

**GAZ YAKITLI BİR ENERJİ SANTRALİNİN
TERMOEKONOMİK ANALİZİNİN
YAPILMASI**

2015

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ A.B.D.**

Ümit ARSLAN

**GAZ YAKITLI BİR ENERJİ SANTRALİNİN İNTERMO EKONOMİK
ANALİZİNİN YAPILMASI**

Ümit ARSLAN

**Karabük Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalında
Yüksek Lisans Tezi
Olarak Hazırlanmıştır**

**KARABÜK
Haziran 2015**

Ümit ARSLAN tarafından hazırlanan “GAZ YAKITLI BİR ENERJİ SANTRALİNİN TERMOEKONOMİK ANALİZİNİN YAPILMASI” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Mehmet ÖZKAYMAK
Tez Danışmanı, Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı



Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 16/ 06/ 2015

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Prof. Dr. Durmuş KAYA (KÜ)



Üye : Prof. Dr. Mehmet ÖZKAYMAK (KBÜ)



Üye : Yrd. Doç. Dr. Muhammet KAYFECİ (KBÜ)



...../...../2015

KBÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile, Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Nevin AYTEMİZ
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü



“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”

Ümit ARSLAN

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

GAZ YAKITLI BİR ENERJİ SANTRALİNİN TERMOEKONOMİK ANALİZİNİN YAPILMASI

Ümit ARSLAN

Karabük Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı:

Prof. Dr. Mehmet ÖZKAYMAK

Haziran 2015, 65 Sayfa

Enerji kaynaklarının azalması, enerji ihtiyacının ve enerji maliyetlerinin artması, sanayideki rekabetçi koşullar ve çevresel duyarlılık enerji kaynaklarını verimli kullanmayı gerektirmektedir. Bu kapsamda endüstriyel tesislerdeki ekipmanların ısı verimlerinin ve maliyetlerinin incelenmesi kaçınılmaz olmuştur. Bu tez çalışmasında, entegre demir çelik fabrikalarında üretim sırasında atık gaz olarak ortaya çıkan yüksek fırın ve kok gazının yakıt olarak kullanıldığı bir santralin ekserji analizi yardımıyla termoeconomik analizi yapılmıştır. Ekserji analizinde proses içindeki her bir ekipmanın ekserji yıkımları ve ekserji verimleri hesaplanmış, birim ekserji maliyeti belirlenmiştir. SPECO metoduna göre türbin shaft gücü için birim ekserji maliyeti 18,96 \$/GJ olarak bulunmuştur. Bu bilgiler doğrultusunda sistemin performansını arttıracak ve maliyetini azaltacak bir takım önerilerde bulunulmuştur.

Anahtar Sözcükler :Demir Çelik, gaz yakıtlı kazan, enerji santrali, ekserji, termoeconomik analiz, yanma, baca gazı, SPECO metodu.

Bilim Kodu : 708.1.131

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

THERMOECONOMIC ANALYSIS IN GAS FIRED POWER PLANT

Ümit ARSLAN

KarabükUniversity

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Energy Systems Engineering

ThesisAdvisor:

Prof. Dr. Mehmet ÖZKAYMAK

June 2015, 65Pages

Decrease in energy resources, increase in energy requirement and energy costs, competitive conditions in industry and environmental sensitivity have required energy resources to be used efficiently. In this context, it is inevitable to examine the thermal efficiency and the cost of equipment in industrial plants. In this study, the thermoeconomic analysis of power plant of a gas-fired boiler existing in Kardemir A.Ş. using coke gas and furnace gas from the waste gases released during the production of integrated iron and steel as fuel was evaluated by exergy analysis. Exergy destructions and exergy efficiencies of each equipment in the system were calculated and unit exergy cost is determined. The unit exergy cost of turbine shaft power was found to be 18,96 \$/GJ in respect to SPECO methodology. In accordance with these information that enhances the performance and keep down the cost of the system were made recommendations.

Key Words : Iron Steel, gas fired boiler, power plant, exergy,thermoeconomic analysis, burning, flue gas, SPECO methodology.

Science Code: 708.1.131

TEŞEKKÜR

Tez çalışmama verdikleri desteklerden dolayı danışmanım Prof. Dr. Mehmet ÖZKAYMAK'a, ölçüm ve tesis çalışma parametrelerinin elde edilmesinde emeği geçen KARDEMİR çalışanlarına, tezime verdikleri her türlü maddi ve manevi destekten dolayı başta Yrd. Doç. Dr. Alper ERGÜN olmak üzere Karabük Üniversitesi Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü'ndeki öğretim görevlisi arkadaşlarıma, ayrıca her zaman manevi desteklerini hissettiğim sevgili eşime ve sevgili oğlum Ođuzhan'a teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

KABUL.....	ii
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xiv
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2	3
LİTERATÜR ÇALIŞMASI.....	3
BÖLÜM 3	7
BUHARLI GÜÇ SANTRALLERİNE EKSERJİ ANALİZİNİN UYGULANMASI VE TERMOEKONOMİK ANALİZ	7
3.1. SİSTEM TANIMI VE EKİPMANLARIN BELİRLENMESİ.....	8
3.1.1. Sistem Tanımı Ve Akım Şeması	8
3.1.2. Sistem Ekipmanlarının Tanıtımı.....	11
3.1.2.1. Buhar Kazanı	11
3.1.2.2. Buhar Türbini.....	13
3.1.2.3. Kondenser	14
3.1.2.4. Kondense Pompası.....	15
3.1.2.5. Besleme Deposu Ve Degazör	15
3.1.2.6. Besleme Suyu Pompası.....	16
3.1.2.7. Basınç Ve Sıcaklık Düşürme İstasyonu	17
3.1.2.8. Ekonomizer	17

	<u>Sayfa</u>
3.1.2.9. Hava Ekonomizeri	19
3.1.2.10. Aspiratör (ID fan)	19
3.1.2.11. Vantilatör (FD fan)	20
BÖLÜM 4	21
ÖLÇÜM VE HESAPLAMALAR	21
4.1.YAKIT BİLEŞENLERİNİN HACİMSEL MOLAR ORANLARININ ÖLÇÜLMESİ.....	21
4.2.BACA GAZI BİLEŞENLERİNİN MOLAR DEBİLERİNİN BELİRLENMESİ	22
4.3.BACA GAZI ENTALPİSİNİN BELİRLENMESİ	23
4.4.BACA GAZI EKSERJİSİNİN BELİRLENMESİ	24
4.5.YAKITLARIN EKSERJİLERİNİN BELİRLENMESİ	29
4.6.YAKMA HAVASININ EKSERJİSİNİN BELİRLENMESİ.....	33
4.7.ENERJİ SANTRALİNDEKİ DİĞER DÜĞÜM NOKTALARININ EKSERJİ DEĞERLERİNİN TESPİTİ	34
4.8.EKSERJİ YIKIMLARININ VE EKSERJİ VERİMLERİNİN BELİRLENMESİ	41
4.8.1.Buhar Kazanı Ekserji Yıkımının Ve Ekserji Veriminin Belirlenmesi.....	41
4.8.2.Türbin Ekserji Yıkımının Ve Ekserji Veriminin Belirlenmesi.....	42
4.8.3.Kondenser Ekserji Yıkımının Ve Ekserji Veriminin Belirlenmesi	43
4.8.4.Kondense Pompası ekserji Yıkımının Ve Ekserji Veriminin Belirlenmesi.....	44
4.8.5.Besleme Deposu (Degazör) Ekserji Yıkımının Ve Ekserji Veriminin Belirlenmesi	45
4.8.6.Besleme Suyu Pompası Ekserji Yıkımının Ve Ekserji Veriminin Belirlenmesi.....	46
4.8.7.Basınç Ve Sıcaklık Düşürme İstasyonu Ekserji Yıkımının Ve Ekserji Veriminin Belirlenmesi	47
4.8.8.Ekonomizer-1 (EKO-1) Ekserji Yıkımının Ve Ekserji Veriminin Belirlenmesi	48
4.8.9. Ekonomizer-2 (EKO-2) Ekserji yıkımının Ve Ekserji Veriminin Belirlenmesi.....	49
4.8.10. Hava Ekonomizeri-1 (HE-1) Ekserji Yıkımının Ve Ekserji Veriminin Belirlenmesi.....	50

	<u>Sayfa</u>
4.8.11.Hava Ekonomizeri-2 (HE-2) Ekserji Yıkımının Ve Ekserji Veriminin belirlenmesi	51
4.8.12.Aspiratör (ID Fan) Ekserji Yıkımının Ve Ekserji Veriminin Belirlenmesi	52
4.9.TERMOEKONOMİK ANALİZ	53
4.9.1.Sistem Ekipmanlarının Yatırım Maliyeti Hesabı	54
4.9.1.1.Paranın Zaman Değeri	54
4.9.1.2.Yıllık Ödemeler	55
4.9.1.3.Ana Para Geri Kazanım Faktörü.....	55
4.9.1.4.Sistemin Hurda Değeri.....	56
4.9.1.5.Ekonomik Değerlerin Hesabı.....	56
4.9.2. Speco Metodu	58
BÖLÜM 5	61
SONUÇ VE ÖNERİLER	61
KAYNAKLAR	63
ÖZGEÇMİŞ	65

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 3.1. Tesisin genel görünüşü.....	8
Şekil 3.2. Sistem akış şeması.....	9
Şekil 3.3. Buhar kazanı detay resmi	12
Şekil 3.4. Buhar kazanı genel görünüşü	13
Şekil 3.5. Buhar türbini ve kompresör genel görünüşü	14
Şekil 3.6. Kondenser.....	15
Şekil 3.7. Besleme deposu ve degazör detay resmi.....	16
Şekil 3.8. Besleme deposu ve degazör genel görünüşü.....	16
Şekil 3.9. Basınç ve sıcaklık düşürme istasyonu detay resmi	17
Şekil 3.10. Ekonomizer ve hava ekonomizerlerinin genel yerleşimi	18
Şekil 3.11. Hava ekonomizerlerinin genel görünüşü.....	19
Şekil 3.12. Aspiratör genel görünüşü	20
Şekil 3.13. Vantilatör genel görünüşü	20
Şekil 4.1. Buhar kazanı şematik görünüşü	41
Şekil 4.2. Buhar Türbini şematik görünüşü.....	42
Şekil 4.3. Kondenser şematik görünüşü	43
Şekil 4.4. Kondense pompası şematik görünüşü	44
Şekil 4.5. Besleme deposu ve degazör şematik görünüşü	45
Şekil 4.6. Besleme suyu pompası şematik görünüşü.....	46
Şekil 4.7. Basınç ve sıcaklık düşürme istasyonu şematik görünüşü.....	47
Şekil 4.8. Ekonomizer-1 şematik görünüşü.....	48
Şekil 4.9. Ekonomizer-2 şematik görünüşü.....	49
Şekil 4.10. Hava ekonomizeri-1 şematik görünüşü.....	50
Şekil 4.11. Hava ekonomizeri-2 şematik görünüşü	51
Şekil 4.12. ID fan şematik görünüşü	52

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 3.1. Santral'e ait belirlenen düğüm noktaları ve değerleri.....	10
Çizelge3.2. Ekipman listesi.....	11
Çizelge4.1. Kok gazı analiz değerleri.	21
Çizelge4.2. Yüksek fırın gazı analiz değerleri.	21
Çizelge4.3. Baca gazı bileşenlerinin molar debileri ve molar oranları	23
Çizelge4.4. Baca gazı bileşenlerinin molar debileri ve kimyasal ekserjileri	24
Çizelge4.5. Baca gazının düğüm noktalarındaki ekserji değerleri.....	25
Çizelge4.6. Yakma havasının entalpi, entropi, yoğunluk ve debi değerleri	33
Çizelge 4.7. Noktasal ekserji değerleri tablosu.....	40
Çizelge4.8. Ekipmanların ekserji yıkımları ve ekserji verimleri	53
Çizelge4.9. Ekipmanların normal ve seviyelendirilmiş alış fiyatları ile bu fiyatları göre toplam maliyet akımları	57
Çizelge4.10. Ekipmanların ekserjiye bağlı maliyet denge denklemleri, yardımcı denklemler ve yakıt-ürün tanımlamaları.....	59

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

c_p	: Sabit basınçta özgül ısı
CO_2	: Karbondioksit
Ex	: Ekserji akımı (kW)
H	: Özgül entalpi (kJ/kgK)
H_2O	: Su
I	: Bileşik faiz oranı (%)
kcal	: Kilo kalori
kg	: Kilogram
kW	: Kilo watt saat
\dot{m}	: Kütlesel debi (kg/s)
Nm^3	: Normal metre küp
NO_x	: Azot oksitler
N_2	: Azot
O_2	: Oksijen
n	: Sistem ömrü (yıl)
\dot{n}	: Molar oran(%)
P	: Basınç (bar)
s	: Özgül entropi (kJ/kgK)
T	: Sıcaklık (°C,K)
t	: Ton
W	: İş enerjisi (kW)
°C	: Derece santigrat

Yunan harfleri:

- φ : Verim (%)
 \emptyset_k : Bakım maliyet faktörü
 μ : Sistemin hurda değeri oranı (%)
 τ : Sistemin yıllık çalışma süresi (h)

Alt İndisler:

- bd : Besleme deposu
bsp : Besleme suyu pompası
kokg : Kok gazı
kp : Kondense pompası
yfg : Yüksek fırın gazı

Üst İndisler:

- fiz : Fiziksel
kim : Kimyasal
top : Toplam

KISALTMALAR

- AID : Alt ısııl değer
FD : Forced draft
ID : Induced draft
TL : Türk lirası
USD : Amerikan doları
ÜID : Üst ısııl değer
YF : Yüksek fırın
KOK : Kok gazı
AC : Yıllık ödemeler (\$)
CRF : İlk yatırım geri kazanım faktörü
F : Yakıt

FW	: Paranın gelecekteki değeri (\$)
GÖS	: Geri ödeme süresi
PEC	: Ekipman alış fiyatı (\$)
PW	: Paranın şimdiki değeri (\$)
PWF	: Paranın şimdiki değer faktörü
SV	: Hurda değeri
TCI	: Toplam ilk yatırım maliyeti (\$)
TL	: Türk lirası
YG	: Yıllık getiri
Z^T	: Seviyelendirilmiş maliyet akımı

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Enerji, insanoğlunun temel ihtiyaçlarının karşılanması ve hayat standartlarının yükseltilmesinde birincil derecede bir gereksinim olarak kabul edilmektedir. Bununla beraber dünyadaki nüfus artışıyla birlikte, sanayileşmenin artması ve teknolojinin gelişmesi her geçen gün enerjiye olan ihtiyacı da beraberinde getirmektedir[1].

Dünyanın enerji kaynaklarının sınırlı olması ve sürdürülebilir bir gelecek için gerekli olan enerjinin verimli kullanılması gerçeğinin giderek daha geniş kesimlerce anlaşılması, hükümetleri enerji politikalarını yeniden gözden geçirmeye ve enerji savurganlığını önlemeye yöneltmiştir. Bu olgu, bilimsel çevreleri de enerji dönüşüm araçlarını yeniden değerlendirmeye ve var olan sınırlı enerji kaynaklarından daha çok yararlanabilmek için yeni yöntemler geliştirmeye itmiştir[2]. Bu nedenle 20. yüzyılın ikinci yarısında alternatif enerji kaynakları araştırılması mevcut enerji kaynaklarının verimli bir şekilde kullanılması çalışmaları yoğun bir şekilde artmıştır[3].

Günümüzde entegre Demir Çelik üretim sistemlerinin enerji etüdü yapılırken genellikle enerji ve ekserji analizleri yapılmaktadır. Enerji ve ekserji analizleri sistemin performansını, kayıp değerlerini ve iyileştirilmesi gereken noktaları bize gösterse de, elde edilen bu değerlerin, yatırım ve işletme maliyetlerine nasıl yansıdığına dair bize net bilgi verememektedir. Bu nedenle özellikle elektrik üretimi gerçekleşen termal sistemlerde termoeconomik analizlerin mutlaka yapılması gerekmektedir[4].

Termoeconomik analiz, termal bir sistemde üretilen ürünlerin maliyetlerini hesaplamada termodinamik ve ekonomik analiz sonuçlarını kullanan bir mühendislik dalıdır. Termodinamik analiz ile sistemlerde belirlenen ekserji akımları,

termoekonomikanaliz yöntemleri kullanılarak maliyetlendirilir ve sistemdeki her bir ekserji akışı maliyet cinsinden ifade edilir.

Hali hazırda kurulu sistemler için, maliyetlendirilen her bir ekserji akımı sayesinde sistemdeki maliyet akışları ve sistem ekipmanlarındaki ekserji kayıplarının maliyetleri belirlenerek sistemde yapılacak iyileştirme çalışmalarının ne ölçüde faydalı olabileceği ve sistemden üretilen ürünün maliyetine ne ölçüde etki ettiği tespit edilebilir. Yeni kurulacak sistemlerde ise termoekonomik analiz yardımıyla, satın alınacak ekipmanların maliyetlerinin ve performanslarının sistemden üretilecek olan ürün maliyetine etkileri belirlenerek sağlıklı bir ekipman seçimi yapılabilir. Bazı durumlarda, yüksek verimliliğe sahip bir ekipmanın sağlayacağı avantaj bu ekipmanın yüksek ilk yatırım maliyetinin oluşturduğu dezavantajın yanında etkisiz kalabilir. Bundan dolayı termoekonomik analiz ekipman seçiminde, ekipmanın verimliliği ve maliyeti arasında karar vermeye yarayan bir araçtır [5].

