	EJEKTÖR ÇIKIŞ	77,2	49	1350	0,60	0,03	58,02
9	GLEND ÇIKIŞ	77,2	49	1350	0,60	0,03	61,87
10	1.ABI ÇIKIŞ	79,9	68	1230	1,25	0,07	61,87
11	2.ABI ÇIKIŞ	83	71	1200	1,45	0,09	66,99
12	3.ABI ÇIKIŞ	89,9	115	1200	4,63	0,38	83,32
13	4.ABI ÇIKIŞ	95,2	147	1180	8,25	0,75	91,54
14	DEGAZÖR ÇIKIŞ	100,4	170	13800	12,63	1,21	96,55
15	1.YBI ÇIKIŞ	106,5	198	13800	18,37	1,71	93,13
16	2.YBI ÇIKIŞ	116,6	240	13800	28,86	1,66	57,84
17	YBT ÇIKIŞ	10,1	365	3300	11,52	0,22	19,43
18	OBT ÇIKIŞ	6,1	300	1600	6,04	0,12	20,33
19	OBT ÇIKIŞ	5,2	300	600	4,53	0,09	20,33
20	OBT ÇIKIŞ	5,3	237	300	3,83	0,07	20,33
21	ABT ÇIKIŞ	6,9	210	50	3,18	0,06	20,33
22	ABT ÇIKIŞ	3,1	82	40	1,11	0,02	20,33
23	ABT ÇIKIŞ	2,7	90	20	0,72	0,01	20,33
24	KONDEN PUMP GİRİŞ	3300	25	160	8,97	0	0
25	KONDEN PUMP ÇIKIŞ	3300	30	120	10,08	0	0
26	KONDEN PUMP GİRİŞ	3300	25	160	8,97	0	0
27	KONDEN PUMP ÇIKIŞ	3300	30	120	10,08	0	0

Kayıp ekserji oranları açısından yapılan değerlendirmede kazanın birinci sırada olduğu ve bunu türbin grubu ve kondenserin takip ettiği görülüyor. Santralde var olan bu komponentler için eksergoçevresel açıdan daha detaylı yorumlar yapabilmek için bileşenlerin birim ekserji başına çevresel etkileri (Pts/MW), bileşenlere ait kayıp

çevresel etkiler (mPts/s) ve bileşenlerin eksergoçevresel faktörlerini (f) kıyaslamak gerekmektedir. Bileşenlere ait bu özellikler aşağıdaki Çizelge 6.9 da verilmiştir.

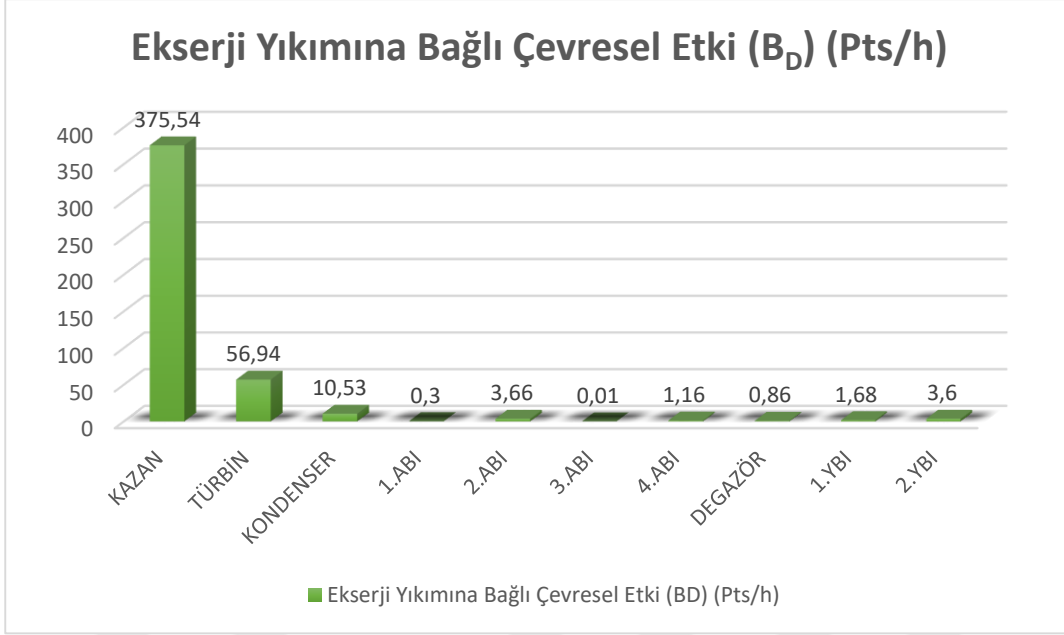
**Çizelge 6.9:** Santral Proseslerinde Ekserji ve Eksergoçevresel Analizler

