

**50 MW GAZ YAKITLI BUHARLI ENERJİ
SANTRALİNİN GELİŞMİŞ EKSERJİ ANALİZİ**

**2015
YÜKSEK LİSANS TEZİ
ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ**

Kadir YILMAZ

**50 MW GAZ YAKITLI BUHARLI ENERJİ SANTRALİNİN GELİŞMİŞ
EKSERJİ ANALİZİ**

Kadir YILMAZ

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

**KARABÜK
Haziran 2015**

Kadir YILMAZ tarafından hazırlanan “50 MW GAZ YAKITLI BUHARLI ENERJİ SANTRALİNİN GELİŞMİŞ EKSERJİ ANALİZİ” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Yrd.Doç.Dr. Muhammet KAYFECİ

.....

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 (KOÜ)

.....

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

.....

Üye : Yrd. Doç. Dr. Engin GEDİK (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.”

Kadir YILMAZ

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

50 MW GAZ YAKITLI BUHARLI ENERJİ SANTRALİNİN GELİŞMİŞ EKSERJİ ANALİZİ

Kadir YILMAZ

Karabük Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı:

Yrd. Doç. Dr. Muhammet KAYFECİ

Haziran 2015, 56 sayfa

Türkiye, nüfusu ve gelişen ekonomisi ile enerji ihtiyacı gün geçtikçe hızla artan, buna karşılık yerli enerji kaynakları sınırlı olan ve enerji talebinin büyük bir kısmını ithal eden bir ülkedir. Enerji kaynakları kısıtlı olan ülkemizde, enerjiyi etkin kullanma ve tasarruf uygulamalarının arttırılması ülkemizin enerji ithalatının azaltılması yönünde olumlu katkı sağlayacaktır.

Termal sistemlerin değerlendirilmesi ve geliştirilmesi için termodinamik verimsizliklerin kaynağı ve sistem bileşenleri arasındaki etkileşimin anlaşılması gereklidir. Termal sistemlerin enerji ve ekserji verimleri; sistemlerin dizaynında, sistemlerin seçilmesinde ve sistemin çalışma şartlarının belirlenmesinde önemli karar parametreleridir.

Bu alışmada 50 MW gaz yakıtlı buhar santralinde klasik ve gelişmiş ekserji analizleri yapılarak kayıp bölgeleri ve geliştirilebilir bölgeler belirlenmiştir. Gelişmiş ekserji analizi sonucunda en fazla önlenebilir ekserji yıkımı 6874 kW ile kazanlarda olduğu tespit edilmiştir. Kazanlarda kaçınılmaz ekserji yıkımı ise 12371 kW olarak bulunmuştur. En büyük ekserji yıkımı ise 22997 kW olarak kondenserde gerçekleşmiştir. Kondeneslerde 20193 kW kaçınılmaz ekserji değeri vardır. Sistem üzerinde iyileştirmeler yapıldığı takdirde toplam 17260,34 kW önlenebilir ekserji değeri olduğu belirlenmiştir.

Anahtar Sözcükler :Buharlı güç santrali, enerji analizi, gelişmiş ekserji analizi, atık gaz.

Bilim Kodu : 914.1.074

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

ADVANCED EXERGY ANALYSIS OF 50 MW FUELLED STEAM POWER PLANT

Kadir YILMAZ

Karabük University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Energy Systems Engineering

Thesis Advisor:

Assist. Prof. Dr. Muhammet KAYFECİ

June2015, 56 pages

Although it has limited domestic energy resources and imports large part of energy demand, Turkey, with its population and growing economy, is a country that increases energy needs rapidly day by day. Efficient using of energy and increasing the saving practices will contribute to reduction of energy imports in our limited energy resources country.

To evaluation and improving of thermal systems, the source of the thermodynamic inefficiencies and interaction between system components are to be understood. Energy and exergy efficiency of thermal systems are important determination parameter in design of systems, selection of systems and defining of systems operating conditions.

In this study, in 50 MW gas-fired steam power plant, calculating with conventional and advanced exergy analysis, there were identified the loss and improvable regions. As a result of advanced exergy analysis, there were identified that most avoidable exergy destruction is in the boiler as 6874 kW. The unavoidable exergy destruction in the boiler were found as 12371 kW. The largest exergy destruction has been took place in the condenser as 22997 kW. Unavoidable exergy value is 20193 kW in condenser. If there is making some improvements on the system, there can be identified value of 17260.34 kW total avoidable exergy.

Key Words : Steam power plant, energy analysis, advanced exergy analysis, waste gas.