Entegre Demir Çelik fabrikalarında, üretim süreci aşamalarından dolayı enerjiye yoğun olarak ihtiyaç bulunmaktadır. Özellikle Yüksek Fırınlarda demir üretim prosesinde yüksek debili yakma havası ihtiyacı bulunmaktadır. Gerekli olan hava ihtiyacını karşılayabilmek için kompresörler ile bu kompresörlere güç aktaran buhar türbinlerine yani Turbo Kompresörlere ihtiyaç duyulmakta dolayısıyla buhar enerjisinin üretilmesi gerekmektedir. Bu üretilen enerjiden verimli bir şekilde yararlanabilmek için termoekonomik analizinin iyi yapılması gerekmektedir. Demir Çelik sektöründe enerji ekonomisinin yanında, ekserji ekonomisinin de değerlendirilmesi önemlidir. Ekserjinin belirlenmesi ile ekserjinin maliyeti ortaya çıkar.

Yapılan bu tez çalışmasında KARABÜK ilinde bulunan bir Demir-Çelik fabrikası bünyesindeki gaz yakıtlı, 100t/h buhar kapasiteli buhar kazanı ve 24,071MW güç üreten bir Turbo Blower içeren enerji santralinin ekserji ve termoekonomik analizleri yapılmıştır. Çalışma sonunda her bir analiz yöntemi için bulunan sonuçlar birbirleri ile karşılaştırılmış ve gerekli öneriler verilmiştir.

BÖLÜM 2

LİTERATÜR ÇALIŞMASI

Bu bölümde geçmiş yıllarda bilim adamları ve akademik personeller tarafından yapılan, bu tez çalışması ile ilgili araştırmalar incelenmiştir. Literatür taraması yapılırken Enerji ve ekserji analizi, verimlilik ve termoekonomik analiz üzerine yapılan araştırmalar incelenmiştir. Bu kapsamda incelenen çalışmalara ulusal ve uluslararası veri tabanları, YÖK Ulusal Tez Merkezi, Google arama motoru ve “<http://www.sciencedirect.com/>” sitesi kullanılarak erişilmiştir. Taramalar sırasında, tez çalışmasına uygun anahtar kelimeler kullanılmıştır.

RosenveDincer (2004), yaptıkları çalışmada ölü hal şartlarını farklı seçerek kömür yakıtlı bir güç santraline enerji ve ekserji analizi uygulamışlardır. Enerji ve ekserji analizini hem tüm sisteme hem de sistemin tüm bileşenlerine ayrı ayrı uygulayarak sonuçları analiz etmişlerdir.

Arslan (2005), yaptığı çalışmada Seyitömer Termik Santrali'ne enerji ve ekserji analizini yapmıştır. Her ekipmana ayrı ayrı enerji ve ekserji dengeleri kurarak ortalama enerji ve ekserji kaybını belirlemiş ve analiz sonuçları arasında bağlantı kurularak düzeltme yapılabilecek ekipmanlar belirlenerek çözüm önerileri sunulmuştur.

Yazıcı ve Selbaş (2011), çalışmasında bazı durumları dikkate almayarak (sürtünme kayıpları, basınç kayıpları, kinetik ve potansiyel enerji vb.) buharlı güç santralinin enerji ve ekserji analizini yapmıştır. 500 MW gücündeki buharlı güç santraline termodinamiğin birinci kanunu uygulanarak enerji denklemleri yazılmış, buhar türbininden gerekli gücün elde edilebilmesi için farklı kazan sıcaklıklarında kazana verilen ısı, güç akışkanının debisi, pompa gücü ve yoğuşturucudan soğutma suyuna aktarılan ısı miktarları ayrı ayrı hesaplanmıştır. Buharlı güç santralinin ana elemanları olan kazan ve yoğuşturucuya termodinamiğin ikinci kanunu uygulanmış,

bu sistem elemanlarının ekserji analizleri yapılmıştır. Sistemin toplam tersinmezliği hesaplanmış ve en fazla tersinmezlik üreten sistem elemanı belirlenmiştir.

Filiz (2012), çalışmasında Kardemir A.Ş.'de bulunan, yakıt olarak demir çelik üretimi sırasında açığa çıkan atık gazlardan kok gazı, konverter gazı ve yüksek fırın gazının yakıldığı gaz yakıtlı bir buhar kazanında enerji ve ekserji analizi yaparak kazanın performansını değerlendirmiştir. Ayrıca buhar kazanını, ekserji maliyet hesabı ve eksergo ekonomik açıdan ekonomik olarak analiz etmiştir. Kazan açık sistem olarak tek bir ünite halinde ele alınmış ve buna göre enerji ve ekserji analizlerini yapmıştır. Kazanın enerji ve ekserji analizi sonucunda, enerji veriminin % 91, ekserji veriminin ise % 46 olduğunu bulmuştur. Enerji kaybının 6445.5 kW, ekserji yıkımının ise 21185.81 kW olduğunu belirlemiştir. Kazanın 11440.33kW'lık iyileştirme potansiyeline sahip olduğunu, kazandaki ekserji yıkımının kazanda kullanılan yakıt oranının ise 0.54 olduğunu tespit etmiştir. Kazanda üretilen buharın ekserji maliyetini 7.33 \$/h, eksergo ekonomik faktörü ise 0.992 olarak bulmuştur.

Kılınç (2012), çalışmasında sanayide enerjinin verimli kullanılması kapsamında bir sanayi kuruluşunun haddehane I ve haddehane II tav fırınlarında enerji verimliliği çalışması yapmıştır. Yapılan çalışmada tav fırınlarında ölçümler yapmış, yapılan ölçüm sonuçlarını her bir tav fırını için ayrı değerlendirmiş, ölçüm sonuçları ve kuruluş verilerini kullanarak kütle ve enerji dengesine yönelik hesaplamalar yapmış ve enerji tasarruf imkanlarını, boyutları ve geri ödeme süreleri ile birlikte belirlemiştir. Bu tasarruf imkanlarının hangi sistem ve/veya işletme tedbirleriyle sağlanabileceği konusunda önerilerde bulunmuştur.

Uysal (2012), çalışmasında Zonguldak Çatalağzı'nda kurulu bulunan 160 MW kapasiteli termik santralin ekserji ve termoeconomik analizi yapılarak performansını değerlendirmiştir. Ekserji analizinde, sistem ve bileşenleri için ekserji verimleri, ekserji yıkımları ve iyileştirme potansiyellerini hesaplamıştır. Termoeconomik analizde ise SPECO ve MOPSA metodlarını kullanmış ve her iki metoda göre termik santralden üretilen elektriğin birim ekserji maliyetini belirlenmiştir. Ekserji analizi sonucunda, sistemde en düşük ekserji verimine sahip ekipmanları sırasıyla %29.95 ile kondenser ve %33.24 ile kazan olduğunu tespit etmiş, sistemin toplam ekserji verimini ise %39.89 olarak bulunmuştur. Sistemde en yüksek ekserji yıkımının sırasıyla 166492.26 kW ile

kazanda ve 11608.33 kW ile kondenserde meydana geldiğini tespit etmiştir. Sistemdeki toplam ekserji yıkımı ise 217773.65 kW olarak bulunmuş. Sistemde, 111150.23 kW ile kazan ve 8131.64 kW ile kondenserin en yüksek iyileştirme potansiyeline sahip ekipmanlar olduğunu belirlenmiştir. Sistemin toplam iyileştirme potansiyelini ise 130903.74 kW olarak bulmuştur. Santralde üretilen elektriğin birim ekserji maliyeti, SPECO metoduna göre 12.14 \$/GJ olarak bulunurken, MOPSA metoduna göre ise 14.06 \$/GJ olarak bulunmuştur. Üretilen elektriğin birim ekserji maliyeti için farklı sonuçlar elde edilmesinin nedenleri; her iki metodun farklı prensiplere sahip olması ve her iki metod için yapılması gereken farklı kabullerden kaynaklandığını belirlemiştir.

Coşkun ve arkadaşları (2013), yaptıkları çalışmada Çayırhan Termik Santrali'nde enerji ve ekserji analizleri yapmışlardır. Elde edilen termodinamik özellikler yardımıyla Termik Santral'in ısı ve ikinci yasa verimleri sırasıyla %38 ve %53 olarak bulunmuşlardır. Termik Santral'de en fazla ekserji kayıplarının sırasıyla; kazan, türbin grupları, kondenser, ısıtıcı grup ve pompa gruplarında meydana geldiğini belirtmişlerdir.

Ergün (2014), çalışmasında Çanakkale ilinde, Ayvacık ilçesine, Tuzla köyü mevkiinde bulunan jeotermal kaynaklı bir ORÇ santralinin enerji-ekserji ve termoeconomik analizleri yapılmıştır. Yapılan enerji analizi sonucunda, sistemdeki en yüksek kayıp değeri 24,41 MW ile kondenserde tespit edilmiştir. Ardından, 9,58 MW ile Türbin, 8,95 MW ile ön ısıtıcı, 6,71 MW ile buharlaştırıcı ve 3,28 MW ile reküperatör gelmektedir. Sistemin ekserji analizi sonuçlarına göre ise en yüksek ekserji kaybı, 3,93 MW ile buharlaştırıcıda tespit edilmiştir. Ardından 2,64 MW ile organik türbin, 1,69 MW ile reküperatör, 0,868 MW ile kondenser 0,308 MW ile organik akışkan pompası ve 0,306 MW ile ön ısıtıcı gelmektedir. Sistemin enerji ve ekserji verimleri 25°C referans sıcaklıkta, sırasıyla % 12 ve % 49 olarak hesaplanmıştır. Ayrıca sisteme SPECO (özellik ekserji) metoduna göre yapılan termoeconomik analiz sonucunda, santralde üretilen elektriğin birim maliyeti 15,06 \$/GJ olarak tespit edilmiştir.

Filiz vd. (2014), çalışmasında Kardemir'de bulunan, yakıt olarak demir çelik üretimi sırasında açığa çıkan atık gazlardan kok gazı, konverter gazı ve yüksek fırın gazının

yakıldığı gaz yakıtlı bir buhar kazanının enerji ve ekserji analizi yardımıyla performansını değerlendirmiştir. Kazan açık sistem olarak tek bir ünite halinde ele alınmış ve buna göre enerji ve ekserji analizlerini yapmıştır. Kazanın enerji ve ekserji analizi sonucunda, enerji veriminin % 91, ekserji veriminin ise % 46 olduğu bulunmuştur. Enerji kaybının 6445,5 kW, ekserji yıkımının ise 21185,81 kW olduğu belirlenmiştir.

Taner ve Sivrioğlu(2014), yaptıkları çalışmada Türkiye'nin en büyük kent gre tesislerinden olan Konya Çumra şekerfabrikası bu çalışmada örnek olarak ele alınmıştır. Konya Çumra şeker fabrikasının enerji ve ekserji analiz sonuçlarına göre termoeconomik analiz uygulanarak, fabrika enerji ekonomisi için ne yapılması gerektiği ortaya çıkarılmıştır. Fabrikanın uygulanan termoeconomik eşitlik (ekserji maliyet dengesiz yöntemi) yöntemi ile karlılığı ortaya çıkarılmış ve değişik senaryolar düzenlenmiştir.

Ünal (2014), çalışmasında Türkiye'de çalışmakta olan Tunçbilek Termik Santrali, ünite ekipmanlarının her birinin termodinamik analizi yapılarak değerlendirilmiştir. Termik santral ünitesinde belirlenen yirmi yedi düğüm noktasının termodinamik özelliklerine bağlı olarak enerji ve ekserji değerleri hesaplanmıştır. Bulunan sonuçlar ile ekipmanların ayrı ayrı enerji ve ekserji dengeleri kurularak ortalama kayıp ve tahrip olan enerji ve ekserjiler hesaplanmış, kayıp enerji oranı ve yok olan ekserji oranı bulunmuştur. Çalışmanın sonuçları grafik olarak verilmiştir. Buna göre, en yüksek enerji kaybı oranı ve en yüksek ekserji kaybı oranı olan ekipman sırasıyla %71,1 ve %79,5 ile kazan olarak bulunmuştur. Elde edilen termodinamik özellikler yardımıyla Termik Santral'in ısı ve ikinci yasalarıyla sırasıyla %32,3 ve %75,1 olarak bulunmuştur.

BÖLÜM 3

BUHARLI GÜÇ SANTRALLERİNE EKSERJİ ANALİZİNİN UYGULANMASI VE TERMOEKONOMİK ANALİZ

Buharlı güç santralini oluşturan komponentler, proje aşamasında boyutlandırılırken; santralin gücü, güç akışkanının debisi, pompa gücü ve verimi, kazan verimi, türbin verimi, kondenserden atılan ısının miktarı gibi önemli değerler göz önüne alınarak boyutlandırma hesapları yapılmalıdır. Bir buharlı güç santralindeki enerji akışı termodinamiğin birinci ve ikinci yasalarıyla belirlenebilir. Ayrıca halihazırda işleyen santrallere de enerji ve ekserji analizi yapılarak kayıpların nerelerde olduğu tespit edilebilir. Termodinamiğin birinci kanunu enerjinin niceliğinden, ikinci kanunu ise enerjinin niteliğinden bahseder. Birinci kanun analizi enerji analizi, ikinci kanun analizi ise ekserji analizi olarak adlandırılmaktadır.

Kullanılan yakıtın enerjisinin, elde edilmek istenilen enerji türüne en yüksek oranda dönüştürülmesi istenir. Enerji dönüşümünün yüzde yüz olması mümkün değildir. Çevre faktörleri ve dönüşümü gerçekleştiren sistemlerin verimleri düşünüldüğünde yakıtın enerjisinin tamamının mekanik ya da ısı enerjisine dönüştürülmesi imkânsızdır. Bu durumda yakıttan elde edilebilecek maksimum enerji (ekserji) sınırlıdır. Bütün enerji dönüşümleri tersinmezliklerin sebep olduğu bu sınırlar dâhilinde gerçekleşmektedir. Enerji üretim sistemlerinin ve bu sistemleri oluşturan elemanların bu sınırlara göre değerlendirilmesi yapılmalıdır. Bu şekilde yapılan analiz yöntemi ekserji analizi olarak adlandırılmıştır. Ekserji analizi ile sistem ya da komponentlerin ekserji bozunumu(yıkımı) veya ekserji kaybından kaynaklanan tersinmezliklerin miktarı ve yerleri tespit edilir [6].

Başarılı bir termal sistem tasarımı; ekonomi, teknoloji ve yasal düzenlemeler ile ilgili olan çeşitli kabulleri ve tahminleri dikkate alarak ve mühendislik ekonomisi tekniklerini kullanarak projede bulunan başlıca maliyetlerin tahminini gerektirir.

Ekonomik analizin amacı, ekserji değerine sahip olmayan parametrelerin termoekonomik analizde kullanılması gereken maliyet akımlarını hesaplamaktır[5].

3.1. SİSTEM TANIMI VE EKİPMANLARIN BELİRLENMESİ

3.1.1. Sistem Tanımı ve Akış Şeması

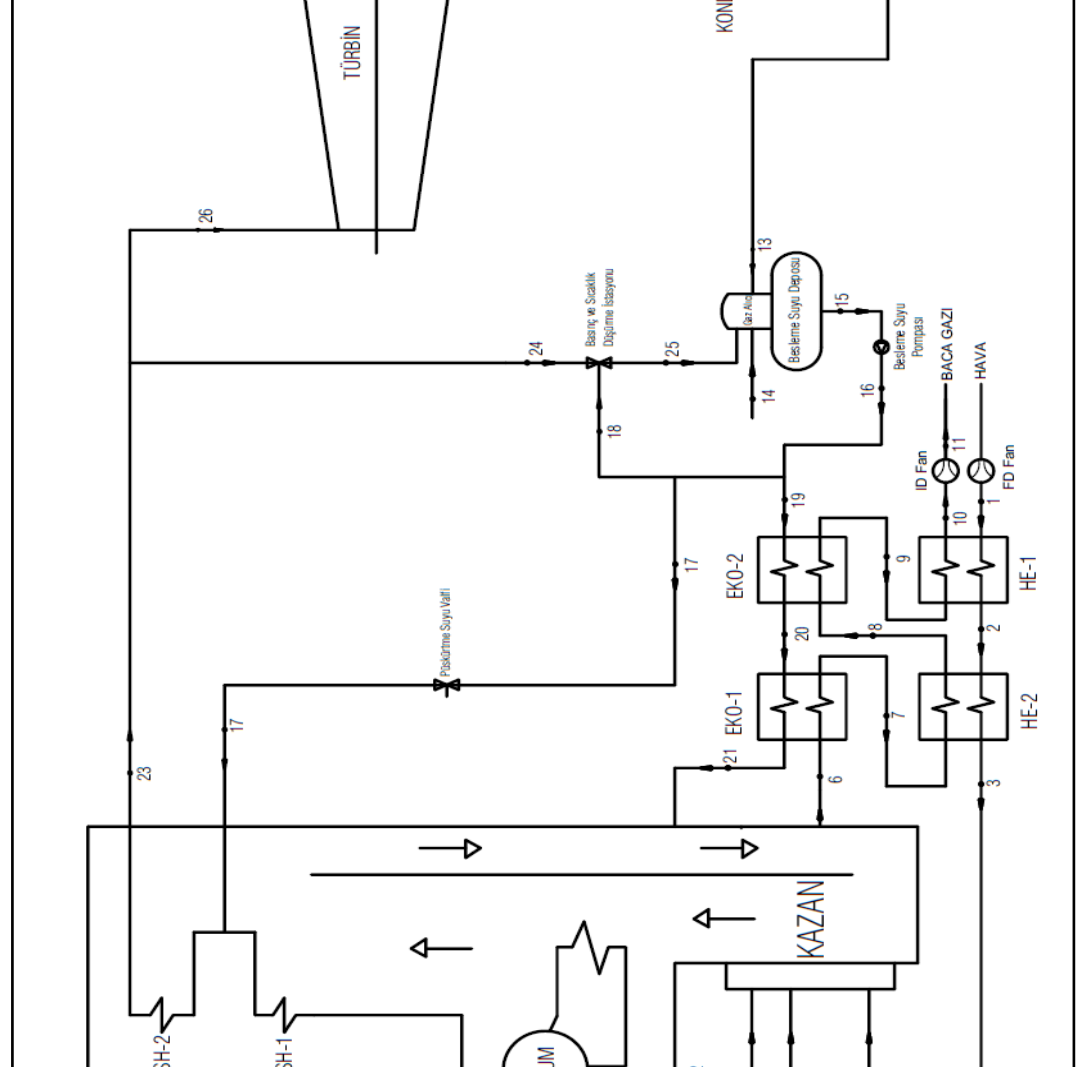
Bu çalışmada incelenen sistem KARABÜK ilinin en büyük sanayi kuruluşu olan bir Demir-Çelik fabrikası bünyesinde bulunan, yakıt olarak demir üretim süreci sırasında ortaya çıkan yüksek fırın gazı ve kok gazını kullanan, ana ekipman olarak 100t/h buhar kapasiteli buhar kazanı ve maksimum 24,071MW güç üreten Turbo Blower içeren bir enerji santralidir.