Proses	Ekserji Analizi		Eksergoçevresel Analiz				
	$\dot{E}_D$ (MW)	$\epsilon$ (%)	$b$ (Pts/MW)	$\dot{Y}$ (Pts/h)	$\dot{B}_D$ (Pts/h)	$\dot{Y}+\dot{B}_D$ (Pts/h)	$f$
<b>KAZAN</b>	322,132	0,836	69,948	3,76	375,54	379,30	0,009913
<b>TÜRBİN GRUBU</b>	47,383	0,123	72,108	2,73	56,94	59,67	0,045748
<b>KONDENSER</b>	10,071	0,26	62,748	6,23	10,53	16,76	0,371668
<b>1.ABI</b>	0,08	0,002	222,732	1,24	0,30	1,54	0,806779
<b>2.ABI</b>	0,911	0,0023	241,164	1,24	3,66	4,90	0,252975
<b>3.ABI</b>	0,002	0	299,952	1,21	0,01	1,22	0,991805
<b>4.ABI</b>	0,212	0,005	329,544	1,15	1,16	2,31	0,496891
<b>DEGAZÖR</b>	0,149	0,0032	347,58	1,08	0,86	1,94	0,555797
<b>1.YBI</b>	0,3	0,0018	335,268	1,05	1,68	2,73	0,385132
<b>2.YBI</b>	1,036	0,0026	208,224	1,05	3,60	4,65	0,226033
<b>KTP</b>	0,16	0,0004	0	1,11	0,00	1,11	1
<b>KBP</b>	1,054	0,0027	0	0	0,00	0,00	0



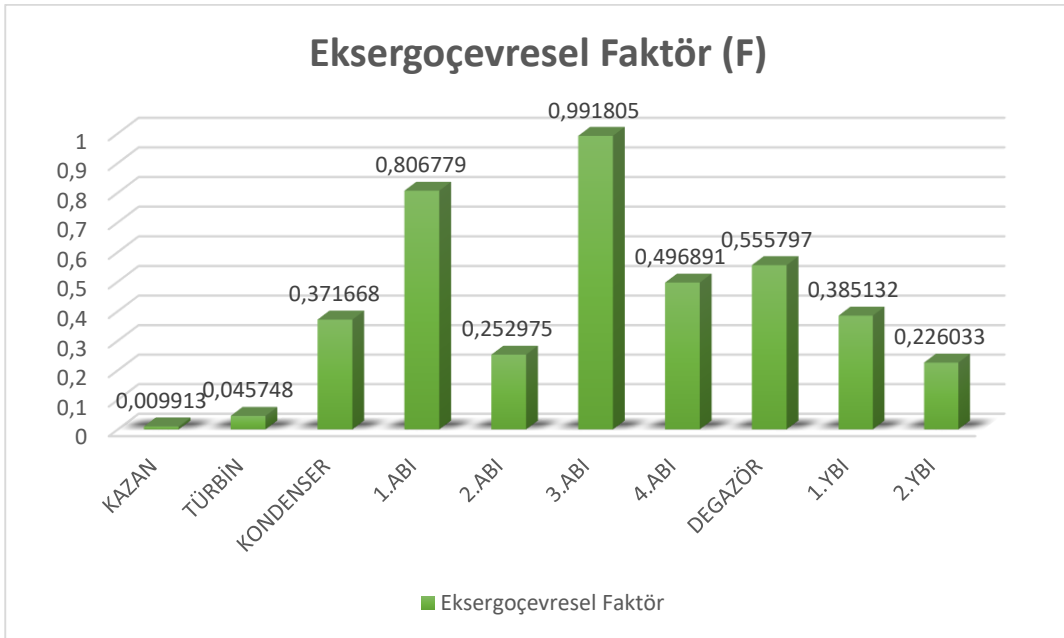
**Şekil 6.6:** Santralin Parça Bazında Çevresel Etki Dağılımı