Science Code : 914.1.074

TEŞEKKÜR

Tezimin hazırlanmasında yardımcı olan, bilgi ve tecrübeleriyle yol gösteren ve yüksek lisans eğitimin boyunca her aşamada bana destek veren hocam Yrd.Doç.Dr. Muhammet KAYFECİ'ye en içten teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca tez aşamasında desteğini esirgemeyen Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi Öğretim Üyesi Doç.Dr. Ali KEÇEBAŐ'a, her türlü konuda benden yardımlarını esirgemeyen KARDEMİR A.Ő. Kuvvet Santrali'nde görev yapan Kuvvet Santrali Başmühendisi Sn. Baran Merter'e ve yardımcı olan tüm arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Manevi desteklerini heran hissettiğim ve gösterdikleri sabırlar için sevgili eşim Sema Yılmaz ve oğlum Kaan Yılmaz'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL.....	ii
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vii
İÇİNDEKİLER	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xiii
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2	3
LİTERATÜR ÇALIŞMASI.....	3
BÖLÜM 3	6
ENERJİ VE EKSERJİ	6
3.1. ENERJİ VE İŞ KAVRAMI.....	6
3.2. EKSERJİ KAVRAMI	7
3.2.1. Ekserji Kavramının Anlamı.....	7
3.2.2. Çevre (Ölü) Hal	9
3.3. EKSERJİ DENGESİ	11
3.4. EKSERJİNİN BİLEŞENLERİ	15
3.4.1. Kinetik ve Potansiyel Ekserji	15
3.4.2. Kimyasal Ekserji.....	15
3.4.3. Fiziksel Ekserji	16
3.5. GELİŞMİŞ EKSERJİ	18
3.5.1. Dış/İç Kaynaklı Ekserji Yıkımı	18

	<u>Sayfa</u>
3.5.2. Önlenebilir/Önlenemez Ekserji Yıkımı	19
3.5.3. Bölümlerin Kombinasyonu.....	19
BÖLÜM 4	21
SİSTEM VE YAKITLAR.....	21
4.1.SİSTEMİN GENEL TARİFİ.....	21
4.2. KOK GAZI.....	22
4.3. YÜKSEK FIRIN GAZI.....	24
4.4. KONVERTER GAZI	27
4.5. DOĞAL GAZ.....	29
BÖLÜM 5	31
EKSERJİ ANALİZİ	31
5.1. YANMA DENKLEMLERİ	31
5.1.1. Kok Gazı.....	31
5.1.2. Yüksek Fırın Gazı.....	31
5.1.3. Konverter Gazı	32
5.1.4. Doğalgaz.....	33
5.2. YAKITLARIN EKSERJİLERİNİN BELİRLENMESİ.....	35
5.2.1. Genel İfade	35
5.2.2. Kimyasal ve Fiziksel Ekserji	35
5.2.3. Baca Gazı Entalpisi	39
5.2.4. Yakma Havası Entalpisinin Hesaplanması.....	40
5.2.5. Kazandan Çevreye Olan Isı Kaybı	41
5.2.6. Kazanın Isıl Verimi	42
5.2.7. Besleme Suyu Ekserjisi	42
5.2.8. Buhar Ekserjisi	43
BÖLÜM 6	50
SONUÇLAR VE ÖNERİLER	50
6.1. SONUÇLAR	50
6.2. ÖNERİLER	51

	<u>Sayfa</u>
KAYNAKLAR	52
ÖZGEÇMİŞ	56

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 3.1. Ekserjinin ifade biçimi	8
Şekil 3.2. Ekserjinin sınıflandırılması	8
Şekil 3.3. Referans şartları ile sistem şartları arasındaki işi ilişkisi	10
Şekil 3.4. Ekserji dengesi	11
Şekil 3.5. Faydalı net işin gösterimi	11
Şekil 4.1. Ham çelik üretim metodları	21
Şekil 4.2. Kok fırınları	22
Şekil 4.3. Kok fırın bataryaları.....	23
Şekil 4.4. Yüksek fırın şematik gösterimi	25
Şekil 4.5. Yüksek fırın	26
Şekil 4.6. Konverter şematik gösterimi.....	28
Şekil 5.1. Yakıtlar ve yanma ürünleri	31
Şekil 5.2. Sistem şeması.....	34
Şekil 5.3. Kazan kontrol hacmi giren ve çıkan ürünler.....	41