Santralin kuruluş amacı 2014 yılında yatırımı tamamlanan 5 Nolu Yüksek Fırın tesisindeki demir üretimi için gerekli olan yüksek debili ve basınçlı yakma havasını temin etmektir. Bu nedenle prosesin en sonundaki ekipman bir buhar türbinine akuple olan kompresör diğer adıyla “Blower” dir.



Şekil 3.1. Tesisin genel görünüşü.

İlk olarak incelenen ve Şekil 3.1’de genel görünüşü verilen sistemin akış şeması oluşturulmuş olup Şekil 3.2’de gösterilmektedir.



Şekil 3.2. Sistem akış şeması.

Ardından projeler, ölçüm sonuçları ve tesis çalışma parametrelerine dayanarak sistem üzerindeki her düğüm noktasındaki akışkanın termodinamik değerleri belirlenmiş olup Çizelge 3.1’de gösterilmiştir.

Çizelge 3.1. Santral’e ait belirlenen düğüm noktaları ve değerleri.

DÜĞÜM NOKTASI	AKIŞKAN TİPİ	SICAKLIK	BASINÇ	ENTALPİ	ENTROPİ	DEBİ	
		T (K)	P (kPa)	h (kJ/Kg - kJ/Nm ³)	S (kJ/KgK ^o)	m (Nm ³ /s)	m (kg/s)

1	HAVA	298,15	104,325	424,17	3,8697	-	24,382
2	HAVA	409,55	104,075	536,71	4,1911	-	17,697
3	HAVA	569,05	103,825	700,79	4,5299	-	12,704
4	KOK GAZI	303,15	2,450	16555(kj/Nm3)	-	0,639	0,345
5	Y.F. GAZI	303,15	3,430	3111(kj/Nm3)	-	24,904	31,130
6	BACA GAZI	874,35	101,149	-	-	46,389	-
7	BACA GAZI	630,15	100,985	-	-	46,389	-
8	BACA GAZI	568,15	101,889	-	-	46,389	-
9	BACA GAZI	472,25	100,751	-	-	46,389	-
10	BACA GAZI	423,15	100,655	-	-	46,389	-
11	BACA GAZI	423,15	108,960	-	-	46,389	-
12	SU	313,15	40,000	167,88	0,57225		24,444
13	SU	313,15	920,000	167,56	0,57239		24,444
14	SU	293,15	300,000	84,14	0,29623		0,556
15	SU	423,15	500,000	632,19	1,84180		28,611
16	SU	423,15	8500,000	637,17	1,83300		28,611
17	SU	423,15	8500,000	637,17	1,83300		1,389
18	SU	423,15	8500,000	637,17	1,83300		0,278
19	SU	423,15	8500,000	637,17	1,83300		26,944
20	SU	463,15	7950,000	810,55	2,22580		26,944
21	SU	553,15	7400,000	1236,30	3,06510		26,944
22	BUHAR	573,15	7400,000	2819,70	5,87860		0,556
23	BUHAR	778,15	6500,000	3429,30	6,85540		27,778
24	BUHAR	778,15	6500,000	3429,30	6,85540		3,333
25	BUHAR	453,15	400,000	2818,60	7,08090		3,611
26	BUHAR	778,15	6500,000	3429,30	6,85540		24,444
27	BUHAR	315,65	8,315	2578,86	8,21734		24,444
28	SU	303,15	280,000	125,99	0,43667	1,369	1369,444
29	SU	310,55	250,000	156,88	0,53747	1,369	1369,444

3.1.2. Sistem Ekipmanlarının Tanıtımı

Yukarıda bahsi geçenve nihai ürün olan havanın üretilmesi için tesis edilmiş olan ekipmanların listesi Çizelge3.2’de gösterilmiştir.

Çizelge3.2. Ekipman listesi.

No	Ekipman Adı
----	-------------

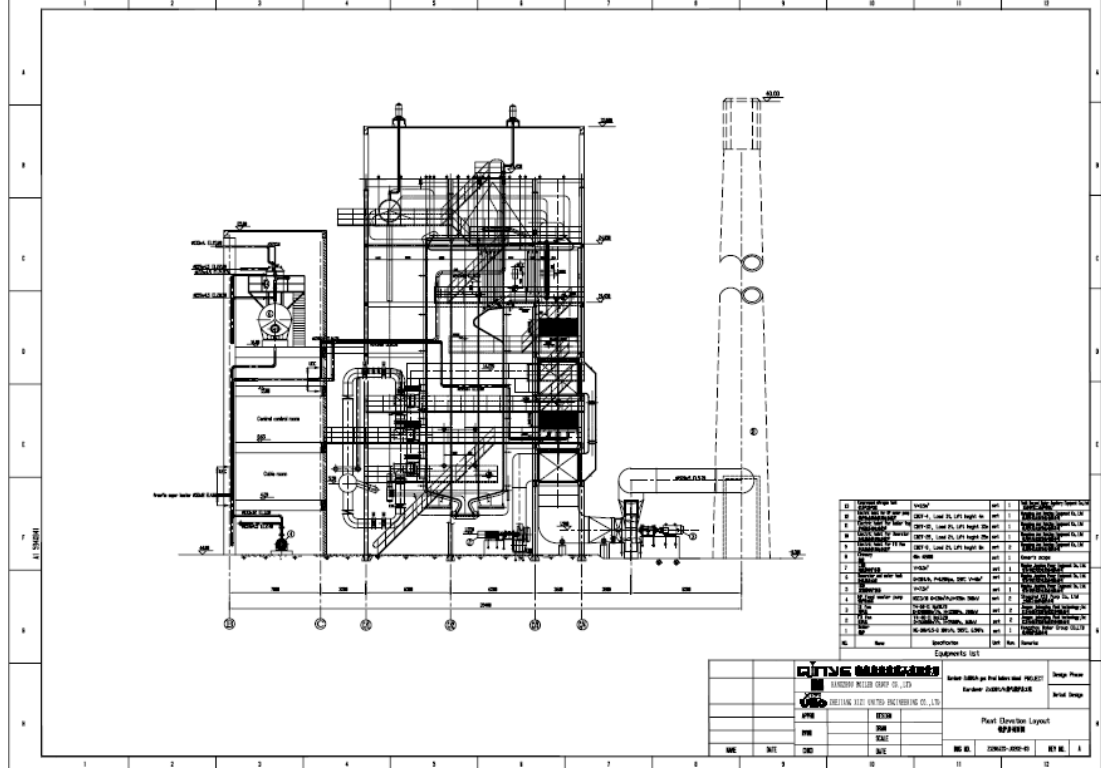
1	Buhar Kazanı
2	Türbin
3	Kondenser
4	Kondense pompası
5	Besleme deposu ve degazör
6	Besleme suyu pompası
7	Basınç ve sıcaklık düşürme istasyonu
8	Ekonomizer-1
9	Ekonomizer-2
10	Hava Ekonomizeri-1
11	Hava Ekonomizeri-2
12	Aspiratör (ID fan)
13	Vantilatör (FD fan)

3.1.2.1. Buhar Kazanı

Bu çalışmada incelenen buhar kazanı, su borulu ve gaz yakıtla çalışan bir kazan olup, saatte 505 °C sıcaklık ve 65 bar basınçta 100 t/h buhar üretecek kapasiteye sahip bir kazandır. Buhar kazanı, kok gazı ve yüksek fırın gazı yakan gaz yakıtlı bir kazan olup, iki geçişli ve tek domlu olarak dizayn edilmiştir. Yanma 6 adet gaz brülörü ile sağlanmaktadır. Gaz brülörlerinin ilk ateşlemesi propan gazı ile yapılmaktadır. Kazanın buharlaştırıcı boruları tabii sirkülasyon sistemi ile çalışmaktadır. Kazanda 1. ve 2. geçiş bölgelerine yerleştirilmiş iki grup kızdırıcı bölgesi bulunmaktadır. Ekonomizerler baca gazının ters istikametine, kazanın ikinci geçiş bölgesine yerleştirilmiştir.

Kazan domu, silindirik yapıda ve kazan destek yapısına rotları asılı vaziyettedir. Tek domlu olarak dizayn edilmiş ve siklonlar, perde ayırıcıları ile domun dâhili aksesuarları, kızdırıcı çıkışında saf ve kuru buhar elde etmeyi sağlayacak kapasitede yapılmıştır. Gerekliğinde domun üzerinden su ve buhar numunesi alınabilmektedir. Kazan domunda, su-buhar fazının seviyesi, yakından ve uzaktan gözlemlenebilmektedir. Kazana, operatör kumanda odasından direkt olarak müdahale edebilmektedir. Domun asıl görevi kazana su sağlamaktır [7].

Şekil 3.3 ve Şekil 3.4’de buhar kazanı ve yardımcı ekipmanlarına ait yerleşim planı ve genel görünüşü görülmektedir.



Şekil 3.3. Buhar kazanı detay resmi.



Şekil 3.4. Buhar kazanı genel görünüşü.

3.1.2.2. Buhar Türbini

Buhar türbininin görevi buhar içinde bulunan termik enerjiyi mekanik enerjiye çevirmektir.

Türbin şu ana yapı gruplarından oluşur;

- Türbin gövdesi,
- Ön ve arka kaplama,
- Bıçaklarla birlikte türbin rotoru,
- Türbin bıçağı taşıyıcıları,
- Sızdırmaz kaplamalar,
- Acil kapatma valfleri,
- Ayar valfleri ve bunların ayar motorları

Türbin bir ana çerçeve üzerinde, türbin sisteminin diğer bileşenleriyle birlikte komple montajlı olup bir rijit kaplin vasıtasıyla kompresör grubuna akuple edilmiştir. Türbin ve kompresör grubu Şekil 3.5’de görülmektedir.

505 °C sıcaklık ve 65 bar basınçtaki buhar enerjisini, buhar türbinin ilk genişleme alanından rotor üzerindeki kanatlara verir ve yoğunlaşma basıncına kadar genişir. Çürük buhar türbin gövdesinden kondensere geçer.



Şekil 3.5. Buhar türbini ve kompresör genel görünüşü.

3.1.2.3. Kondenser

Türbin gövdesine akuple bir ekipman olup görevi türbin gövdesinden gelen çürük buharı soğutma suyu yardımıyla yoğuşturarak suya çevirmektir.



Şekil 3.6. Kondenser.

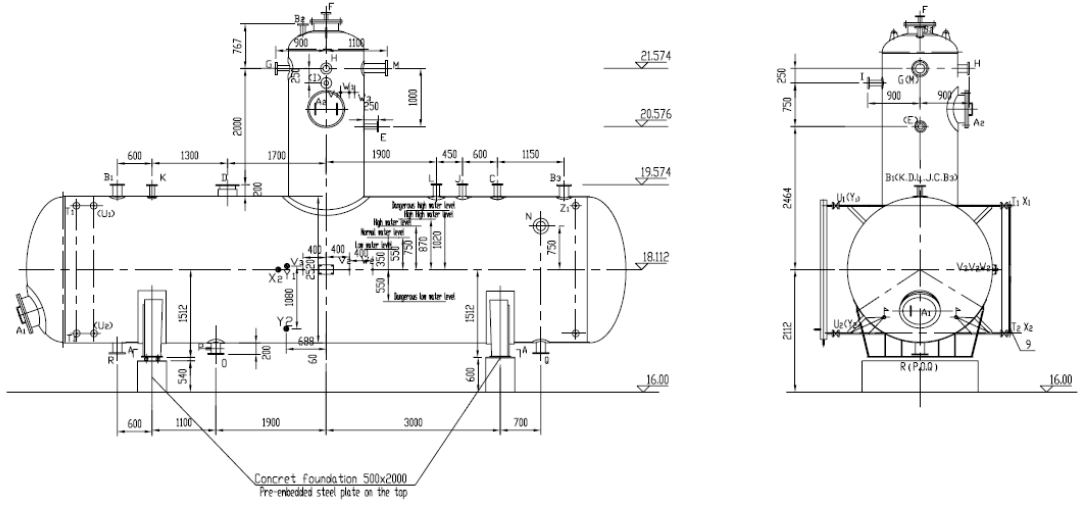
3.1.2.4. Kondense Pompası

Kondense pompasının görevi, kondenserde yoğuşmuş olan suyu emerek kazan besleme suyu deposuna göndermektir.

3.1.2.5. Besleme Deposu ve Degazör

Besleme deposu ve degazör ünitesinin görevi, buhar kazanının ihtiyacı olan kazan besleme suyunu depolamak, bu suyu kazan ekonomizer girişi öncesi istenen giriş sıcaklığına getirmek ve su içerisinde istenmeyen ve çözünmemiş gazları sistemden uzaklaştırmaktır.

İncelenen sistemdeki besleme deposu ve gaz alıcı sisteminin detay resmi ve genel görünüşü sırasıyla Şekil 3.7 ve Şekil 3.8’de gösterilmiştir.



Şekil 3.7. Besleme deposu ve degazör detay resmi.



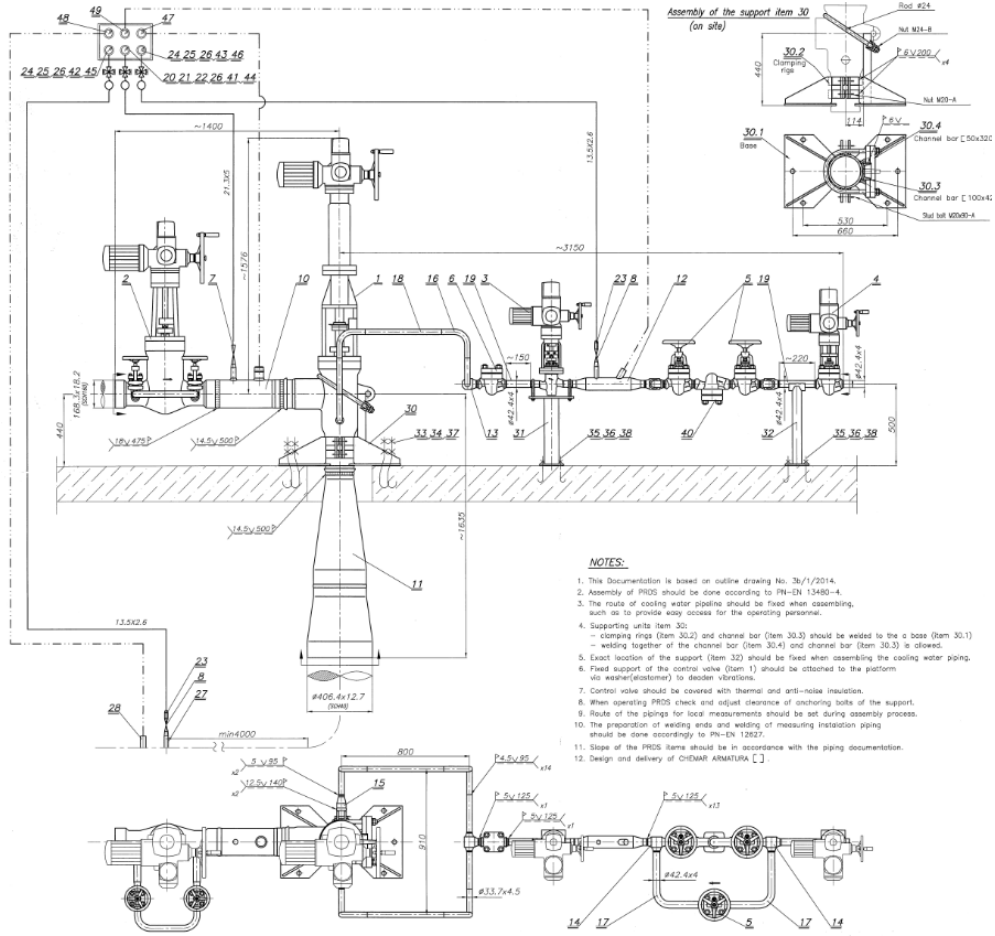
Şekil 3.8 Besleme deposu ve degazör genel görünüşü.

3.1.2.6. Besleme Suyu Pompası

Besleme suyu pompasının görevi, kazanın buhar üretimi ihtiyacı olan basınçlı suyu besleme deposundan emerek sisteme göndermektir.

3.1.2.7. Basınç ve Sıcaklık Düşürme İstasyonu

Şekil 3.9’da detay resmi görülen düşürücü istasyonun incelediğimiz sistemdeki görevi, kazan çıkış kollektöründeki yüksek sıcaklık ve yüksek basınçlı buharı, yardımcı ekipmanlar ve sistemlerin ihtiyacı olan sıcaklık ve basınca düşürmektir. İstasyon çıkışındaki buharın büyük bir kısmı besleme deposundaki suyun ısıtılması için kullanılmaktadır.



Şekil 3.9. Basınç ve sıcaklık düşürme istasyonu detay resmi.