Bileşenlere ait çevresel etkiler için Şekil 6.6 değerlendirmeye alınırsa; en çok çevresel etkiye sahip ekipmanın kazan olduğu görülmektedir. Daha sonra kondenser için yüksek çevresel etki ve bu ikisini türbin grubu takip etmekle beraber diğer bileşenlerin çevresel etkilerinin çok düşük olduğu görülmektedir.



**Şekil 6.7:** Santralin Ekserji Yıkımına Bağlı Çevresel Etki Dağılımı

Bileşenlere ait kayıp çevresel etki için Şekil 6.7 değerlendirilirse; en yüksek kayıp çevresel etkinin kazanda olduğu devamında ise türbin grubunun ve kondenserin onu takip ettiği görülmektedir. Diğer komponentlerde ise kayıp çevresel etkilerin seviyeleri düşük olduğu görülmektedir.



**Şekil 6.8:** Santralin Eksergoçevresel Faktör Dağılımı

Bileşenlere ait eksergoçevresel faktörler için Şekil 6.8 değerlendirilecek olursa, en düşük eksergoçevresel faktöre sahip ekipmanın kazan olduğu, en yüksek

eksergoçevresel fakt6re sahip ekipmanın ise ABSI-3 olduğu g6r6lmektedir. Diğer bileşenler için ise eksergoçevresel fakt6rler deĐiŐmekte olup, iyileştirme yapılması gereken bileşenleri belirlemek için eksergoçevresel fakt6r ile ekserj kayıpları ve ekserji maliyetleri ile beraber bir değerlendirme yapılması daha uygun olacaktır.





## 7. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Gerçekleştirilen çalışma bir sistemin mühendislik yaklaşımıyla incelendiğinde, termodinamik analizlerin incelenmesiyle sistemleri birbirleriyle karşılaştırmak pek doğru değildir. Termodinamik analizlerde çevresel etkiler göz önüne alınmaz. Sistemin performansı termodinamik açıdan iyileştirilirken, sistemin çevresel etkisi çok yükselebilir. Aynı mantıkla yalnızca çevresel etkiler göz önünde bulundurulursa, sistemin performansı düşer ve bu da sistemin çevresel etkilerinin düşmesine yol açar. Böyle durumlara yol açmamak için termodinamik analizin ve çevresel etkiler beraber düşünülerek optimum tasarım parametrelerinin bulunması gerekmektedir. Eksergo çevresel analiz ise çözüme en uygun yöntemlerden biri olacaktır.

Çalışmamızda Ege bölgesinde aktif çalışan güç santralin ünitelerinden birinin değişkenlere bağlı olarak eksergoçevresel analiz yöntemi ile bütün komponentlerinde değerlendirme yapılmıştır.

Çalışmamızın ilk aşamasında santralden çeşitli çalışmalar sonucu aldığımız sistem parametreleri belirlenmiştir. Buna göre güç santralin her bir ekipmanının enerji ve ekserji analizleri yapılmıştır. Bu değerlendirmeler sonucunda bileşenlerin enerji ve ekserji kayıplarına göre karşılaştırmalar yapılabilmektedir.