ÇİZELGELER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 3.1. Enerji ve ekserji arasındaki karşılaştırma	9
Çizelge 4.1. Yanma gazlarının özellikleri.....	22
Çizelge 4.2. Kok gazı bileşenleri	24
Çizelge 4.3. Kok gazı yoğunluk hesap tablosu	24
Çizelge 4.4. YF gazı bileşenleri	26
Çizelge 4.5. YF gazı yoğunluk hesap tablosu	27
Çizelge 4.6. Konverter gazının özellikleri	28
Çizelge 4.7. Konverter gazı yoğunluk hesap tablosu	29
Çizelge 4.8. Doğalgazın özellikleri	29
Çizelge 4.9. Doğalgaz yoğunluk hesap tablosu	30
Çizelge 5.1. Kok gazı hava/yakıt oranları	31
Çizelge 5.2. YF gazı hava/yakıt oranları.....	32
Çizelge 5.3. Konverter gazı hava/yakıt oranları.....	32
Çizelge 5.4. Doğalgaz hava/yakıt oranları	32
Çizelge 5.5. Yakıt ve baca gazı miktar tablosu	33
Çizelge 5.6. Yakıtların kimyasal enerji faktörü tablosu.....	35
Çizelge 5.7. Yakıtların özellikleri	38
Çizelge 5.8. Baca gazı oranları	39
Çizelge 5.9. Güç santralinde enerji, ekserji oranı ve diğer termodinamik özellikler	45
Çizelge 5.10. Gelişmiş ekserji analizi sonucunda sistem bileşenlerinde önlenebilir ve kaçınılmaz ekserji yıkımları	48

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

Q	:Isı enerjisi (kJ)
q	:Birim kütle ısı enerjisi (kJ/kg)
W	:İş (kJ)
\dot{W}	:Güç (W)
E	:Enerji (kJ)
e	:Özgül enerji (kJ/kg)
P	:Basınç (Pa)
P_0	:İlk hal basıncı (Pa)
T	:Sıcaklık (K)
T_0	:İlk hal sıcaklığı (K)
E_x	:Ekserji (kJ)
$E_{x_{ke}}$: Kinetik enerji ekserjisi (kJ)
$E_{x_{pe}}$: Potansiyel enerji ekserjisi (kJ)
$E_{x_{kim}}$: Kimyasal enerji ekserjisi (kJ)
$E_{x_{fiz}}$: Fiziksel enerji ekserjisi (kJ)
X	: Açık sistemin ekserjisi (kJ)
ψ	: Birim kütle için açık sistemin ekserjisi (kJ/kg)
ϵ	: Ekserji verimi
G_{pot}	: Ekserji geliştirme potansiyeli
F	: Kuvvet (N)
m	: Kütle (kg)
U	: İç enerji (kJ)
U_0	: İlk hal iç enerjisi (kJ)
u	: Birim kütle iç enerjisi (kJ/kg)
e_p	: Potansiyel enerji (kJ)

e_k	: Kinetik enerji (kJ)
V	: Hacim (m^3)
g	: Yerçekimi ivmesi (m/s^2)
z	: Yükseklik farkı (m)
H	: Entalpi (kJ)
H_0	: İlk hal entalpisi (kJ)
h	: Birim kütle entalpisi (kJ/kg)
S	: Entropi (kJ)
S_0	: İlk hal entropisi (kJ)
s	: Birim kütle entropisi (kJ/kg)
\bar{s}	: Molar entropi (kJ/kmol)
S_{iir}	: Tersinmezliklerden kaynaklı üretilen entropi (kJ)
C_v	: Sabit hacimde özgül ısı kapasitesi (kJ/kgK)
\bar{C}_v	: Sabit hacimde molar ısı kapasitesi (kJ/kmolK)
C_p	: Sabit basınçta özgül ısı kapasitesi (kJ/kgK)
\bar{C}_p	: Sabit basınçta molar ısı kapasitesi (kJ/kmolK)
\bar{R}	: Üniversal gaz sabiti (8,314 kJ/kmolK)
R	: Gaz sabiti (kJ/kgK)
η	: Verim
y_i	: Mol oranı

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Dünya ile paralel olarak, ülkemizin de, artan nüfusu ve gelişen ekonomisi ile enerji ihtiyacı her geçen zamanda hızla artan, buna karşılık enerji talebinin büyük bir kısmını ithal eden bir ülkedir. Bu enerjideki talep artışının gelecekte de süreklilik göstermesi beklenmektedir. Enerji kaynakları kısıtlı olan ülkemizde, enerjiiyi etkin kullanma ve tasarruf uygulamalarının arttırılması ülkemizin enerji ithalatının azaltılması yönünde olumlu katkı sağlayacaktır. Buna paralel olarak Türkiye'nin hızla büyüyen enerji ihtiyacının ucuz olarak karşılanması yanı sıra çevre kirliliğinin de kontrol altına alınması gittikçe daha fazla önem kazanmaktadır (Niğdelioğlu, 2006).

Katı, sıvı ve gaz yakıtların her bir türünün kendi içlerinde farklılık göstermesi, bu yakıtlardan enerji elde ediş şekil ve kalitesini de belirler. Bu, yakıtın yakılması, yanma sonucu oluşan ısının diğerk akışkan ve proseslere aktarım şekli, mekanik enerjinin elde edilişi ve sonunda elektrik enerjisinin elde edilişi gibi prosesleri etkiler.