3.1.2.8. Ekonomizer

Ekonomizer, besleme suyu depolarından aldığı 150°C ve 85 bar basınçtaki suyu baca gazı yardımı ile 280°C’ye ısıtarak domaya veren ekipmandır. İncelenen sistemde 2 grup

ekonomizer grubu mevcuttur. Şekil 3.10’da ekonomizerlerin genel görünüşü verilmiştir.



Şekil 3.10.Ekonomizer ve hava ekonomizerlerinin genel yerleşimi.

3.1.2.9. Hava Ekonomizeri

Hava ekonomizerleri, yakma havasının ön ısıtmaya tabii tutulduğu ekipmandır. Vantilatörün dışarıdan emdiği hava ekolarından geçerek baca gazı ısıyla ön ısıtma yapıldıktan sonra yakma havası olarak kullanılır. Hava ekonomizerleri, baca gazı hattı üzerinde borulardan oluşan bir ekipmandır. Boruların içinden baca gazı geçerken etraftan da hava gazı geçer. Boruları yalayarak geçen baca gazının sahip olduğu enerjinin bir kısmı borular aracılığıyla yakma havasına aktarılır.

İncelenen tesiste iki grup hava ekonomizerleri mevcut olup genel yerleşimi Şekil 3.10'da, genel görünüşü Şekil 3.11'de gösterilmiştir.



Şekil 3.11. Hava ekonomizerlerinin genel görünüşü.

3.1.2.10. Aspiratör (ID fan)

Kazanda yanma sonucu oluşan baca gazlarını emerek bacadan atılmasını sağlayan ekipmandır. Aspiratör, 150°C sıcaklıktaki havayı emerek dışarıya atar.



Şekil 3.12. Aspiratör genel görünüşü.

3.1.2.11. Vantilatör (FD fan)

Vantilatörler, kazana yakma havasını sağlayan ekipmanlardır. Dışarıdan temiz havayı emerek kazana sevk ederler. Sistemimizde vantilatörlerin kazana gönderdiği hava, 6 yakıcıya eşit olarak dağılmaktadır.



Şekil 3.13.Vantilatör genel görünüşü.

BÖLÜM 4

ÖLÇÜM VE HESAPLAMALAR

4.1. YAKIT BİLEŞENLERİNİN HACİMSEL MOLAR ORANLARININ ÖLÇÜLMESİ

Kazanda yakıt olarak kullanılan kok gazı ve yüksek fırın gazından alınan numuneler ile yapılan analiz sonuçları sırasıyla Çizelge 4.1 ve Çizelge 4.2’de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Kok gazı analiz değerleri.

Kok Gazı Analiz Değerleri Hacimsel (molar) Oranları (%)	
CO	6,95
CO ₂	3,02
H ₂	57,58
CH ₄	22,18
N ₂	7,14
O ₂	0,36
C ₂₊	2,77
Alt Isıl Değer (kcal/kg)	16555
Üst Isıl Değer (kcal/kg)	18711

Çizelge 4.2. Yüksek fırın gazı analiz değerleri.

Yüksek Fırın Gazı Analiz Değerleri Hacimsel (molar) Oranları (%)	
CO ₂	18,08
CO	23,12
H ₂	1,74
N ₂	57,06
Alt Isıl Değer (kcal/kg)	3111
Üst Isıl Değer (kcal/kg)	3144

4.2. BACA GAZI BİLEŞENLERİNİN MOLAR DEBİLERİNİN BELİRLENMESİ

Buhar kazanındaki yanmanın tam olarak gerçekleştiği, baca gazı bileşenlerinin CO₂, H₂O, O₂ ve N₂ olduğu kabul edilerek baca gazı bileşenlerinin molar debileri belirlenmiştir. Baca gazının sıcaklığı 150°C olup, 2 adet FD fan ile atmosfere atılmaktadır. Kazan dizayn firmasının verdiği değerlere göre baca gazının hacimsel debisi, 46,38 m³/s olarak belirlenmiştir. İdeal gaz denkleminde baca gazının molar debisi aşağıdaki şekilde bulunmuştur.

$$\dot{n}_{\text{bacagaz}_1} = \frac{P_{\text{bacagaz}_1} \times \dot{V}_{\text{bacagaz}_1}}{\bar{R} \times T_{\text{bacagaz}_1}} = \frac{108,955 \times 46,38}{8,314 \times 423,15} = 1,436 \text{ kmol/s} \quad (4.1)$$

Kazanın baca gazı çıkışındaki analizör sayesinde çıkan gazların miktarları ölçülebilmektedir. Baca gazı analizöründeki oksijen değeri % 2 olarak okunmuştur. Baca gazı içerisindeki oksijenin molar debisi, hacimsel oranın molar orana eşitliğinden,

$$\frac{\dot{V}_{O_2}}{V_{\text{bacagaz}_1}} = 0,02 \Rightarrow \frac{\dot{V}_{O_2}}{V_{\text{bacagaz}_1}} = \frac{\dot{n}_{O_2}}{n_{\text{bacagaz}_1}} \Rightarrow \frac{\dot{n}_{O_2}}{1,436} = 0,02 \Rightarrow \dot{n}_{O_2} = 0,02872 \text{ kmol/s} \quad (4.2)$$

olarak bulunmuştur.

Baca gazı ölçüm sonuçlarında elde edilen baca gazı bileşenlerinin molar oranlarına göre her bileşenin molar debileri hesaplanmış ve Çizelge 4.3'de verilmiştir.

$$\frac{\dot{V}_{CO_2}}{V_{\text{bacagaz}_1}} = 0,2513 \Rightarrow \frac{\dot{V}_{CO_2}}{V_{\text{bacagaz}_1}} = \frac{\dot{n}_{CO_2}}{n_{\text{bacagaz}_1}} \Rightarrow \frac{\dot{n}_{CO_2}}{1,436} = 0,2513 \Rightarrow \quad (4.3)$$

$$\dot{n}_{CO_2} = 0,3608 \text{ kmol/s}$$

$$\frac{\dot{V}_{H_2O}}{V_{\text{bacagaz}_1}} = 0,0178 \Rightarrow \frac{\dot{V}_{H_2O}}{V_{\text{bacagaz}_1}} = \frac{\dot{n}_{H_2O}}{n_{\text{bacagaz}_1}} \Rightarrow \frac{\dot{n}_{H_2O}}{1,436} = 0,0178 \Rightarrow \quad (4.4)$$

$$\dot{n}_{H_2O} = 0,0255 \text{ kmol/s}$$

$$\frac{\dot{V}_{N_2}}{V_{\text{bacagaz}_1}} = 0,7108 \Rightarrow \frac{\dot{V}_{N_2}}{V_{\text{bacagaz}_1}} = \frac{\dot{n}_{N_2}}{n_{\text{bacagaz}_1}} \Rightarrow \frac{\dot{n}_{N_2}}{1,436} = 0,7108 \Rightarrow \quad (4.5)$$

$$\dot{n}_{N_2} = 1,0207 \text{ kmol/s}$$

Çizelge4.3. Baca gazı bileşenlerinin molar debileri ve molar oranları.

Baca gazı bileşenleri	Molar oranı, y_i	Molar debi, n_i (kmol/s)
O ₂	0,02	0,02872
CO ₂	0,2513	0,3608
H ₂ O	0,0178	0,0255
N ₂	0,7108	1,0207
Toplam	1	1,436

4.3.BACA GAZI ENTALPİSİNİN BELİRLENMESİ

Baca gazının entalpisi baca gazının özgül ısısına göre belirlenmiştir. Baca gazı bileşenlerinin entalpi hesabı için 150 °C sıcaklığa göre özgül ısı kapasiteleri termodinamik tablodan alınmış, ardından baca gazı entalpisi aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

$$\bar{C}_{p,\text{bacagaz}_1} = (\bar{h} - \bar{h}_0) / (T - T_0) \quad (4.6)$$

$$\bar{C}_{p,\text{bacagaz}_1} = y_{CO_2} \times \bar{C}_{p,CO_2} + y_{H_2O} \times \bar{C}_{p,H_2O} + y_{O_2} \times \bar{C}_{p,O_2} + y_{N_2} \times \bar{C}_{p,N_2} \quad (4.7)$$

$$\bar{C}_{p,\text{bacagaz}_1} = 0,2513 \times 40,84 + 0,178 \times 33,75 + 0,02 \times 29,1 + 0,7108 \times 29,51$$

$$\bar{C}_{p,\text{bacagaz}_1} = 32,42155 \text{ kJ/kmolK}$$

$$h - h_0 = 32,42 \times (423,15 - 298,15) = 4052,625 \text{ kJ/kmol}$$

4.4.BACA GAZI EKSERJİSİNİN BELİRLENMESİ

Baca gazı molar oranları, molar debileri ve standart molar kimyasal ekserjileri Çizelge 4.4' de verilmiştir.

Çizelge4.4. Baca gazı bileşenlerinin molar debileri ve kimyasal ekserjileri.

Baca gazı bileşenleri	Molar oranı, y_i	Molar debi, $n_i(\text{kmol/s})$	Standart molar kimyasal ekserjisi, $(\bar{e}^{kim})(\text{kJ/kmol})$
O ₂	0,02	0,02872	3970
CO ₂	0,2513	0,3608	20140
H ₂ O	0,0178	0,0255	11710
N ₂	0,7108	1,0207	720
Toplam	1	1,436	

Bu çizelgedeki değerler kullanılarak aşağıda verilen molar ekserji eşitliği yardımıyla baca gazının kimyasal ekserjisi hesaplanmıştır.

$$\bar{e}x^{kim} = \bar{R}T_0 \sum y_i \ln\left(\frac{y_i}{y}\right) = \sum_i y_i \bar{e}^{kim,i} + \bar{R}T_0 \sum_i y_i \ln y_i \quad (4.8)$$

$$\begin{aligned} (\bar{e}x^{kim})_{baca\ gazı} &= [(0,02 \times 3970) + (0,2513 \times 20140) + (0,0178 \times 11710) + \\ & (0,7108 \times 720)] + 8,314 \times 298,15 \times [0,02 \times \ln(0,02) + 0,2513 \times \ln(0,2513) + \\ & 0,0178 \times \ln(0,0178) + 0,7108 \times \ln(0,7108)] \end{aligned}$$

$$(\bar{e}x^{kim})_{baca\ gazı} = 4367,557593 \text{ kJ/kmol}$$

Baca gazının fiziksel ekserjisi aşağıda verilen molar ekserji eşitliğine göre hesaplanmıştır.

$$(\bar{e}x^{fiz})_{baca\ gazı} = \bar{C}_{p,bacagazı} \times \left[(T - T_0) - T_0 \ln\left(\frac{T}{T_0}\right) \right] + \bar{R}T_0 \ln\left(\frac{P}{P_0}\right) \quad (4.9)$$

$$(\bar{e}x^{fiz})_{\text{bac}a \text{ gaz}1} = 32,42155 \times \left[(423,15 - 298,15) - 298,15 \times \ln\left(\frac{423,15}{298,15}\right) \right] + 8,314 \times 298,15 \times \ln\left(\frac{108,96}{101,325}\right)$$

$$(\bar{e}x^{fiz})_{\text{bac}a \text{ gaz}1} = 848,2476 \text{ kJ/kmol}$$

Baca gazının toplam ekserjisi;

$$(\dot{E}x^{top})_{\text{bac}a \text{ gaz}1} = \dot{n}_{\text{bac}a \text{ gaz}1} \times (\bar{e}x^{kim} + \bar{e}x^{fiz})_{\text{bac}a \text{ gaz}1} \quad (4.10)$$

$$(\dot{E}x^{top})_{\text{bac}a \text{ gaz}1} = 1,436 \times (4367,557593 + 848,2476)$$

$$(\dot{E}x^{top})_{\text{bac}a \text{ gaz}1} = 7489,896 \text{ kW}$$

olarak hesaplanmıştır.

Bu değeryayı zamanda incelediğimiz sistemdeki 11 No'lu düğüm noktasının ekserjisi demektir. Aynı baca gazı sistemimizde su ve hava ekonomizerlerinden de geçtiği için ekonomizerlerin giriş ve çıkış noktalarındaki ekserjilere de ihtiyacımız vardır. Baca gazının sistem içerisindeki diğer düğüm noktalarındaki ekserjileri de aynı yöntem kullanılarak hesaplanmış ve Çizelge 4.5'de gösterilmiştir.

Çizelge4.5. Baca gazının düğüm noktalarındaki ekserji değerleri.

Düğüm Noktası	Basınç (°C)	Sıcaklık (kPa)	$(\bar{e}x^{kim})$ (kW)	$(\bar{e}x^{fiz})$ (kW)	$(\bar{E}x^{top})$ (kW)
6	601,2	101,149	4367,557	8276,971	18157,543
7	357,0	100,985	4367,557	3521,601	11328,831
8	295,0	101,889	4367,557	2534,737	9911,695
9	199,1	100,751	4367,557	1184,779	7973,155
10	150,0	100,655	4367,557	651,722	7207,685

6Noktası için ekserji değeri;

6 noktasının fiziksel ekserjisi aşağıda verilen eşitliğe göre hesaplanmıştır.

$$(\bar{e}x^{fiz})_6 = \bar{C}_{p,bacagaz_1} \times \left[(T_6 - T_0) - T_0 \ln\left(\frac{T_6}{T_0}\right) \right] + \bar{R}T_0 \ln\left(\frac{P_6}{P_0}\right) \quad (4.11)$$

$$(\bar{e}x^{fiz})_6 = 32,42155 \times \left[(874,35 - 298,15) - 298,15 \times \ln\left(\frac{874,35}{298,15}\right) \right] + 8,314 \\ \times 298,15 \times \ln\left(\frac{101,149}{101,325}\right)$$

$$(\bar{e}x^{fiz})_6 = 8276,971 \text{ kJ/kmol}$$

6 noktasının toplam ekserjisi;

$$(\dot{E}x^{top})_6 = \dot{n}_{bacagaz_1} \times (\bar{e}x^{kim} + \bar{e}x^{fiz})_6 \quad (4.12)$$

$$(\dot{E}x^{top})_6 = 1,436 \times (4367,557 + 8276,971)$$

$$(\dot{E}x^{top})_6 = 18157,543 \text{ kW}$$

olarak hesaplanmıştır.

7Noktası için ekserji değeri;

7 noktasının fiziksel ekserjisi aşağıda verilen eşitliğe göre hesaplanmıştır.

$$(\bar{e}x^{fiz})_7 = \bar{C}_{p,bacagaz_1} \times \left[(T_7 - T_0) - T_0 \ln\left(\frac{T_7}{T_0}\right) \right] + \bar{R}T_0 \ln\left(\frac{P_7}{P_0}\right) \quad (4.13)$$

$$(\bar{e}x^{fiz})_7 = 32,42155 \times \left[(630,15 - 298,15) - 298,15 \times \ln\left(\frac{630,15}{298,15}\right) \right] + 8,314 \\ \times 298,15 \times \ln\left(\frac{100,985}{101,325}\right)$$

$$(\bar{e}x^{fiz})_7 = 3521,601 \text{ kJ/kmol}$$

7 noktasının toplam ekserjisi;

$$(\dot{E}x^{top})_7 = \dot{n}_{bacagazi} \times (\bar{e}x^{kim} + \bar{e}x^{fiz})_7 \quad (4.14)$$

$$(\dot{E}x^{top})_7 = 1,436 \times (4367,557 + 3521,601)$$

$$(\dot{E}x^{top})_7 = 11328,831 \text{ kW}$$

olarak hesaplanmıştır.

8Noktası için ekserji değeri;

8 noktasının fiziksel ekserjisi aşağıda verilen eşitliğe göre hesaplanmıştır.

$$(\bar{e}x^{fiz})_8 = \bar{C}_{p,bacagazi} \times \left[(T_8 - T_0) - T_0 \ln\left(\frac{T_8}{T_0}\right) \right] + \bar{R}T_0 \ln\left(\frac{P_8}{P_0}\right) \quad (4.15)$$

$$\begin{aligned} (\bar{e}x^{fiz})_8 &= 32,42155 \times \left[(538,15 - 298,15) - 298,15 \times \ln\left(\frac{568,15}{298,15}\right) \right] + 8,314 \\ &\quad \times 298,15 \times \ln\left(\frac{101,889}{101,325}\right) \end{aligned}$$

$$(\bar{e}x^{fiz})_8 = 2534,737 \text{ kJ/kmol}$$

8 noktasının toplam ekserjisi;

$$(\dot{E}x^{top})_8 = \dot{n}_{bacagazi} \times (\bar{e}x^{kim} + \bar{e}x^{fiz})_8 \quad (4.16)$$

$$(\dot{E}x^{top})_8 = 1,436 \times (4367,557 + 2534,737)$$

$$(\dot{E}x^{top})_8 = 9911,695 \text{ kW}$$

olarak hesaplanmıştır.

9Noktası için ekserji değeri;

9 noktasının fiziksel ekserjisi aşağıda verilen eşitliğe göre hesaplanmıştır.

$$(\bar{e}x^{fiz})_9 = \bar{C}_{p,bacagazi} \times \left[(T_9 - T_0) - T_0 \ln\left(\frac{T_9}{T_0}\right) \right] + \bar{R}T_0 \ln\left(\frac{P_9}{P_0}\right) \quad (4.17)$$

$$\begin{aligned} (\bar{e}x^{fiz})_9 &= 32,42155 \times \left[(472,25 - 298,15) - 298,15 \times \ln\left(\frac{472,25}{298,15}\right) \right] + 8,314 \\ &\quad \times 298,15 \times \ln\left(\frac{100,751}{101,325}\right) \end{aligned}$$

$$(\bar{e}x^{fiz})_9 = 1184,779 \text{ kJ/kmol}$$

9 noktasının toplam ekserjisi;

$$(\dot{E}x^{top})_9 = \dot{n}_{bacagazi} \times (\bar{e}x^{kim} + \bar{e}x^{fiz})_9 \quad (4.18)$$

$$(\dot{E}x^{top})_9 = 1,436 \times (4367,557 + 1184,779)$$

$$(\dot{E}x^{top})_9 = 7973,155 \text{ kW}$$

olarak hesaplanmıştır.