Çalışmanın ikinci aşamasında analizlerde hesaplanan eksergoçevresel parametrelere bakılarak ünite üzerinde nerelerde iyileştirme yapılabilir ve hangi ekipmanda öncelikli olarak iyileştirilme yapılabileceği şeklinde yorumlar yapılabilmektedir.

Güç santralin enerji ve ekserji kaybının en yüksek gerçekleştiği ekipman kazan olduğu tespit edilmiştir. Bununla birlikte buhar kazanının eksergoçevresel faktörü 0,009 bulunmuş olup bu eksergoçevresel faktör değeri ile diğer ekipmanlara kıyasla daha düşük bir değere sahiptir. Bunun sonucunda buhar kazanında iyileştirme yapılabilmesinin en önemli göstergesidir. Böylece seçilen buhar kazanının yüksek verimli olması ünitenin performansı açısından çok önemli olduğu görülebilir.



Türbin grubunun kayıp ekserji oranı buhar kazanına göre düşük olduğu bununla beraber eksergoçevresel faktörünün diğer ekipmanlar ile kıyaslandığında yüksek olduğu görülmektedir.

Türbin grubunda yapılabilecek bir iyileştirme ekipman açısından verimli olabilir fakat ünitenin performansını çok etkilemeyecektir. Dolaylı olarak türbinde çevresel etki minimum olacak şekilde sistemin tümü göz önünde bulundurularak verim artışı sağlanmaya çalışılmalıdır.

Santral çevriminin en önemli yerlerinden biri olan kondenser için farklı bir durum söylenebilir. Kayıpların yüksek çıktığı bu ekipman eksergoçevresel faktör açısından 0,37 değeri ile kazan ve türbinden yüksek ama diğer ekipmanlara kıyasla düşük olan bir değere sahiptir. Kondenserin farklılığı ise soğutma suyuna verilen enerji ilk bakışta kayıp gibi görünmektedir. Fakat pompa tek fazlı sistemle çalışan bir ekipmandır. Pompanın sıvı fazda olmasından dolayı pompaya gelen fazda sıvı olmak zorundadır. 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.

Fakat kojenerasyon tesisi gibi bir çözüm yöntemine başvurulursa bu kayıp yerini kazanca da çevirebilir. Bu yüzden buradaki kaybı kazanca çevirmek için güç santralin bulunduğu ilçeye ısınma ihtiyacını karşılayacak bir proje planlanmıştır, yöre halkı cüzi bir ücret karşılığında ısınma ihtiyacını karşılar iken, santral çevreye ve kendine bir kazanç sağlamış olacaktır.

Değerlendirmeleri gerçekleştirilen bileşenler haricindeki ekipmanlarda sistem üstünde gerek enerji ve ekserji kaybındaki gerekse eksergoçevresel etkileri çok az olduğu görülmektedir. Bu bileşenler üzerinde yapılacak iyileştirmeler ünitenin performansına fayda sağlamayacağı gibi çevreyede önem arz eden zararlar vermediğinden bu ekipmanlarda iyileştirme yapılması ancak diğer ekipmanlardan sonra düşünülmelidir.

Sonuç olarak incelenen santralde genel bir revizyon yapılması ve yeni teknolojilerin kullanılması gerekliliği görülmektedir. Fosil kökenli enerji kaynaklarının tükenme sorunu ile kullanımında enerjinin verimli kullanılmasının gerekliliği, santralin

geneline uygulanacak çeşitli kontrol optimizasyonlarının önemi açıkça göstermektedir.