Termal sistemlerin değerkendirilmesi ve geliştirilmesi için termodinamik verimsizliklerin kaynağı ve sistem bileşenleri arasındaki etkileşimin anlaşılması gereklidir. Termodinamik açıdan termal sistemlerin performansları termodinamiğın birinci ve ikinci yasası ile değerkendirilebilir. Termodinamiğın birinci yasası enerji korunumuna dayanır ve enerjinin var veya yok edilemeyeceğini vurgular. İkinci yasa, bir hal değışimi sırasında enerjinin niteliğinin azalması, entropi üretimi ve iş yapabilme olanağının değerkendirilmesini sağlar. Tersinir sistemlerin haricinde kullanılabilirlik (ekserji) enerji gibi korunmaz, yok edilebilir. Ekserjinin bir bölümü sistem içerisindeki tersinmezliklerden dolayı yok olur, bir bölümü ise sistem sınırlarından çevreye atılır (ekserji kaybı).

Bir sistemin çevre ile aniden dengeye geldiği ve işin hiç elde edilemediği durum, ekserjinin tamamen yok edildiği, sınır durumudur. Başlangıçta var olan iş yapabilme kapasitesi, ani değişikliğin olduğu süreçte tamamen harcanır. Ayrıca, böyle ani bir değişikliği sağlamak için iş gerekmediği için, ekserjinin değeri negatif olamaz ve en azından sıfırdır (Bejan, 1996).

Ekserji verimi, bir sistemin veya prosesin ideal şartlara ne kadar yaklaştığının bir göstergesidir. Bu nedenle termal sistemlerin enerji ve ekserji verimleri, sistemlerin dizaynında, sistemlerin seçilmesinde ve sistemin çalışma şartlarının belirlenmesinde önemli karar parametreleridir. Ayrıca ekserji analizi yöntemi, bir sistemdeki termodinamik verimsizliklerin ortadan kaldırılarak daha verimli sistem tasarımının nasıl yapılabileceğini ve mevcut şartların doğru tanımlanmasını sağlamaktadır. Ekserji analizi güç santralleri ve bağlı proseslerin yanında, bunların teknolojisini sorgulamak amacıyla da kullanılabilir (Szargut vd., 1998).

Bu çalışmada, çevrim sistemine, termodinamiğin birinci ve ikinci yasası uygulanarak, santraldeki kayıp ve kazançların belirlenmesine çalışılmıştır. Tersinmezlikler, sistemlerde veya süreçlerde, entropi üretiminin neden olduğu kullanılabilir enerji kaybını belirleyen bir ifadedir (Hepbaşlı, 2008).

Geleneksel ekserji analizi, proses ve ekipmanların tersinmezliklerini analiz eder. Gelişmiş ekserji analizi ise, geleneksel yöntemin sınırlı, yetersiz kaldığı durumda sistem hakkında daha detaylı bilgi sahibi olmak amacıyla devreye girer. Potansiyel geliştirme olanaklarını gözden geçirir.

BÖLÜM 2

LİTERATÜR ÇALIŞMASI

Ekserji analizi, ekserji verimsizliklerinin yerini ve büyüklüğünü belirleyebildiği için sistemlerin tasarlanmasında ve geliştirilmesinde kullanışlı bir metot olarak yoğun bir şekilde kullanılmaktadır. Bir Termodinamik sistemin ekserjisi, sistemin sadece çevresiyle etkileşim durumunda, sistemin çevresiyle tümüyle termodinamik denge haline gelirken elde edebilecek maksimum teorik yararlı iş olarak tanımlanır (Tsatsaronis, 2007). Ekserji daha sonra, verilen şartlarda, çevre ile aynı şartlara getirilmesi sonucu bir sistemden elde edilebilecek maksimum iş şeklinde tanımlanmıştır (Kotas, 1995). Dinçer (2002) ise, bir enerji şeklinin ya da maddenin ekserjisi, onun çevre üzerinde değişim yapabilme potansiyeli, kalitesi ya da kullanılabilirliğinin bir ölçüsü olarak ifade etmiştir.