10Noktası için ekserji değeri;

10 noktasının fiziksel ekserjisi aşağıda verilen eşitliğe göre hesaplanmıştır.

$$\begin{aligned} (\bar{e}x^{fiz})_{10} &= \bar{C}_{p,bacagazi} \times \left[(T_{10} - T_0) - T_0 \ln\left(\frac{T_{10}}{T_0}\right) \right] + \bar{R}T_0 \ln\left(\frac{P_{10}}{P_0}\right) \\ &\quad (4.19) \end{aligned}$$

$$(\bar{e}x^{fiz})_{10} = 32,42155 \times \left[(423,15 - 298,15) - 298,15 \times \ln\left(\frac{423,15}{298,15}\right) \right] + 8,314 \\ \times 298,15 \times \ln\left(\frac{100,655}{101,325}\right)$$

$$(\bar{e}x^{fiz})_{10} = 651,722 \text{ kJ/kmol}$$

10 noktasının toplam ekserjisi;

$$(\dot{E}x^{top})_{10} = \dot{n}_{baca \text{ gazı}} \times (\bar{e}x^{kim} + \bar{e}x^{fiz})_{10} \quad (4.20)$$

$$(\dot{E}x^{top})_{10} = 1,436 \times (4367,557 + 651,722)$$

$$(\dot{E}x^{top})_{10} = 7207,685 \text{ kW}$$

olarak hesaplanmıştır.

4.5.YAKITLARIN EKSERJİLERİNİN BELİRLENMESİ

Yakıtların kimyasal enerji faktörü(φ), kok gazı için 1.05, yüksek fırın gazı için 0.98 olarak alınmıştır(Kotaş,1995).

Yakıtların özgül kimyasal ekserjileri aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

$$(ex^{kim})_{kokg} = \varphi \times (H_u)_{kokg} = 1,05 \times 16555 = 17382,75 \text{ kJ/Nm}^3 \quad (4.21)$$

$$(ex^{kim})_{yfg} = \varphi \times (H_u)_{yfg} = 0,98 \times 3111 = 3048,78 \text{ kJ/Nm}^3 \quad (4.22)$$

Yakıtların kimyasal ekserjileri, hacimsel debileri ile özgül kimyasal ekserjilerinin çarpımına eşit olduğundan;

$$(\bar{E}x^{kim})_{kokg} = 0,639 \text{ Nm}^3/\text{s} \times 17382,75 \text{ kJ/Nm}^3$$

$$(\bar{E}x^{kim})_{kokg} = 11107,57 \text{ kW}$$

$$(\bar{E}x^{kim})_{yfg} = 24,904 \text{ Nm}^3/\text{s} \times 3048,78 \text{ kJ/Nm}^3$$

$$(\bar{E}x^{kim})_{yfg} = 75926,82 \text{ kW}$$

olarak bulunmuştur

Yakıtların fiziksel ekserjileri aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanmıştır.

$$(\bar{e}x^{fiz})_{yakıt} = \bar{C}_{p,yakıt} \times \left[(T - T_0) - T_0 \ln\left(\frac{T}{T_0}\right) \right] + \bar{R}T_0 \ln\left(\frac{P}{P_0}\right) \quad (4.23)$$

Yukarıdaki eşitlikte ihtiyacımız olan yakıtların özgül ısıları hesaplanırken, sıcaklığa bağlı olan aşağıdaki eşitlik kullanılmıştır [2]. Buradaki a,b,c ve d katsayıları termodinamik tablolardan alınmıştır [16].

$$\bar{C}_{p,yakıt}(T) = a \times b \times T + c \times T^2 + d \times T^3 \quad (4.24)$$

Kok gazı için sıcaklığa bağlı özgül ısı değeri aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanmıştır.

$$T=303,15 \text{ K (30°C)}$$

$$T_0=298,15 \text{ K}$$

$$P= 103,775 \text{ kPa(2,45kPa(g))}$$

$$P_0=101,325 \text{ kPa}$$

$$\bar{C}_{p,kokg}(T) = a \times b \times T + c \times T^2 + d \times T^3 \quad (4.25)$$

$$\bar{C}_{p,kokg}(T) = 9,957 \times \frac{3,39 \times T}{10^4} + \frac{1,29 \times T^2}{10^6} + \frac{3,89 \times T^3}{10^{10}} \quad (4.26)$$

$$\bar{C}_{p,kokg}(303,15)$$

$$= 9,957 \times \frac{3,39 \times 303,15}{10^4} + \frac{1,29 \times (303,15)^2}{10^6} + \frac{3,89 \times (303,15)^3}{10^{10}}$$

$$\bar{C}_{p,kokg}(303,15) = 10,167 \text{ kJ/kmol}$$

Kok gazı fiziksel ekserjisi,

$$\begin{aligned} (\bar{e}x^{fiz})_{kokg} &= 10,167 \times \left[(303,15 - 298,15) - 298,15 \ln\left(\frac{303,15}{298,15}\right) \right] + 8,314 \\ &\times 298,15 \ln\left(\frac{103,775}{101,325}\right) = 59,64539 \text{ kJ/kmol} \end{aligned}$$

olarak hesaplanmıştır.

$$(ex^{fiz})_{kokg} = \frac{\rho_{kokg}}{M_{kokg}} \times (\bar{e}x^{fiz})_{kokg} = \frac{0,486 \text{ kg/Nm}^3}{10,786 \text{ kg/kmol}} \times 59,64 \text{ kJ/kmol} \quad (4.27)$$

$$(ex^{fiz})_{kokg} = 2,687 \text{ kJ/Nm}^3$$

$$(\bar{E}x^{fiz})_{kokg} = 0,639 \text{ Nm}^3/\text{s} \times 2,687 \text{ kJ/Nm}^3$$

$$(\bar{E}x^{fiz})_{kokg} = 1,717 \text{ kW}$$

Yüksek fırın gazı için sıcaklığa bağlı özgül ısı değeri aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanmıştır.

$$T=303,15 \text{ K (30°C)}$$

$$T_0=298,15 \text{ K}$$

$$P= 104,755 \text{ kPa(3,43kPa(g))}$$

$$P_0=101,325 \text{ kPa}$$

$$\bar{C}_{p,yfg}(T) = a \times b \times T + c \times T^2 + d \times T^3 \quad (4.28)$$

$$\bar{C}_{p,yfg}(T) = 1,166 \times \frac{9,58 \times T}{10^6} + \frac{1 \times T^2}{10^7} + \frac{-5,37 \times T^3}{10^{11}} \quad (4.29)$$

$$\bar{C}_{p,yfg}(303,15) = 1,166 \times \frac{9,58 \times 303,15}{10^6} + \frac{(303,15)^2}{10^7} - \frac{5,37 \times (303,15)^3}{10^{11}}$$

$$\bar{C}_{p,yfg}(303,15) = 1,177 \text{ kJ/kmol}$$

Yüksek fırın gazı fiziksel ekserjisi,

$$\begin{aligned} (\bar{e}x^{fiz})_{yfg} &= 10,177 \times \left[(303,15 - 298,15) - 298,15 \ln\left(\frac{303,15}{298,15}\right) \right] + 8,314 \\ &\quad \times 298,15 \ln\left(\frac{104,755}{101,325}\right) = 82,59633 \text{ kJ/kmol} \end{aligned}$$

olarak hesaplanmıştır.

$$(ex^{fiz})_{yfg} = \frac{\rho_{yfg}}{M_{yfg}} \times (\bar{e}x^{fiz})_{yfg} = \frac{1,359 \text{ kg/Nm}^3}{30,44 \text{ kg/kmol}} \times 82,59 \text{ kJ/kmol} \quad (4.30)$$

$$(ex^{fiz})_{yfg} = 3,687 \text{ kJ/Nm}^3$$

$$(\bar{E}x^{fiz})_{yfg} = 24,904 \text{ Nm}^3/\text{s} \times 3,687 \text{ kJ/Nm}^3$$

$$(\bar{E}x^{fiz})_{yfg} = 92,834 \text{ kW}$$

Kok gazının toplam ekserjisi,

$$\bar{E}x_{kokg} = (\bar{E}x^{kim})_{kokg} + (\bar{E}x^{fiz})_{kokg} \quad (4.31)$$

$$\bar{E}x_{kokg} = 11107,57 + 1,717 = 11109,29 \text{ kW}$$

olarak hesaplanmıştır.

Yüksek fırın gazının toplam ekserjisi,

$$\bar{E}x_{yfg} = (\bar{E}x^{kim})_{yfg} + (\bar{E}x^{fiz})_{yfg} \quad (4.32)$$

$$\bar{E}x_{yfg} = 75926,82 + 92,834 = 76018,65 \text{ kW}$$

olarak hesaplanmıştır.

4.6.YAKMA HAVASININ EKSERJİSİNİN BELİRLENMESİ

Öncelikle yakma havasının her düğüm noktasındaki entalpi, entropi ve yoğunluk değerlerinin belirlenmesi gerekmektedir. Termodinamik tablodan havanın sıcaklık ve basınç değerlerine göre entalpi ve entropi değerleri belirlenmiştir.

Çizelge 4.6.Yakma havasının entalpi, entropi, yoğunluk ve debi değerleri.

Düğüm Noktası	Basınç (kPa)	Sıcaklık (°C)	Entalpi h (kJ/kg)	Entropi s (kJ/kgK)	Yoğunluk (kg/m ³)	Debi \dot{m} (kg/s)
1	104,325	25,0	424,17	3,8697	1,21910	24,382
2	104,075	136,4	536,71	4,1911	0,88487	17,697
3	103,825	295,9	700,79	4,5299	0,63522	12,704

Yakma havasını sağlayan aspiratör (FD fan) çıkış hava debisi 20 m³/s olup her nokta için yoğunluk değeri ile çarpılarak hesaplanan debi değerleri Çizelge4.6'da gösterilmiştir.Yakma havasının ekserji değerleri tüm noktalara aşağıdaki formül uygulanarak hesaplanmıştır.

i Noktası için;

$$\bar{E}x_i = \dot{m}_i \times (h_i - h_0) - T_0 \times (s_i - s_0) \quad (4.33)$$

$h_0=424,17$ kJ/kg (25°C sıcaklık, 1 atm. basınç)

$s_0= 3,8782$ kJ/kgK (25°C sıcaklık, 1 atm. basınç)

1 Noktası için ekserji değeri;

$$\bar{E}x_1 = 24,382 \times (424,17 - 424,17) - 298,15 \times (3,8697 - 3,8782)$$
$$\bar{E}x_1 = 61,791 \text{ kW}$$

2Noktası için ekserji değeri;

$$\bar{E}x_1 = 17,697 \times (536,71 - 424,17) - 298,15 \times (4,1911 - 3,8782)$$
$$\bar{E}x_1 = 340,655 \text{ kW}$$

3Noktası için ekserji değeri;

$$\bar{E}x_1 = 12,704 \times (700,79 - 424,17) - 298,15 \times (4,5299 - 3,8782)$$
$$\bar{E}x_1 = 1045,738 \text{ kW}$$

4.7. ENERJİ SANTRALİNDEKİ DİĞER DÜĞÜM NOKTALARININ EKSERJİ DEĞERLERİNİN TESPİTİ

Saf maddelerin fiziksel ekserjisi genel olarak;

$$e_x = (u - u_0) - P_0(\dot{v} - v_0) - T_0(s - s_0) \text{ (kj/kg)} \quad (4.34)$$

Fiziksel ekserji kısaca;

$$e_x = (h - h_0) - T_0(s - s_0) \text{ (kj/kg)} \quad (4.35)$$

Toplam fiziksel ekserji akısı ise;

$$E_x = m \times e_x \quad (4.36)$$

şeklinde yazılabilir.

Aşağıdaki formüller sırasıyla tüm düğüm noktaları için hesaplanmıştır.

i Noktası için;

$$\bar{e}x_i = (h_i - h_0) - T_0 \times (s_i - s_0) \quad (4.37)$$

$$\bar{E}x_i = \dot{m}_i \times \bar{e}x_i \quad (4.38)$$

25 °C çevre sıcaklığı ve 101,325 kPa basınç için;

$$h_0 = 104,857 \text{ kJ/kg}$$

$$s_0 = 0,36698 \text{ kJ/kgK}$$

12 Noktası için;

$$\bar{e}x_{12} = (h_{12} - h_0) - T_0 \times (s_{12} - s_0) \quad (4.39)$$

$$\bar{e}x_{12} = (167,88 - 104,857) - 298,15 \times (0,57225 - 0,36698)$$

$$\bar{e}x_{12} = 1,822 \text{ kJ/kg}$$

$$\bar{E}x_{12} = \dot{m}_{12} \times \bar{e}x_{12} \quad (4.40)$$

$$\bar{E}x_{12} = 24,444 \times 1,822 = 44,532 \text{ kW}$$

13 Noktası için;

$$\bar{e}x_{13} = (h_{13} - h_0) - T_0 \times (s_{13} - s_0) \quad (4.41)$$

$$\bar{e}x_{13} = (167,56 - 104,857) - 298,15 \times (0,57239 - 0,36698)$$

$$\bar{e}x_{13} = 1,460 \text{ kJ/kg}$$

$$\bar{E}x_{13} = \dot{m}_{13} \times \bar{e}x_{13} \quad (4.42)$$

$$\bar{E}x_{13} = 24,444 \times 1,460 = 35,689 \text{ kW}$$

14 Noktası için;

$$\bar{e}x_{14} = (h_{14} - h_0) - T_0 \times (s_{14} - s_0) \quad (4.43)$$

$$\bar{e}x_{14} = (87,14 - 104,857) - 298,15 \times (0,29623 - 0,36698)$$

$$\bar{e}x_{14} = 0,378 \text{ kJ/kg}$$

$$\bar{E}x_{14} = \dot{m}_{14} \times \bar{e}x_{14} \quad (4.44)$$

$$\bar{E}x_{14} = 0,556 \times 0,378 = 0,210 \text{ kW}$$

15Noktası için;

$$\bar{e}x_{15} = (h_{15} - h_0) - T_0 \times (s_{15} - s_0) \quad (4.45)$$

$$\bar{e}x_{15} = (632,19 - 104,857) - 298,15 \times (1,84180 - 0,36698)$$

$$\bar{e}x_{15} = 87,615 \text{ kJ/kg}$$

$$\bar{E}x_{15} = \dot{m}_{15} \times \bar{e}x_{15} \quad (4.46)$$

$$\bar{E}x_{15} = 28,611 \times 87,615 = 2506,774 \text{ kW}$$

16 Noktası için;

$$\bar{e}x_{16} = (h_{16} - h_0) - T_0 \times (s_{16} - s_0) \quad (4.47)$$

$$\bar{e}x_{16} = (637,17 - 104,857) - 298,15 \times (1,83300 - 0,36698)$$

$$\bar{e}x_{16} = 95,219 \text{ kJ/kg}$$

$$\bar{E}x_{16} = \dot{m}_{16} \times \bar{e}x_{16} \quad (4.48)$$

$$\bar{E}x_{16} = 28,611 \times 95,219 = 2724,325 \text{ kW}$$

17Noktası için;