## KAYNAKLAR

- [1] **Mmo Oda Raporu**, (2008)., “Yenilenebilir Enerji Kaynakları”, TMMOB-MMO Yayınları No : MMO/2008/479, Ankara.
- [2] **How to develop a Sustainable Energy Action Plan**, (SEAP) Guidebook, Luxemburg Publications Office of the European Union, European Commission [http://www.eumayors.eu/IMG/pdf/004\\_Part\\_II.pdf](http://www.eumayors.eu/IMG/pdf/004_Part_II.pdf), 26 Aralık 2011.
- [3] **Akbulut U.** (2012).,Yenilenebilir Enerji Kaynaklı Isıtma Ve Soğutma Sisteminin Teorik ve Deneysel İncelenmesi
- [4] **Bejan, A. Tsatsaronis, G. Moran, M.** (1996). Thermal Design and Optimization, John Wiley, New York.
- [5] **International Organization for Standardization -ISO**, (2006). “Environmental Management – Life Cycle Assessment”, Avrupa Standardı EN ISO 14040 ve 14044, Cenevre, İsviçre.
- [6] **Bayrak, F.** (2014). Elektrik Üretiminde Kullanılan Linyitin Madencilik Aşamasına Ait Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi
- [7] **Babbitt, W. C. Lindner, A.S.** (2005). A Life Cycle Inventory of Coal Used for Electricity Production in America, Journal of Cleaner Production 13, 903 -912
- [8] **Spath, P. L. Mann, M. K. Kerr, D. R.** (1999). Life Cycle Assessment of Coal Fired Power Production, National Renewable Energy Laboratory, NREL/TP-570 - 25119 <http://www.nrel.gov/docs/fy99osti/25119.pdf>
- [9] **University of Regina**, (2009). Carbon Footprint of an 882 MW Coal-Fired Power Plant With CCS: CO2-EOR and Storage Option, Boston
- [10] **Liang, X. Wang, Z. Zhou, Z.** (2013). Up-to-date life cycle assessment and Comparison study of clean coal power generation Technologies in China, Journal of Cleaner Production, Volume 39, (2013), S24-31
- [11] **U.S. Department of Energy**, (2011). Sustainability Assessment of Coal-Fired Power Plants with Carbon Capture and Storage, Pacific NorthwestNational Laboratory
- [12] **Coşkun, A.** (2013). Çayırhan Güç Santralinin Enerji ve Ekserji Analizi. [11]. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi İzmir Sayfa (1).
- [13] **Kocaman, B.** (2003). Elektrik Enerjisi Üretim Santralleri. Tek Baskı, BirsenYayın Evi. İstanbul, Sayfa (253)
- [14] **EÜAŞ.** (2017). 2016 Sektör Raporu, Araştırma Planlama ve Koordinasyon Dairesi Başkanlığı İstatistik ve Araştırma Müdürlüğü

- [15] **Ünal, F. Özkan D, B.** (2014) Tunçbilek Santralinin Enerji Ekserji Analizi Yıldız Teknik Üniversitesi
- [16] **Çelik, C.** (2015). Güç Santrallarda Enerji ve Ekserji Analizi için Yazılım Geliştirilmesi. Sayfa (1-2). Bülent Ecevit Üniversitesi
- [17] **Beyhan, B.** (2015). Soma Güç Santrali Vardiya Amiri , Santral Dökümanları
- [18] **Çengel, Y. A. Boles, M. A.** (1996). Mühendislik yaklaşımıyla termodinamik, McGraw-Hill
- [19] **Ünal, F.** (2009). “*Bir Güç Santralin Ekserji Analizi*” Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul
- [20] **Karakoç, T. H. Erbay, B. ve Karakoç, N.** (2011). Enerji Analizi. Türkiye Cumhuriyeti Anadolu Üniversitesi Yayını, Birinci Baskı, 2486, Anadolu Üniversitesi, Eskişehir, 167s.
- [21] **Oymak, M.** (2007). Isıl sistem tasarımlarında ekonomik yalıtım kalınlıklarınınEkserji ekonomik yöntemle belirlenmesi, Yüksek lisans tezi, Trakya Üniversitesi Fen bilimleri enstitüsü
- [22] **Rosen, M.A.** (2002). Exergy Conservation; an alternative to conserving the Alread conserved quantity energy, Exergy an International Journal, 2,59-61
- [23] **Wall , G.** (1993). Exergetics, Exergy, Ecology and Democracy-Concepts of a vital society. Energy Systems and Ecology July 5-9, 111-121
- [24] **Kotas, T. J.** (1985). The Exergy Method of Thermal Plant Analysis, AnchorBrendon Ltd. Tiptree
- [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] **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
- [30] **Meyer, L. Buchgeister, J. Schebek, L. ve Tsatsaronis, G.** (2007). “Formation of Environmental Impacts in Energy Conversion Processes Revealed by a Novel Exergoenvironmental Analysis”, Proceedings of ASME IMECE 2007, 11-15 November 2007, Seattle.
- [31] **Meyer, L. Castillo, R. Buchgeister, J. ve Tsatsaronis, G.** (2009). “Application of Exergoeconomic and Exergoenvironmental Analysis