Ekserji, Yunanca ex (dış) ve argon (kuvvet ve iş) kelimelerinden türetilmiş ve 1824 yılında Carnot tarafından kullanıldığı kabul görmektedir (Wall, 1988). Ekserji analizi konusundaki çalışmalar ise Gouy ve Stodola ile başlamış, sonraki yıllarda F. Bonsjokovic tarafından geliştirilerek modernize edilmiştir (Szargut 1988). Maxwell (1871), “kullanılabilir enerji” kavramını kullanmıştır. Gibbs (1873), “mümkün olan en fazla iş, dönen mil işi” adı altında kullanılabilir enerji için analitik bir hesap yöntemi vermiştir. Stodola (1898), akış olmayan bir proseste “mümkün olan en fazla brüt iş” ile ilgili bir ifade tanımlayarak kayıp brüt iş potansiyeli ile entropi arasında bir ilişki olduğunu göstermiştir. J. H. Keenan (1932), mümkün olan en yüksek net iş (dönen mil işi) için “kullanılabilirlik” terimini kullanmıştır. Aynı zamanda fiziksel ekserji ifadesini tanımlamıştır. Szargut, 1986 yılında, kimyasal ekserji kavramını ve bunun referans durumları ile birleştirilmesini açıklamıştır. Z. Rant, 1953’de ilk olarak “ekserji” terimini teknik iş yapabilme kapasitesi anlamında kullanmıştır. 1965’te, H.D. Baehr ekserji için, birbirlerine dönüşen bütün enerji formlarının bir parçası olduğunu ifade etti. Bu terim, aynı kavram için kullanılan diğer terimlerden farklı

olarak, uluslararası bir kabul görmüştür (Kapudere, 2004). Bodvarsson ve Eggers (1972) yaptıkları çalışmada, ilk ekserji analizini tek ve çift buharlaştırıcı iki farklı sistemden oluşan bir jeotermal güç santralinde uygulamışlar ve santralin tamamı için ekserji verimliliğini hesaplamışlardır. M. Slesser, 1974 yılında, 1970'li yıllardaki ekonomik kriz nedeni ile enerji kaynakların tüketimine yönelik araştırmalarda, ekserji analizinin, enstitüler tarafından önerildiğini ifade etmiştir. Ardından, ekserji, çevre şartlarından sapmanın bir ölçütü olarak tanımlandı. 1986 yılındaki çalışmasında ekserji analizinin endüstride uygulanabilirliğini gösterdi. (Wall,1986). Knoche ve Hesselmann (1986) ve Avgoisti vd. (1989) gibi araştırmacılar, ekserji kaybı-ürün kaybı ilişkilerini baz alan çalışmalar yapmışlardır. Bejan (1987, 1988) ısı değiştiricilerin tasarımına yönelik entropiyi baz alan çalışmalar yapmıştır. Tersinmezlik kavramından yararlanarak, çok sayıda çalışmaya referans olan, modern mühendislik termodinamiğinin en çok kullanılan yöntemlerden birisini, Minimum Entropi Üretimi kavramını ve bununla bağlantılı olarak Entropi Üretimi Sayısı' nı tanımlamıştır. Kotas (1985,1989), Ransinghe vd. (1989), Valero vd. (1989),De Luciae Manfrida (1989), Carrington ve Sun (1989) gibi araştırmacılar verimin düşük oluşu ve nedenleri üzerinde durmuşlar ve bu nedenleri ortadan kaldırmak için gerekli tasarım ve/veya işletme şartlarının değiştirilmesine yönelik çalışmalar yapmışlardır.

Kullanılabilir enerji (ekserji) analizi ile ilgili önemli çalışmalar 1990'lı yıllarda Tsatsaronis ve Moran tarafından yapılmıştır. Moran ekserji analizinin termodinamik sistem analizinde kullanılan temel ifadelerini belirlemiştir. Kuremenos ve Tsatsaronis (1991), ısı ve enerji sistemlerinin analizinde ekserji analizi yöntemini kullanmışlardır. Boehm (1992), ekserji analizi yönteminin termodinamik sistem tasarımında uygulanabilirliğini göstermiştir. Valero ve Tsatsaronis (1992), ekserji analizini kullanarak enerji sistemlerinde verimlilik ve maliyet optimizasyonu ve simülasyonu konularında bir çalışma yapmışlardır. Gool (1992), sanayi proseslerinin analizi için birinci kanun analizi yanında ekserji kavramının da faydalarını ayrıntılı olarak açıklamıştır. Tsatsaronis (1993), bir enerji tesisine, enerji sistemlerinin optimum tasarımını ve performansını hesaplamak için mühendislik ekonomisinin genel kavramları ile ekserjinin bir araya getirilmesinden oluşan termoekonomik analizi uygulamıştır. M. J. Moran ve E. Sciubba (1994), ekserji analizinin temel