$$\bar{e}x_{17} = (h_{17} - h_0) - T_0 \times (s_{17} - s_0) \quad (4.49)$$

$$\bar{e}x_{17} = (637,17 - 104,857) - 298,15 \times (1,83300 - 0,36698)$$

$$\bar{e}x_{17} = 95,219 \text{ kJ/kg}$$

$$\bar{E}x_{17} = \dot{m}_{17} \times \bar{e}x_{17} \quad (4.50)$$

$$\bar{E}x_{17} = 1,389 \times 95,219 = 132,249 \text{ kW}$$

18 Noktası için;

$$\bar{e}x_{18} = (h_{18} - h_0) - T_0 \times (s_{18} - s_0) \quad (4.51)$$

$$\bar{e}x_{18} = (637,17 - 104,857) - 298,15 \times (1,83300 - 0,36698)$$

$$\bar{e}x_{18} = 95,219 \text{ kJ/kg}$$

$$\bar{E}x_{18} = \dot{m}_{18} \times \bar{e}x_{18} \quad (4.52)$$

$$\bar{E}x_{18} = 0,278 \times 95,219 = 26,450 \text{ kW}$$

19 Noktası için;

$$\bar{e}x_{19} = (h_{19} - h_0) - T_0 \times (s_{19} - s_0) \quad (4.53)$$

$$\bar{e}x_{19} = (637,17 - 104,857) - 298,15 \times (1,83300 - 0,36698)$$

$$\bar{e}x_{19} = 95,219 \text{ kJ/kg}$$

$$\bar{E}x_{19} = \dot{m}_{19} \times \bar{e}x_{19} \quad (4.54)$$

$$\bar{E}x_{19} = 29,944 \times 95,219 = 2565,627 \text{ kW}$$

20 Noktası için;

$$\bar{e}x_{20} = (h_{20} - h_0) - T_0 \times (s_{20} - s_0) \quad (4.55)$$

$$\bar{e}x_{20} = (810,55 - 104,857) - 298,15 \times (2,225980 - 0,36698)$$

$$\bar{e}x_{20} = 151,486 \text{ kJ/kg}$$

$$\bar{E}x_{20} = \dot{m}_{20} \times \bar{e}x_{20} \quad (4.56)$$

$$\bar{E}x_{20} = 26,944 \times 151,486 = 4081,701 \text{ kW}$$

21 Noktası için;

$$\bar{e}x_{21} = (h_{21} - h_0) - T_0 \times (s_{21} - s_0) \quad (4.57)$$

$$\bar{e}x_{21} = (1236,3 - 104,857) - 298,15 \times (3,06510 - 0,36698)$$

$$\bar{e}x_{21} = 326,999 \text{ kJ/kg}$$

$$\bar{E}x_{21} = \dot{m}_{21} \times \bar{e}x_{21} \quad (4.58)$$

$$\bar{E}x_{21} = 26,944 \times 326,999 = 8810,794 \text{ kW}$$

22 Noktası için;

$$\bar{e}x_{22} = (h_{22} - h_0) - T_0 \times (s_{22} - s_0) \quad (4.59)$$

$$\bar{e}x_{22} = (2819,70 - 104,857) - 298,15 \times (5,87860 - 0,36698)$$

$$\bar{e}x_{22} = 1071,553 \text{ kJ/kg}$$

$$\bar{E}x_{22} = \dot{m}_{22} \times \bar{e}x_{22} \quad (4.60)$$

$$\bar{E}x_{22} = 0,556 \times 1071,553 = 595,307 \text{ kW}$$

23 Noktası için;

$$\bar{e}x_{23} = (h_{23} - h_0) - T_0 \times (s_{23} - s_0) \quad (4.61)$$

$$\bar{e}x_{23} = (3429,30 - 104,857) - 298,15 \times (6,85540 - 0,36698)$$

$$\bar{e}x_{23} = 1389,921 \text{ kJ/kg}$$

$$\bar{E}x_{23} = \dot{m}_{23} \times \bar{e}x_{23} \quad (4.62)$$

$$\bar{E}x_{23} = 27,778 \times 1389,921 = 38608,905 \text{ kW}$$

24 Noktası için;

$$\bar{e}x_{24} = (h_{24} - h_0) - T_0 \times (s_{24} - s_0) \quad (4.63)$$

$$\bar{e}x_{24} = (3429,30 - 104,857) - 298,15 \times (6,85540 - 0,36698)$$

$$\bar{e}x_{24} = 1389,921 \text{ kJ/kg}$$

$$\bar{E}x_{24} = \dot{m}_{24} \times \bar{e}x_{24} \quad (4.64)$$

$$\bar{E}x_{24} = 3,3333 \times 1389,921 = 4633,069 \text{ kW}$$

25 Noktası için;

$$\bar{e}x_{25} = (h_{25} - h_0) - T_0 \times (s_{25} - s_0) \quad (4.65)$$

$$\bar{e}x_{25} = (2818,60 - 104,857) - 298,15 \times (7,08090 - 0,36698)$$

$$\bar{e}x_{25} = 711,988 \text{ kJ/kg}$$

$$\bar{E}x_{25} = \dot{m}_{25} \times \bar{e}x_{25} \quad (4.66)$$

$$\bar{E}x_{25} = 3,611 \times 711,988 = 2571,067 \text{ kW}$$

26Noktası için;

$$\bar{e}x_{26} = (h_{26} - h_0) - T_0 \times (s_{26} - s_0) \quad (4.67)$$

$$\bar{e}x_{26} = (3429,30 - 104,857) - 298,15 \times (6,85540 - 0,36698)$$

$$\bar{e}x_{26} = 1389,921 \text{ kJ/kg}$$

$$\bar{E}x_{26} = \dot{m}_{26} \times \bar{e}x_{26} \quad (4.68)$$

$$\bar{E}x_{26} = 24,444 \times 1389,921 = 33975,836 \text{ kW}$$

27 Noktası için;

$$\bar{e}x_{27} = (h_{27} - h_0) - T_0 \times (s_{27} - s_0) \quad (4.69)$$

$$\bar{e}x_{27} = (2578,86 - 104,857) - 298,15 \times (8,21734 - 0,36698)$$

$$\bar{e}x_{27} = 133,419 \text{ kJ/kg}$$

$$\bar{E}x_{27} = \dot{m}_{27} \times \bar{e}x_{27} \quad (4.70)$$

$$\bar{E}x_{27} = 24,444 \times 133,419 = 3261,357 \text{ kW}$$

28 Noktası için;

$$\bar{e}x_{28} = (h_{28} - h_0) - T_0 \times (s_{28} - s_0) \quad (4.71)$$

$$\bar{e}x_{28} = (125,99 - 104,857) - 298,15 \times (0,43667 - 0,36698)$$

$$\bar{e}x_{28} = 0,355 \text{ kJ/kg}$$

$$\bar{E}x_{28} = \dot{m}_{28} \times \bar{e}x_{28} \quad (4.72)$$

$$\bar{E}x_{28} = 1369,444 \times 0,355 = 486,052 \text{ kW}$$

29 Noktası için;

$$\bar{e}x_{29} = (h_{29} - h_0) - T_0 \times (s_{29} - s_0) \quad (4.73)$$

$$\bar{e}x_{29} = (156,88 - 104,857) - 298,15 \times (0,53747 - 0,36698)$$

$$\bar{e}x_{29} = 1,191 \text{ kJ/kg}$$

$$\bar{E}x_{29} = \dot{m}_{29} \times \bar{e}x_{29} \quad (4.74)$$

$$\bar{E}x_{29} = 1369,444 \times 1,191 = 1631,564 \text{ kW}$$

Hesaplamalar sonucunda her düğüm noktası için bulunan ekserji değerleri Çizelge 4.7'de gösterilmektedir.

Çizelge4.7.Noktasal ekserji değerleri tablosu.

DÜĞÜM NOKTASI	EKİPMAN	AKIŞKAN TİPİ	EKSERJİ
			E _x (kW)
1	HAVA ISITICI	HAVA	61,791
2	HAVA ISITICI	HAVA	340,655
3	HAVA ISITICI	HAVA	1045,738
4	YAKICI	KOK GAZI	11109,290
5	YAKICI	YF GAZI	76018,650
6	EKONOMİZER	BACA GAZI	18157,543
7	HAVA ISITICI	BACA GAZI	11328,831
8	EKONOMİZER	BACA GAZI	9911,695
9	HAVA ISITICI	BACA GAZI	7973,155
10	HAVA ISITICI	BACA GAZI	7207,685
11	FD FAN	BACA GAZI	7489,896
12	KONDENSE POMPASI	SU	44,532
13	KONDENSE POMPASI	SU	35,689
14	BESLEME DEPOSU(DEAERATOR)	SU	0,210
15	BESLEME SUYU POMPASI	SU	2506,774
16	BESLEME SUYU POMPASI	SU	2724,325
17	PÜSKÜRTME SUYU	SU	132,249
18	PÜSKÜRTME SUYU	SU	26,450
19	EKONOMİZER	SU	2565,627
20	EKONOMİZER	SU	4081,701
21	KAZAN	SU	8810,794
22	KAZAN BLÖFÜ	BUHAR	595,307
23	KIZGIN BUHAR	BUHAR	38608,905
24	BASINÇ DÜŞÜRME İSTASYONU	BUHAR	4633,069
25	BASINÇ DÜŞÜRME İSTASYONU	BUHAR	2571,067
26	BUHAR TÜRBİNİ	BUHAR	33975,836
27	KONDENSER	BUHAR	3261,357
28	SOĞUTMA SUYU	SU	486,052
29	SOĞUTMA SUYU	SU	1631,564

4.8. EKSERJİ YIKIMLARININ VE EKSERJİ VERİMLERİNİN BELİRLENMESİ

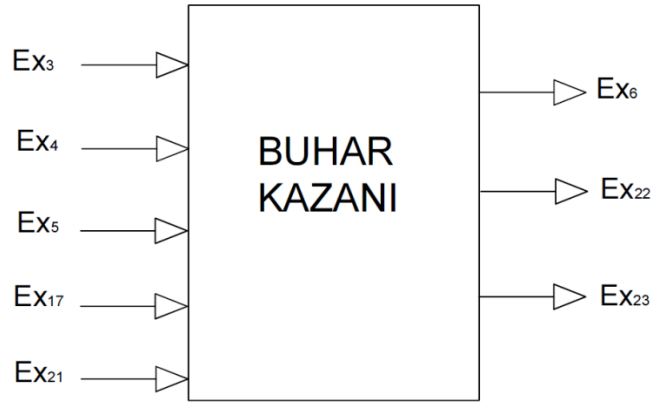
Ekipmanların toplam ekserji yıkımı ekipmana girenlerin ekserjileri ile çıkanların ekserjilerinin farkıdır.

$$E_Y = Ex_{giren} - Ex_{çıkan} \quad (4.75)$$

Ekipmanların ekserji verimleri ise ekipmandan çıkanların ekserjileri ile girenlerin ekserjilerinin oranıdır.

$$\varphi = \frac{Ex_{çıkan}}{Ex_{giren}} \quad (4.76)$$

4.8.1. Buhar Kazanı Ekserji Yıkımının Ve Ekserji Veriminin Belirlenmesi



Şekil 4.1. Buhar kazanı şematik görünüşü.

$$\bar{E}_{y,kazan} = (\bar{E}x_3 + \bar{E}x_4 + \bar{E}x_5 + \bar{E}x_{17} + \bar{E}x_{21}) - (\bar{E}x_6 + \bar{E}x_{22} + \bar{E}x_{23}) \quad (4.77)$$

$$\begin{aligned} \bar{E}_{y,kazan} &= (1045,738 + 11109,290 + 76018,650 + 132,249 + 8810,794) \\ &\quad - (18157,543 + 595,307 + 38608,905) \end{aligned}$$

$$\bar{E}_{y,kazan} = 39754,966 \text{ kW}$$

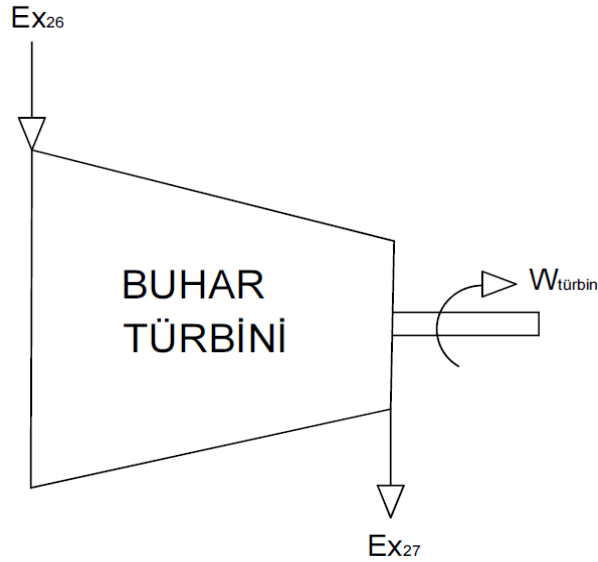
Buhar kazanı ekserji verimi;

$$\varphi_{kazan} = \frac{\bar{E}x_6 + \bar{E}x_{22} + \bar{E}x_{23}}{\bar{E}x_3 + \bar{E}x_4 + \bar{E}x_5 + \bar{E}x_{17} + \bar{E}x_{21}} \quad (4.78)$$

$$\varphi_{kazan} = \frac{18157,543 + 595,307 + 38608,905}{1045,738 + 11109,290 + 76018,650 + 132,249 + 8810,794}$$

$$\varphi_{kazan} = \frac{57361,755}{97116,721} = \%59,1$$

4.8.2. Türbin Ekserji Yıkımının Ve Ekserji Veriminin Belirlenmesi



Şekil 4.2. Buhar Türbini şematik görünüşü.

$$\bar{E}_{y,türbin} = \bar{E}x_{26} - (\bar{E}x_{27} + W_{türbin}) \quad (4.79)$$

$$\bar{E}_{y,türbin} = 33975,836 - (3261,357 + 24071)$$

$$\bar{E}_{y,türbin} = 6643,479 \text{ kW}$$

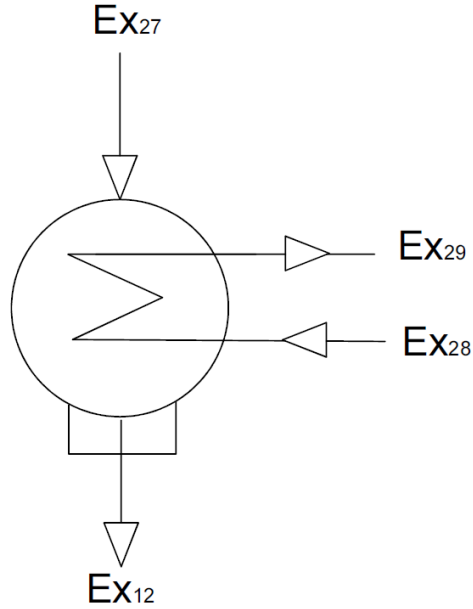
Türbin ekserji verimi;

$$\varphi_{türbin} = \frac{\bar{E}x_{27} + W_{türbin}}{\bar{E}x_{26}} \quad (4.80)$$

$$\varphi_{türbin} = \frac{3261,357 + 24071}{33975,836}$$

$$\varphi_{türbin} = \frac{27332,357}{33975,836} = \%80,4$$

4.8.3.Kondenser Ekserji Yıkımının Ve Ekserji Veriminin Belirlenmesi



Şekil 4.3.Kondenser şematik görünüşü.

$$\bar{E}_{y,kondenser} = (\bar{E}x_{27} + \bar{E}x_{28}) - (\bar{E}x_{12} + \bar{E}x_{29}) \quad (4.81)$$

$$\bar{E}_{y,kondenser} = (3261,657 + 486,052) - (44,532 + 1631,564)$$

$$\bar{E}_{y,kondenser} = 2071,613 \text{ kW}$$

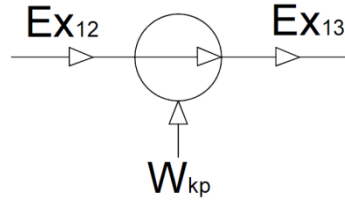
Kondenser ekserji verimi;

$$\varphi_{kondenser} = \frac{\bar{E}x_{12} + \bar{E}x_{29}}{\bar{E}x_{27} + \bar{E}x_{28}} \quad (4.82)$$

$$\varphi_{kondenser} = \frac{44,532 + 1631,564}{3261,657 + 486,052}$$

$$\varphi_{kondenser} = \frac{1676,096}{3747,709} = \%44,7$$

4.8.4. Kondense Pompası Ekserji Yıkımının Ve Ekserji Veriminin Belirlenmesi



Şekil 4.4. Kondense pompası şematik görünüşü.

Pompanın 24,444 kg/h (88 t/h) kapasitede çektiği güç 34 kW olarak ölçülmüştür.

$$\bar{E}_{y,kp} = (\bar{E}x_{12} + W_{kp}) - (\bar{E}x_{13}) \quad (4.83)$$

$$\bar{E}_{y,kp} = (44,532 + 34,0) - (35,689)$$

$$\bar{E}_{y,kp} = 42,843 \text{ kW}$$

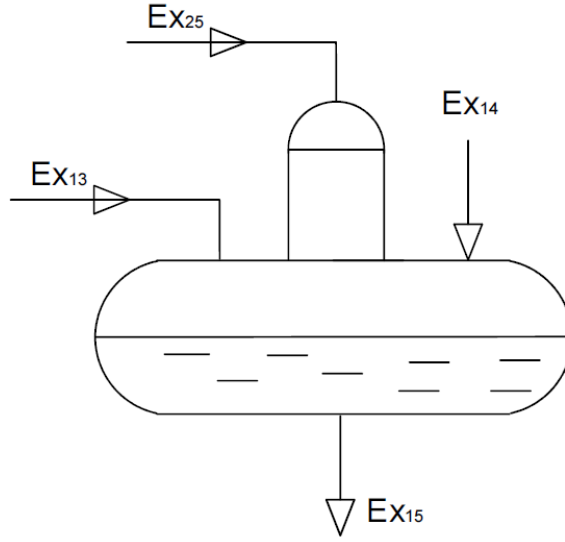
Kondense pompası ekserji verimi;

$$\varphi_{kp} = \frac{E_{x13}}{E_{x12} + W_{kp}} \quad (4.84)$$

$$\varphi_{kp} = \frac{35,689}{44,532 + 34}$$

$$\varphi_{kp} = \frac{35,689}{78,532} = \%45,3$$

4.8.5. Besleme Deposu (Degazör) Ekserji Yıkımının Ve Ekserji Veriminin Belirlenmesi



Şekil 4.5. Besleme deposu ve degazör şematik görünüşü.

$$\bar{E}_{y,bd} = (\bar{E}x_{13} + \bar{E}x_{14} + \bar{E}x_{25}) - (\bar{E}x_{15}) \quad (4.85)$$

$$\bar{E}_{y,bd} = (35,689 + 0,210 + 2571,067) - (2506,774)$$

$$\bar{E}_{y,bd} = 100,192 \text{ kW}$$

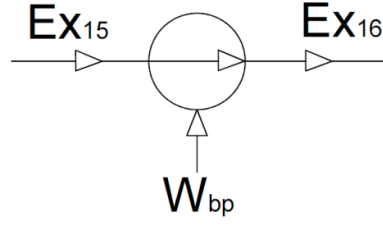
Besleme deposu(degazör) ekserji verimi;

$$\varphi_{bd} = \frac{\bar{E}x_{15}}{\bar{E}x_{13} + \bar{E}x_{14} + \bar{E}x_{25}} \quad (4.86)$$

$$\varphi_{bd} = \frac{2506,774}{35,689 + 0,210 + 2571,067}$$

$$\varphi_{bd} = \frac{2506,774}{2606,966} = \%96,2$$

4.8.6. Besleme Suyu Pompası Ekserji Yıkımının Ve Ekserji Veriminin Belirlenmesi



Şekil 4.6. Besleme suyu pompası şematik görünüşü.