to an SOFC System with an Allo thermal Biomass Gasifier”, Int. J. of Thermodynamics, 12: 177-186.

- [32] **Ünal, F.** (2019) Theoretical Investigations and Applied Studies in Engineering “Analysis of Thermal Power Plants (Energy, Exergy, Exergoeconomic and Exergoenvironmental)” Chapter 17 : 301 - 328
- [33] **Bejan, A. Tsatsaronis, G. ve Moran, M.** (1996). Thermal Design and Optimization, John Wiley, New York.
- [34] **Utlu, Z.** (2008) Analysis Of Energy And Exergy Use And Environmental Impacts In Space Heating, An Application
- [35] **Türk Standartları Enstitüsü (TSE)**, 2007, TS ISO 14044:2007,Çevre Yönetimi, Hayat Boyu Değerlendirme - Gereklere ve Kılavuz Standardı, ICS 13.020.10; 13.020.60, 45 s.
- [36] **Tsatsaronis, G.** (2006). “Definitions and Nomenclature in Exergy Analysis and Exergoeconomics”, Energy, 32: 249-253
- [37] **Turgut, E.T.** (2007). Uçaklarda Kullanılan Gaz Turbinli Motorların Eksergoekonomik Analizi, Doktora Tezi, Anadolu Üniversitesi SHYO, Eskişehir
- [38] **Utlu, Z. Kıncay, O.** (2013). “An assessment of a pulp and paper mill through energy and exergy analyses” Energy 57 565-573
- [39] **Utlu, Z. Kıncay, O. Akbulut U.** (2016) Exergoenvironmental and exergoeconomic analyses of a vertical type ground source heat pump integrated wall cooling system. Applied Thermal Engineering : 904- 921
- [40] **Utlu, Z. Kıncay, O. Akbulut U.** (2016) Exergy, exergoenvironmental and exergoeconomic evaluation of a heat pump-integrated wall heating system. Energy : 502 - 522



## ÖZGEÇMİŞ

**Ad-Soyad:** Yusuf SAYICI

**Doğum Tarihi ve Yeri:** 05.06.1992- G.O.P. / İSTANBUL

**E-posta:** yusufsayici@hotmail.com

### ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans:** İstanbul Aydın Üni. Müh. Fak. Makine Mühendisliği (2012-2014)
- **Önlisans:** Marmara Üniversitesi Tek. Bil M.Y.O Makine (2009-2012)
- **Lise:** Küçükköy Endüstri Meslek Lisesi (2005-2009)
- **İlköğretim:** Barbaros Hayrettin Paşa İ.Ö.O. (1997-2005)

### MESLEKİ DENEYİMLERİ

- Bedir Kuyumculuk San ve Tic. Ltd. Şti (2005- Devam)
- Klepsan Vana ve Ölçü Aletleri San.Tic.Ltd.Şti (Eylül-Haziran 2008/2009 Staj)
- Marmara 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)