prensiplerini açıklayarak fiziksel ve kimyasal ekserji kavramlarını tanımlamışlar ve ifadeleri formüle ederek güç sistemlerine nasıl uygulanabileceğini göstermişlerdir. Yaptıkları çalışmada hem ekserji prensiplerinin hem de enerji analizinin mevcut literatürü başarıyla kullanarak tıkanıklık ve kayıpların büyüklüklerini, tiplerini ve meydana geldiği yerleri tespit etmişlerdir. Nakicenovic vd. (1996), çeşitli ülkelerin ekserji ve enerji durumlarını sektörlere göre incelemişlerdir. Ertay (1997), Türkiye’de konut sektörü için enerji ve ekserji analizi yapmıştır. Söz konusu çalışmada konut sektörünün diğer sektörlerle karşılaştırıldığında en düşük ekserji verimliliğine sahip sektör olduğu görülmüştür. Erduranlı (1997), Karabük Demir Çelik Fabrikası’ndaki termik santraline ekserji analizini yapmıştır. Manninen ve Zhu (1998), bir güç santralini inceledikleri çalışmalarında, sistemin termodinamik analizini Termodinamiğin I. ve II. Yasaları açısından değerlendirmişler ve Termoekonomi yöntemini de kullanarak sistemin optimum şartlarını belirlemişlerdir. El-Sayed, 2002, ekserji kayıplarının optimal ısı değiştiricisi tasarımına etkisini inceleyerek, daha yüksek verim için çeşitli tasarım örnekleri sunmuştur. Balta (2010), jeotermal esaslı hidrojen üretim sistemlerinin ekserji ve eksergo-ekonomik analizini gerçekleştirmiştir.

BÖLÜM 3

ENERJİ VE EKSERJİ

3.1. ENERJİ VE İŞ KAVRAMI

Klasik bir ifade ile enerji iş yapma yeteneği olarak tanımlanır. Thomas Young (1807) ve Lord Kelvin (1852), enerjiyi değişikliklere yol açan etken olarak tanımlamışlardır. Enerji, makroskopik ve mikroskopik olarak ele alındığında, farklı biçimlerinden bahsedilebilir. Tasarladığımız ya da analiz ettiğimiz sistemin enerjisini bir dış referansa göre değerlendirdiğimizde, kinetik ve potansiyel enerji, makroskopik enerji olarak ifade edilebilir. Kinetik enerji, hareket enerjisi olup, sarkaçtaki potansiyel enerjinin kinetik enerjiye dönüşümü örneği verilebilir. Potansiyel enerji ise genel olarak endüstride aşağıda sıralandığı gibi altı farklı formda bulunabilir:

- Mekanik enerji
- Gravitasyonel enerji
- Elektrik enerjisi
- Termal enerji
- Kimyasal enerji
- Nükleer enerji

Mikroskopik enerji ise bir dış referansa bağlı değildir. Molekül hareketliliği gibi, sistemin iç enerjisi ile ilgilidir. Elektrik, manyetik, yüzey gerilimi, nükleer, özel enerji türleri olup, sistemin durumuyla ilgili olarak değerlendirilebilir. Bu bakımdan sistemin enerjileri, diğerleri ihmal edildiğinde, toplam enerji kinetik, potansiyel ve iç enerjiden oluşur. Isı ise, sıcaklık farkından dolayı, cisimler arasında iletim, taşınım ve ışınım yoluyla transfer olan yine bir enerji türü olarak ifade edilebilir. İş ise, iki sistemin sınırlarının birinden diğerine transfer olan enerji miktarı olarak tarif edilebilir.

Kapalı sistemlerde, sistem ve çevresi arasında kütle alışverişi olmadığından enerji, yalnız ısı ve iş değişimi şeklinde gerçekleşir. Kapalı bir sistem Q kadar ısı alıyor ve W kadar iş yapıyorsa, sistemin enerji dengesi denkleminin aşağıdaki gibi ifade edilir:

$$Q_{netgiren} - W_{netçıkan} = \Delta E_{sistem} \quad (3.1)$$

$$Q_{netgiren} = Q_{giren} - Q_{çıkan} \quad (3.2)$$

$$W_{netçıkan} = W_{çıkan} - W_{giren} \quad (3.3)$$

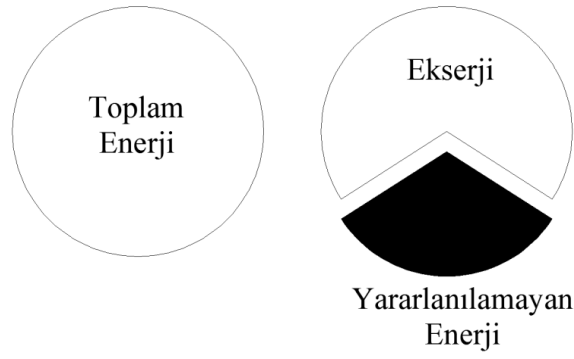
Termodinamiğin Birinci Yasası, sistemlerin enerji analizlerinde kullanılan araçlardır. Bu analiz ile bir sistemde enerji geri kazanımına yönelik gerçekleştirilecek olan iyileştirmeler yorumlanabilir ve ileriki aşamalarda kullanılacak veriler elde edilmiş olur.