Pompa karakteristik eğrisinden, pompanın 28,611 kg/h (103 t/h) kapasitedeki gücü 370 kW olarak alınmıştır.

$$\bar{E}_{y,bsp} = (\bar{E}x_{15} + W_{bsp}) - (\bar{E}x_{16}) \quad (4.87)$$

$$\bar{E}_{y,bsp} = (2506,774 + 370) - (2724,325)$$

$$\bar{E}_{y,bsp} = 152,449 \text{ kW}$$

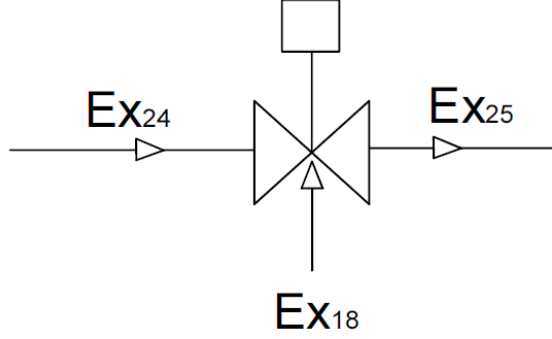
Besleme suyu pompası ekserji verimi;

$$\varphi_{bsp} = \frac{\bar{E}x_{16}}{\bar{E}x_{15} + W_{bsp}} \quad (4.88)$$

$$\varphi_{bsp} = \frac{2724,325}{2506,774 + 370}$$

$$\varphi_{bsp} = \frac{2724,325}{2876,774} = \%94,7$$

4.8.7. Basınç Ve Sıcaklık Düşürme İstasyonu Ekserji Yıkımının Ve Ekserji Veriminin Belirlenmesi



Şekil 4.7. Basınç ve sıcaklık düşürme istasyonu şematik görünüşü.

$$\bar{E}_{y,düşürücü} = (\bar{E}x_{18} + \bar{E}x_{24}) - (\bar{E}x_{25}) \quad (4.89)$$

$$\bar{E}_{y,düşürücü} = (26,450 + 4633,069) - (2571,067)$$

$$\bar{E}_{y,düşürücü} = 2088,452 \text{ kW}$$

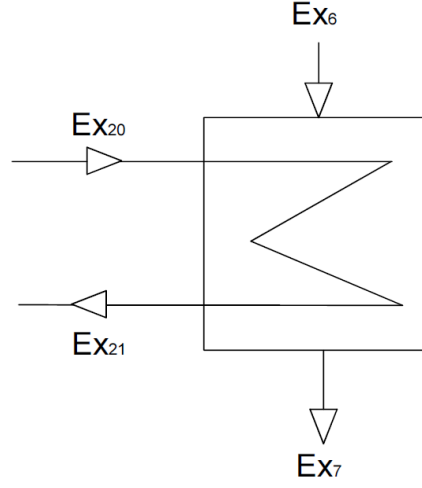
Basınç ve sıcaklık düşürme istasyonu ekserji verimi;

$$\varphi_{düşürücü} = \frac{E_{x_{25}}}{\bar{E}x_{18} + \bar{E}x_{24}} \quad (4.90)$$

$$\varphi_{düşürücü} = \frac{2571,067}{26,450 + 4633,069}$$

$$\varphi_{düşürücü} = \frac{2571,067}{4659,519} = \%55,2$$

4.8.8. Ekonomizer-1 (EKO-1) Ekserji Yıkımının Ve Ekserji Veriminin Belirlenmesi



Şekil 4.8. Ekonomizer-1 şematik görünüşü.

$$\bar{E}_{y,eko1} = (\bar{E}x_6 + \bar{E}x_{20}) - (\bar{E}x_7 + \bar{E}x_{21}) \quad (4.91)$$

$$\bar{E}_{y,eko1} = (18157,543 + 4081,701) - (11328,831 + 8810,794)$$

$$\bar{E}_{y,eko1} = 2099,619 \text{ kW}$$

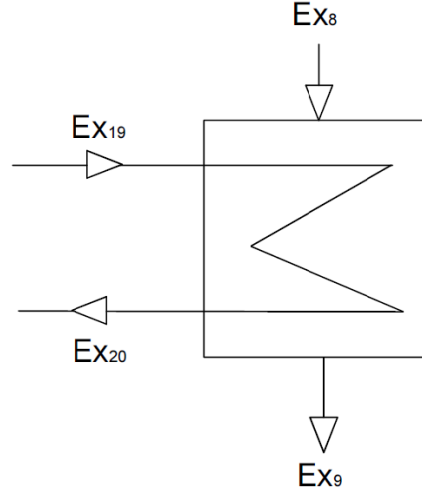
Ekonomizer-1 ekserji verimi;

$$\varphi_{eko1} = \frac{\bar{E}x_7 + \bar{E}x_{21}}{\bar{E}x_6 + \bar{E}x_{20}} \quad (4.92)$$

$$\varphi_{eko1} = \frac{11328,831 + 8810,794}{18157,543 + 4081,701}$$

$$\varphi_{eko1} = \frac{20139,625}{22239,244} = \%90,6$$

4.8.9.Ekonomizer-2(EKO-2) Ekserji Yıkımının Ve Ekserji Veriminin Belirlenmesi



Şekil 4.9. Ekonomizer-2 şematik görünüşü.

$$\bar{E}_{y,eko2} = (\bar{E}x_8 + \bar{E}x_{19}) - (\bar{E}x_9 + \bar{E}x_{20}) \quad (4.93)$$

$$\bar{E}_{y,eko2} = (9911,695 + 2565,627) - (7973,155 + 4081,701)$$

$$\bar{E}_{y,eko2} = 422,466 \text{ kW}$$

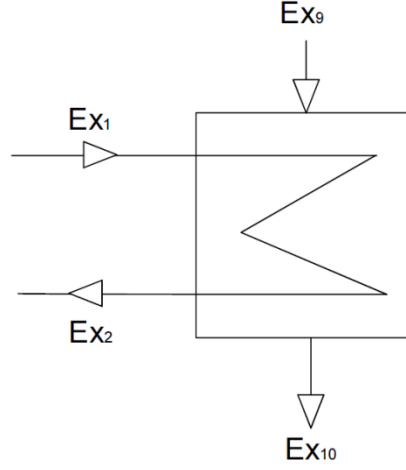
Ekonomizer-2ekserji verimi;

$$\varphi_{eko2} = \frac{\bar{E}x_9 + \bar{E}x_{20}}{\bar{E}x_8 + \bar{E}x_{19}} \quad (4.94)$$

$$\varphi_{eko2} = \frac{7973,155 + 4081,701}{9911,695 + 2565,627}$$

$$\varphi_{eko2} = \frac{12054,856}{12477,322} = \%96,6$$

4.8.10. Hava Ekonomizeri-1 (HE-1) Ekserji Yıkımının Ve Ekserji Veriminin Belirlenmesi



Şekil 4.10. Hava ekonomizeri-1 şematik görünüşü.

$$\bar{E}_{y,he1} = (\bar{E}x_1 + \bar{E}x_9) - (\bar{E}x_2 + \bar{E}x_{10}) \quad (4.95)$$

$$\bar{E}_{y,he1} = (61,791 + 7973,155) - (340,655 + 7207,685)$$

$$\bar{E}_{y,he1} = 486,606 \text{ kW}$$

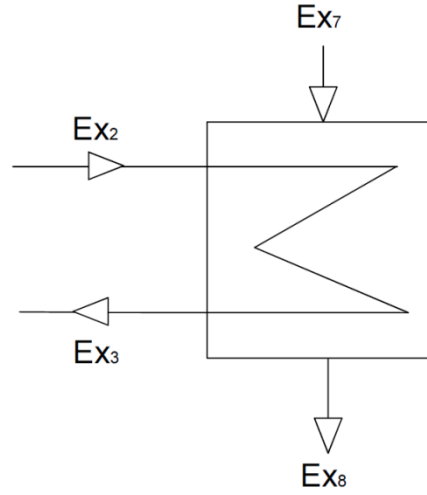
Hava ekonomizeri-1 ekserji verimi;

$$\varphi_{he1} = \frac{\bar{E}x_2 + \bar{E}x_{10}}{\bar{E}x_1 + \bar{E}x_9} \quad (4.96)$$

$$\varphi_{he1} = \frac{340,655 + 7207,685}{61,791 + 7973,155}$$

$$\varphi_{he1} = \frac{7548,340}{8034,946} = \%93,9$$

4.8.11. Hava Ekonomizeri-2 (HE-2) Ekserji Yıkımının Ve Ekserji Veriminin Belirlenmesi



Şekil 4.11. Hava ekonomizeri-2 şematik görünüşü.

$$\bar{E}_{y,he2} = (\bar{E}x_2 + \bar{E}x_7) - (\bar{E}x_3 + \bar{E}x_8) \quad (4.97)$$

$$\bar{E}_{y,he2} = (340,655 + 11328,831) - (1045,738 + 9911,695)$$

$$\bar{E}_{y,he2} = 712,053 \text{ kW}$$

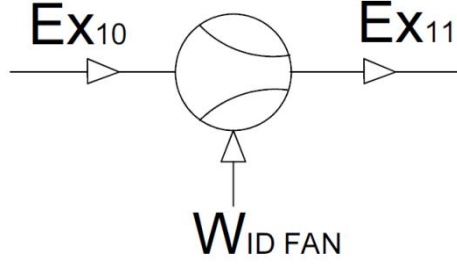
Hava ekonomizeri-2 ekserji verimi;

$$\varphi_{he2} = \frac{\bar{E}x_3 + \bar{E}x_8}{\bar{E}x_2 + \bar{E}x_7} \quad (4.98)$$

$$\varphi_{he2} = \frac{1045,738 + 9911,695}{340,655 + 11328,831}$$

$$\varphi_{he2} = \frac{10957,433}{11669,486} = \%93,9$$

4.8.12. Aspiratör (ID Fan) Ekserji Yıkımının Ve Ekserji Veriminin Belirlenmesi



Şekil 4.12. ID fan şematik görünüşü.

Sistemde 2 adet aspiratör bulunmakta olup toplam çektiği güç 280+280=560 kW. %75 kapasite ile kullanılmakta olup çektiği güç 420 kW olarak ölçülmüştür.

$$\bar{E}_{y,ID fan} = (\bar{E}x_{10} + W_{ID fan}) - (\bar{E}x_{11}) \quad (4.99)$$

$$\bar{E}_{y,ID fan} = (7207,685 + 420) - (7489,896)$$

$$\bar{E}_{y,ID fan} = 137,789 \text{ kW}$$

ID fan ekserji verimi;

$$\varphi_{ID fan} = \frac{\bar{E}x_{10}}{\bar{E}x_{11} + W_{ID fan}} \quad (4.100)$$

$$\varphi_{ID fan} = \frac{7489,896}{7207,685 + 420}$$

$$\varphi_{ID fan} = \frac{7489,896}{7627,685} = \%98,2$$

Yukarıdaki hesaplamalar sonucunda elde edilmiş olan ekserji yıkımları ve ekserji verimleri Çizelge 4.8' de gösterilmiştir.

Çizelge4.8. Ekipmanların ekserji yıkımları ve ekserji verimleri.

Ekipman	Ekserji Yıkımları(kW)	Ekserji Verimi(%)
Buhar Kazanı	39754,966	59,1
Türbin	6643,479	80,4
Kondenser	2071,613	44,7
Kondense pompası	42,843	45,3
Besleme deposu,degazör	100,192	96,2
Besleme suyu pompası	152,449	94,7
Basınç ve sıcaklık düşürme istasyonu	2088,452	55,2
Ekonomizer-1	2099,619	90,6
Ekonomizer-2	422,466	96,6
Hava Ekonomizeri-1	486,606	93,9
Hava Ekonomizeri-2	712,053	93,9
Aspiratör (ID fan)	137,789	98,2
Toplam Sistem	54717,427	-

4.9.TERMOEKONOMİK ANALİZ

Termoekonomik analiz, termal (ısı) sistemlerin termodinamik ve ekonomik açıdan analiz edilmesidir. Üretim maliyetlerinin minimize edilmesi amacıyla kullanılır [14].

Termal sistemlerde hangi tür enerjinin kullanılacağını belirlemek önemli bir unsurdur ve sistem maliyetine doğrudan etki eder. Ekserji bu durumda sistemin tersinmezliklerini ve kayıplarını belirten, daha gerçekçi bir kavram olarak karşımıza çıkmaktadır. Çünkü ekserji, enerjinin kalitesini ve potansiyelini esas alır [10].

Bu bilgilere göre termoekonomik analizin, aslında ekserji analizi ile ekonomik analizin birleşmesi sonucu ortaya çıkan bir analiz yöntemi olduğu görülmektedir. Bu yöntem birçok çalışmada, ekserjoekonomik analiz olarak da adlandırılmaktadır. Termoekonomik analizde sistemi oluşturan bütün ekipmanların ekserji analizi yapılır. Ardından her bir ekipman için maliyet denklemleri oluşturularak, bu ekipmanlara ait ekserji maliyetleri hesaplanır [4].

Termoekonomik analiz,

1. Termodinamik kayıpların (ekserji yıkımı ve ekserji kayıpları) gerçek kaynaklarını, rakamsal değerlerini ve konumlarının belirlenmesi,
2. Herhangi bir sistem ekipmanında ekserji kayıpları ve ekserji yıkımı ile ilgili maliyetlerin hesaplanması,
3. Birden fazla ürün üreten termal sistemlerde, her bir ürünün maliyet oluşumunun ayrı ayrı analiz edilebilmesi,

amaçlarına sahiptir [15].

Termoekonomik analiz yapılırken öncelikle sistem tanımlaması ve bazı kabuller yapılır, bu sistemde; sistemin ömrü $n=30$ yıl, hurda değeri $\mu=15\%$, bakım maliyet faktörü $\emptyset_k=1,06$, sistemin yıllık çalışma süresi $\tau=8352$ saat ve bileşik faiz oranı $i=10\%$ olarak belirlenmiştir. Sistemin termoekonomik analiz için kullanılacak olan akış şeması Şekil 3.2’de görülmektedir.

4.9.1.Sistem Ekipmanlarının Yatırım Maliyeti Hesabı

Sistem ekipmanlarının yatırım maliyeti hesaplamaları yapılırken, sistem tanımlanmasında kabul edilen ve belirlenen bilgilerden yararlanılarak, termoekonomik analizde kullanılacak olan ve ekserji değerlerine sahip olmayan parametrelerin maliyet akımları hesaplanır [4].

4.9.1.1.Paranın Zaman Değeri

Sistem kurulurken harcanan paranın satın alma gücü belirli zaman aralıklarına göre değişim göstermektedir. Bu yüzden paranın, zaman içerisindeki değerinin hesaplanması gerekmektedir. Günümüzde PW değerinde olan para, belirlenen bileşik faiz oranına(i) göre bir hesaba yatırılırsa, n zaman içerisinde, FW değerine ulaşacaktır. Sistemler tasarlanırken, sistem ömrü boyunca harcanacak paranın

şimdiki değerinin (PW) bilinmesine ihtiyaç vardır. Bu PW değeri belirli bileşik faiz oranları ile FW değerine ulaşacak para miktarıdır. Paranın şimdiki değeri ve değer faktörü sırasıyla aşağıdaki eşitlik ile hesaplanır;

$$PW = FW \frac{1}{(1+i)^n} \quad (4.101)$$

$$PWF = \frac{1}{(1+i)^n} \quad (4.102)$$

4.9.1.2.Yıllık Ödemeler

Çalışma ömrü boyunca sistem için yıllık bir takım harcamalar yapılır. Bu harcamalar çalışan ücretleri, sigorta, yakıt, hammadde nakliyesi vb. giderlerdir. Maliyet analizinde bu değerlerinde göz önüne alınması gerekir ve bu değerler aşağıdaki eşitlik ile hesaplanır.

$$AC = FW \frac{(1+i)^n - 1}{i} \quad (4.103)$$

4.9.1.3.Ana Para Geri Kazanım Faktörü

Sistem için yapılan ilk yatırım geri kazanım faktörü aşağıdaki eşitlik ile hesaplanır.

$$CRF = \frac{i \times (1+i)}{(1+i)^n - 1} \quad (4.104)$$

4.9.1.4.Sistemin Hurda Değeri

Kurulan sistemin ömrü sonunda elde edilecek mali değer aşağıdaki eşitlik ile hesaplanır.

$$SV = TCI \times \mu \quad (4.105)$$

Burada TCI sistemin ilk yatırım maliyetini, μ ise hurda değeri yüzdesini ifade etmektedir.

4.9.1.5. Ekonomik Değerlerin Hesabı

Bir sisteme ait şimdiki zaman değeri,

$$PW = TCI - SV \times PWF \quad (4.106)$$

Sistemin yıllık yatırım maliyeti ödemeleri;

$$AC = PW \times CRF \quad (4.107)$$

Sistemin saatlik ilk yatırım maliyeti;

$$\dot{Z}_{sistem}^T = \phi_k \frac{AC}{\tau} \quad (4.108)$$

Ekipmanların saatlik ilk yatırım maliyeti;

$$\dot{Z}_k^T = \dot{Z}_{Sistem}^T \frac{PEC_k}{TCI} \quad (4.109)$$

Sistem ekipmanlarının giydirilmiş alış fiyatı;

$$PEC_k^* = PEC_k \times \frac{\sum PEC}{TIC} \quad (4.110)$$

Bu eşitlikte TIC değeri toplam maliyet ile yapısal maliyetler arasındaki farka eşittir ve aşağıdaki eşitlik ile ifade edilmektedir.

$$TIC = TCI - SC \quad (4.111)$$

Son olarak, ekipmanların saatlik seviyelendirilmiş ilk yatırım maliyeti Eş.4.112 ile hesaplanır.

$$\dot{Z}_k^{*,T} = \dot{Z}_{Sistem}^T \frac{PEC_k^*}{\Sigma PEC^*} \quad (4.112)$$

Bu eşitliklere göre, sistemi oluşturan ekipmanların alış fiyatları (PEC), bu ekipmanların saatlik ilk yatırım maliyet akımları (Z_k^T), ekipmanların sigorta, işçilik, nakliye vb. etkenlere göre seviyelendirilmiş alış fiyatı (PEC^*) ve bu seviyelendirilen fiyata göre belirlenen saatlik seviyelendirilmiş ilk yatırım maliyet akımları Eş. 4.112 kullanılarak hesaplanmış ve bu sonuçlar Çizelge 4.9'da gösterilmiştir.