3.2. EKSERJİ KAVRAMI

3.2.1. Ekserji Kavramının Anlamı

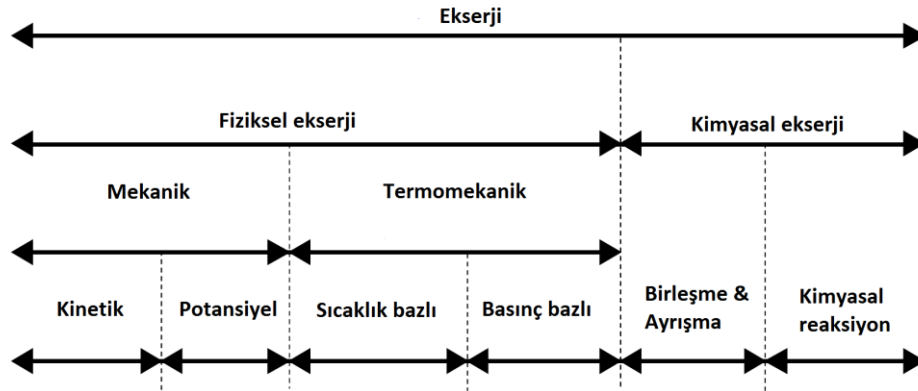
Bir sistemi değerlendirirken sistemin ihtiva ettiği enerji miktarı tek başına bir anlam ifade etmemektedir. Esas bilinmesi gereken sistemin “iş potansiyeli” veya “iş yapma olanağının” bilinmesidir.

Ekserji, Kotas (1985), Szargut vd. (1988), ve Bejan vd. (1996) tarafından bir sistemin belirli başlangıç halinden ölü hale ulaşmaya kadar elde edilebilecek en fazla teorik yararlı iş olarak tanımlanmaktadır. İş yapma kapasitesi, enerjinin kalitesinin bir ölçüsü olarak kabul edilir (Szargut vd., 1998). Bu durumda daha fazla mekanik iş oranı için, daha yüksek akışkan sıcaklığına ihtiyaç duyulacaktır. Daha yüksek akışkan sıcaklığı daha yüksek enerji kaynağı, alınan elektrik enerjisi ise faydalı iş olarak değerlendirilir. Bu iki durum arasında farkın büyük olması, kullanılabilir enerji anlamına gelen ekserji terimi ile ifade edilir (Çengel ve Boles, 1994).



Şekil 3.1. Ekserjinin ifade biçimi.

Bir hal değişimi sırasında yapılan iş, ilk hale, son hale ve izlenen yolabağıdır. Termodinamik bir sistemde ilk hal bellidir ve bu sebepten dolayı değışkendeğildir. İlk hal ile son hal arasında, sistemden elde edilebilecek maksimum yararlı iş olarak tanımlanabilen, entropi artışının olmadığı tersinir işin gerçekleşmesi durumunda sistem tarafından en çok iş gerçekleştirilebilir. Bu nedenle, elde edilebilecek potansiyel en çok işi hesaplarırken tersinmezlikler dikkate alınmaz.



Şekil 3.2. Ekserjinin sınıflandırması.

Enerji ve ekserji arasındaki karşılaştırma Çizelge 3.1'de verilmiştir(Dinçer, 2000a). Günümüzde kullanılabilirlik yada teknik literatürdeki adı ile ekserji kavramı, enerjinin iş potansiyelini yada diğer bir ifade ile sistemlerin nitelik durumlarını ölçmek için kullanılmaktadır. Bu bakımdan ekserji, bir sistemin niteliğini belirlemek için bir araç olmasının yanı sıra değışik sistemlerin iş potansiyellerini karşılaştırmak için de kullanılabilir. Korunması olanaksız olan bir sistemin ekserjisi, hal

değişimleri sonucu azalır. Ekserjinin azalışı, farklı sistemlerin karşılaştırılması için bir ölçüt olarak kullanılabilir.

Çizelge 3.1. Enerji ve ekserjinin karşılaştırılması.