Çizelge 4.9. Ekipmanların normal ve seviyelendirilmiş alış fiyatları ile bu fiyatları göre toplam maliyet akımları.

Ekipman	Ekipman Fiyatı (PEC) (\$)	Z_k^T (\$/h)	Seviyelendirilmiş Ekipman Fiyatı (PEC*) (\$)	Z_k^{*T} (\$/h)
Buhar Kazanı	4000000	4,10816	5150882,6685	5,2902
Türbin	7220000	7,41522	9297343,2166	9,5487
Kondenser	1000000	1,02704	1287720,6671	1,3225
Kondense pompası	150000	0,15406	193158,1001	0,1984
Besleme deposu, degazör	150000	0,15406	193158,1001	0,1984
Besleme suyu pompası	375000	0,38514	482895,2502	0,4960

Çizelge 4.9. (devam ediyor).

Basınç ve sıcaklık düşürme	107000	0,10989	137786,1114	0,1415
----------------------------	--------	---------	-------------	--------

istasyonu				
Ekonomizer-1	35000	0,03595	45070,2233	0,0463
Ekonomizer-2	26000	0,02670	33480,7373	0,0344
Hava Ekonomizeri-1	35000	0,03595	45070,2233	0,0463
Hava Ekonomizeri-2	20000	0,02054	25754,4133	0,0265
Aspiratör (ID fan)	50000	0,05135	64386,0334	0,0661
Vantilatör (FD fan)	35000	0,03595	45070,2233	0,0463
Toplam Sistem	13203000	13,56000	17001775,968	17,4615
Yapısal Maliyetler	2950000	-	-	-

Her bir ekipman için transfer edilen ısı (q), üretilen güç (w) ve seviyelendirilmiş ekipman ilk yatırım maliyetine göre ($Z_k^{*,T}$), termo ekonomik balans denklemi aşağıdaki eşitlik ile hesaplanır [8].

$$\sum_e (\dot{C}_{e,k}) + \dot{C}_{w,k} = \sum_e (\dot{C}_{i,k}) + \dot{Z}_k^{*,T} \quad (4.113)$$

Yukarıdaki eşitlikteki \dot{C} değeri her bir ekipman için aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanır.

$$\dot{C} = c \times \dot{E}x \quad (4.114)$$

Burada, c her bir ekipmanın ekserji maliyeti (\$/GJ), \dot{C} ekserji akımlarını(\$/h), $\dot{E}x$ ise bileşenlerin ekserji değerlerini(kW) göstermektedir.

4.9.2 Speco Metodu

Bu tez çalışmasında termoekonomik analiz yöntemlerinden biri olan ve özgül ekserji maliyetlendirme yöntemi olarak bilinen SPECO metodu kullanılmıştır. Bu yöntemde bir ekipman için yakıt ve ürün tanımları ve uygun maliyetlendirme denklemleri arasında doğrudan bir bağlantı kurulması ile hesaplanır. SPECO metodu genellikle 3 adım ile tanımlanır [4].

1. Ekserji akımlarının tanımlanması
2. Yakıt ve ürün tanımlamalarının belirlenmesi
3. Maliyet denklemlerinin oluşturulması

Hesaplanan ekserji akımlarından sonra ikinci aşama olarak Yakıt (F) ve Ürün (P) tanımlamalarının yapılması gerekmektedir. Yakıt (F) prensibi, herhangi bir sistem alt bileşenine giren akışı, o bileşenin “yakıtı” olarak tanımlar ve bu akışın maliyetini bir önceki akışların ortalama ekserji maliyetlerine eşit olarak ifade eder. Diğer taraftan ürün (P) prensibi, herhangi bir sistem bileşeninin “ürün” akışını, sisteme giren yakıt akışının maliyetine eşit kabul eder [13]. Son aşama olarak belirlenen yakıt ve ürün tanımlamalarına göre her bir ekipmana ait maliyet denge denklemleri ve yardımcı denklemler oluşturulmuştur. Bu denklemler Çizelge4.10'da verilmiştir.

Çizelge4.10. Ekipmanların ekserjiye bağlı maliyet denge denklemleri, yardımcı denklemler ve yakıt-ürün tanımlamaları.

Ekipman	Ekserjiye Bağlı Maliyet Denge Denklemleri	Yardımcı Denklemler	Kural
Buhar Kazanı	$\dot{C}_3 + \dot{C}_4 + \dot{C}_5 + \dot{C}_{21} + \dot{C}_{17} + Z_{bk}$ $= \dot{C}_{23} + \dot{C}_{22} + \dot{C}_6$	$\dot{C}_6=0, \dot{C}_{17}=0, \dot{C}_{22}=0$ $C_{23} = C_{24} = C_{26}$	P
Türbin	$\dot{C}_{26} + Z_{türbin} = \dot{C}_{27} + \dot{C}_{şaft}$	$C_{26} = C_{27}$	F
Kondenser	$\dot{C}_{27} + \dot{C}_{28} + \dot{Z}_{kondense} = \dot{C}_{12} + \dot{C}_{29}$	$\dot{C}_{28}=0, \dot{C}_{29}=0$ $C_{27} = C_{12}$	F
Kondense pompası	$\dot{C}_{12} + \dot{C}_{kp.e} + \dot{Z}_{kp} = \dot{C}_{13}$	Yardımcı Denklem Yok	-
Besleme deposu,degazör	$\dot{C}_{13} + \dot{C}_{25} + \dot{C}_{bsp} + \dot{Z}_{bsp} = \dot{C}_{16}$	$\dot{C}_{14}=0$ $C_{16} = C_{19}$	P
Besleme suyu pompası	$\dot{C}_{15} + \dot{C}_{bsp.e} + \dot{Z}_{bsp} = \dot{C}_{16}$	Yardımcı Denklem Yok	-

Çizelge 4.10. (devam ediyor).

Basınç ve sıcaklık düşürme istasyonu	$\dot{C}_{24} + Z_{düşürücü} = \dot{C}_{25}$	Yardımcı Denklem Yok	-
---	--	-------------------------	---

Ekonomizer-1	$\dot{C}_6 + \dot{C}_{20} + \dot{Z}_{eko1} = \dot{C}_7 + \dot{C}_{21}$	$C_6 = C_7$	F
Ekonomizer-2	$\dot{C}_8 + \dot{C}_{19} + \dot{Z}_{eko2} = \dot{C}_9 + \dot{C}_{20}$	$C_8 = C_9$	F
Hava Ekonomizeri-1	$\dot{C}_1 + \dot{C}_9 + \dot{Z}_{he1} = \dot{C}_2 + \dot{C}_{10}$	$C_9 = C_{10}$	F
Hava Ekonomizeri-2	$\dot{C}_2 + \dot{C}_7 + \dot{Z}_{he2} = \dot{C}_3 + \dot{C}_8$	$C_7 = C_8$	F
Aspiratör (ID fan)	$\dot{C}_{10} + \dot{C}_{1d.e} + \dot{Z}_{1d} = \dot{C}_{11}$	Yardımcı Denklem Yok $\dot{C}_{11}=0$	-
Vantilatör (FD fan)	$\dot{C}_{hava} + \dot{C}_{fd.e} + \dot{Z}_{fd} = \dot{C}_1$	Yardımcı Denklem Yok $\dot{C}_{hava}=0$	-

Oluşturulan maliyet denge denklemleri, yardımcı denklemler de kullanılarak çözümlendiği zaman türbin çıkışındaki birim ekserji maliyeti $\dot{C}_{SAFT} = 18,96 \text{ \$/GJ}$ olarak bulunur.

BÖLÜM 5

SONUÇ VE ÖNERİLER

Yapılan bu çalışmada, Karabükilinde kurulu bulunan bir Demir&Çelik Fabrikasında, yeni Yüksek Fırın yatırımı kapsamında kurulmuş olan; ana ekipman olarak 100 t/h kapasitede bir buhar kazanı ile 24,071 MW kapasitede bir Turboblower ve yardımcı ekipmanlarından oluşan santralin ekserji ve termoekonomik analiz yoluyla performansı değerlendirilmiştir. Yapılan ekserji analizi sonucunda, en düşük ekserji verimi sırasıyla % 44,7 ile kondenserde, % 45,3 ile kondense pompasında, %55,2 ile basınç ve sıcaklık düşürme istasyonunda, % 59,1 ile buhar kazanındameydana geldiği tespit edilmiştir. Maksimum ekserji yıkımı ise sırasıyla 39754,966 kW ile kazanda ardından 6643,479 kW ile türbinde meydana geldiği tespit edilmiştir.

En yüksek iyileştirme potansiyeline ekipmanların sırasıyla 39754,966 kW ile buhar kazanı ve 6643,479 kW ile türbin olduğu tespit edilmiştir. Dolayısıyla sistemde iyileştirme çalışmaları yapılırken dikkate alınacak öncelikli ekipmanlar kazan ve türbindir. Sistemin toplam iyileştirme potansiyeli 54717,427 kW olarak bulunmuştur.

Yapılan termoekonomik analiz sonucunda, sistemi oluşturan ekipmanların alış fiyatları, bu ekipmanların saatlik ilk yatırım maliyet akımları, ekipmanların işçilik, nakliye vb. etkenlere göre seviyelendirilmiş alış fiyatları ve bu seviyelendirilen fiyata göre belirlenen saatlik seviyelendirilmiş ilk yatırım maliyet akımları tespit edilmiştir.

SPECO metoduna göre yapılan hesaplamalar sonucunda Yüksek Fırın yakma havası ihtiyacını karşılamak için kurulu olan Blower'a güç aktaran türbinin shaft gücünün birim ekserji maliyeti 18,96 \$/GJ olarak hesaplanmıştır. Bu değer literatürde bulunan değerlerle karşılaştırıldığında; Abuşoğlu ve Kanoğlu [19,20] tarafından yapılmış olan çalışmalarda, 25,3 MW elektrik ve 170°C'de 8,1 ton buhar üretim kapasitesine sahip dizel motorlu bir kojenerasyon sistemi için SPECO metoduna göre

yaptıkları termoekonomik analizlerde elektrik sistemi için 10,31 \$/GJ, buhar sistemi için ise 33,71 \$/GJ olarak hesaplamışlardır. Özdemir vd. [21] yapmış oldukları çalışmada, akışkan yataklı, kömür ile çalışan bir buhar kuvvet santralinde, SPECO metoduyla termoekonomik analiz yapmışlardır. Üretilen buharın birim ekserji maliyerini 17,88 \$/GJ olarak bulmuşlardır. Uysal [9], yapmış olduğu tez çalışmasında, 160 MW kapasiteli bir termik santralde SPECO ve MOPSA metodu kullanarak yaptığı termoekonomik analiz sonucunda, üretilen elektriğin birim maliyetini SPECO metoduna göre 12,14 \$/GJ, MOPSA metoduna göre ise 14,06 \$/GJ olarak tespit etmiştir.

Sonuç olarak incelediğimiz sitemin SPECO analizinde türbin shaft gücü için elde edilen 18,96 \$/GJ değeri, günümüzün şartlarına göre normal seviyede bir değerdir.

Son yıllarda yapılan çalışmalar; tesislerin projelendirilmesinde veya mevcut sistemlerin iyileştirme çalışmalarında termodinamik analizin tek başına yeterli olmadığını, sistemler incelenirken termodinamik analizin yanı sıra ekonomikliğinde göz önüne alındığı analizleri ön plana çıkmakta ve sistemlerin değerlendirmesinde daha doğru fikirler vermektedir.

KAYNAKLAR

1. Kılınç, E., "Endüstriyel Fırınlarda Enerji Analizi ve Verim Artırıcı Yöntemler" Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi*, Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük, 1-2(2012).
2. Çengel, Y. A. ve Boles, M. A. "Mühendislik yaklaşımıyla termodinamik", Çeviri Editörleri, Derbentli, T., McGraw-Hill, İstanbul, 369-791 (1996).
3. Ertesvag, I.S., "Energy, exergy, and extended-exergy analysis of the Norwegian society 2000", Energy, an International Journal, Department of energy and process engineering, *Norwegian University of Science and Technology, Trondheim, Norway*, 30 (5): 649-675 (2005).
4. Ergün, A., "Organik Rankine Çevrimi Prensibine Göre Çalışan Bir Jeotermal Elektrik Santralinin Termoekonomik Analizi", Doktora Tezi, *Karabük Üniversitesi*, Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük, 4-5: 60-68 (2014).
5. Uysal, C., "Bir Termik Santralin Termoekonomik Analizi" Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi*, Karabük, 3: 20 (2012).
6. Lenti F, Massardo A, Satta A. Thermo-economic Optimization of Simple Thermal Power Plant Using Mathematical Minimization Algorithms, CH2781-3/89/0000-1725, IEEE, *Usa*, 1989.
7. Filiz, Ç., "Bir Buhar Kazanının Enerji ve Ekserji Analizi Yoluyla Performansının Değerlendirilmesi" Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi*, Karabük, 19 (2012).
8. Abuşoğlu, A., Demir, S. and Kanoğlu, M., "Biyogaz beslemeli gaz motorlu bir kojenerasyon sisteminin termoekonomik analizi", *Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi*, 33(2): 09-21(2013).
9. Ozdemir, K., Hepbasli, A., and Eskin, N., "Exergoeconomic analysis of a fluidized-bed coal combustor (FBCC) steam power plant", *Applied Thermal Engineering*, 30(13): 1621-1631 (2010).
10. Çamdalı, Ü. and Tunç, M., "Enerji Sistemlerinde Termoekonomik Yaklaşım Ve Uygulamalar", *Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 8-3: 49-56 (2004).
11. Rosen, M. A., Dincer, I., "Effect of Varying Dead-State Properties on Energy and Exergy Analyses of Thermal Systems", *International Journal of Thermal Sciences*, 43, 121-133, 2004.

12. Arslan, O., Seyitömer Termik Santrali Birinci ve İkinci Yasa Çözümlenmeleri, Yüksek Lisans Tezi, *Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, 2005.
13. Abuşoğlu, A, ve Kanoğlu, M., "Exergetic and thermoeconomic analyses of diesel engine powered cogeneration: Part 1 - Applications", *Applied Thermal Engineering*, 29 (2-3): 234-241 (2009).
14. Atik, K., "Termoelektrik soğutucu tasarımında termoeconomic optimizasyon", *5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS'09)*, Karabük, 25-30 (2009)
15. Modesto, M. and Nebra, S.A., "Exergoeconomic analysis of the power generation system using blast furnace and coke oven gas in a Brazilian steel mill", *Applied Thermal Engineering*, 29 (11-12): 2127-2136 (2009).
16. Çengel, Y. A. ve Boles, M. A., "Termodinamik, Mühendislik Yaklaşımıyla, 5. Baskı", Pınarbaşı, A., *Güven Bilimsel*, İzmir, 753-757, 764 (2011).
17. Yazıcı, H. ve Selbaş, R., "Bir Buharlı Güç Santralinin Enerji ve Ekserji Analizi", Selçuk Üniversitesi, *Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Teknik-Online Dergi*, Cilt 10, Sayı:1-2011.
18. Coşkun, A., Geredelioğlu, C., Bolattürk, A., Gökaslan, M. Y., "Çayırhan Termik Santralinin Enerji ve Ekserji Analizi", *11. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi*, 17/20 Nisan 2013, İzmir.
19. Filiz, Ç. Uysal, C. Kılınç, E. Kurt, H., "Bir Buhar Kazanının Enerji ve Ekserji Analizi Yoluyla Performansının Değerlendirilmesi", *MYO, Kilis 7 Aralık Üniversitesi, Kilis, Türkiye Mühendislik Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümü, Karabük Üniversitesi, Türkiye, Akademik Platform* (2014).
20. Taner, T., M. Sivrioğlu, "Şeker Fabrikalarındaki Enerji Santralleri İçin Termoeconomic Analiz Yöntemi", *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, Vol 29, No 2, 407-414, 2014.
21. Unal, F. Sablon 24.11.2014 14:46 Page 5 "Tunçbilek Termik Santralinin Enerji ve Ekserji Analizi", *Tesisat Mühendisliği* - Sayı 143 - Eylül/Ekim 2014.

ÖZGEÇMİŞ

Ümit ARSLAN, 1977 yılında Karabük iline bağlı Safranbolu ilçesinde doğdu. İlk ve orta öğrenimini aynı şehirde tamamladıktan sonra 1994 yılında Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü'nü kazandı. 1998 yılında mezun olduktan sonra 1 yıl ısıtma havalandırma üzerine çalışan özel bir mühendislik firmasında proje mühendisi olarak çalışmaya başladı. 2000 yılında askerliğini tamamladı. 2000-2003 yılları arasında Ümran Çelik Boru Fabrikası Akçakoca tesisinde Üretim ve Kalite departmanlarında çalıştı. 2003 yılında KARDEMİR A.Ş. Enerji Tesisleri Müdürlüğü'nde Mekanik Bakım Mühendisi olarak çalışmaya başladı. 2006 yılında aynı firmada başlayan yatırım hamleleri ile birlikte birçok yatırım projesinde yer aldı ve Yatırımlar ve Teknik Hizmetler grubunda Proje Mühendisi olarak çalışmaya başladı. 2015 yılında açılan Su Tesisleri ve Çevre Yönetim Müdürlüğü'ne Mekanik Bakım ve Korozyon Başmühendisi olarak atandı. Halen aynı görevine devam etmektedir. Ümit ARSLAN, evli ve bir çocuk babasıdır.

ADRES BİLGİLERİ

Adres : Yeni Mah. Ünsal Tülbentçi Sok. Meltem Sit. B-Bok Daire:6
78600 Safranbolu- KARABÜK
Tel : 0 5426749687
E-posta : uarslan@kardemir.com