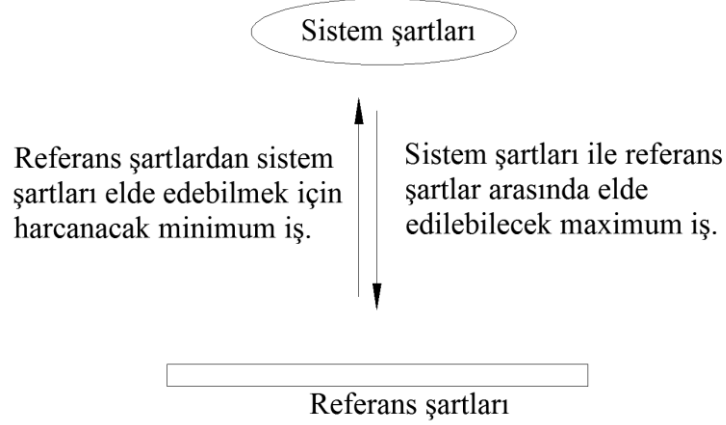
ENERJİ	EKSERJİ
Sadece enerji akışı ya da madde akışı parametrelerine bağımlı ve çevre parametrelerinden bağımsızdır.	Madde ya da enerji akışı parametrelerine ve çevre parametrelerine bağımlıdır.
Sıfırdan farklı değerlere sahiptir (enerji Einstein'in ifadesine göre mc^2 'ye eşittir).	Sıfıra eşit olabilir (çevre ile dengede, ölü hal durumunda).
Bütün prosesler için termodinamiğin 1. yasası uygulanır	Sadece tersinir prosesler için termodinamiğin birinci yasası uygulanır (tersinmez proseslerde kısmen veya tamamen tahrip edilir).
Bütün prosesler için termodinamiğin 2. yasası, enerji dönüşümlerinin yönü ve verimliliğini kısıtlar.	Tersinir prosesler için termodinamiğin 2. yasası ekserjiyi kısıtlamaz
Hareket ya da hareket ettirme kapasitesidir.	İş ya da iş yapabilme kapasitesidir.
Bir prosesin toplam enerjisi her zaman korunur.	Tersinir bir processte her zaman korunur. Fakat tersinmez processte her zaman tahip edilir.
Niceliğin bir ölçüsüdür.	Niteliğin bir ölçüsüdür.

TIG kaynak yönteminin kaynakçı tarafından kullanılması kolay olup prensip olarak gaz eritme kaynağına oldukça benzemektedir ve çok geniş, uygulama alanına sahiptir. Bu yöntemde erimeyen elektrot kullanıldığından bazı durumlarda ilave kaynak metaline gerek olmadan birleştirme yapılabilmektedir. Gerektiğinde gaz kaynağında olduğu gibi ilave metal kullanılmaktadır. Endüstride bu kaynak yöntemi daha çok kök pasoların çekilmesinde ve tamir işlerinde kaynakçıya büyük kolaylık sağladığından kullanım alanı her geçen gün yaygınlaşmaktadır.

3.2.2. Çevre (Ölü) Hal

Yukarıda, bir sistemden elde edilebilecek en çok iş, sistem belirli bir başlangıç halinden, tersinir bir hal değişimi ile çevrenin bulunduğu hale (ölü hale) getirilir ise elde edilebilir şeklinde ifade edilmişti. Bir madde akımının ekserjisi değerlendirilirken, çevrenin ısı ekserjisinin sıfır olduğu ve serbestçe tanımlanan

yaygın çevresel maddelerden oluştuğu kabul edilir. Bu yaygın çevresel maddeler, birbirleriyle denge halindedir ve bunların “ölü hal” durumunda oldukları söylenir (Arıkol, 1985). Referans noktasında olan ve hareketsiz duran bir akışkanın kinetik ve potansiyel enerjisi "sıfır"dır. (Çengel ve Boles, 1994).



Şekil 3.3. Referans şartları ile sistem şartları arasındaki işi ilişkisi.

Yani bir sistemin ölü halde olması çevresi ile termodinamik dengede bulunması anlamına gelir. Ölü halde iken sistem çevrenin basınç ve sıcaklığındadır. Başka bir deyişle sistem, çevre ile ısı ve mekanik dengededir. Mekanik dengeden kasıt, sistemin çevresine göre kinetik ve potansiyel enerjileri sıfırdır. Ölü hal durumunda aşağıdaki basınç ve sıcaklık değerleri kabul edilir:

Basınç; $P_0 = 101,325 \text{ kPa} = 1 \text{ Atm} = 101,325 \text{ kPa}$

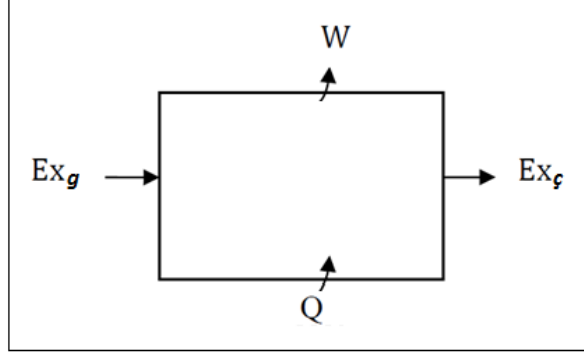
Sıcaklık; $T_0 = 25 \text{ °C} = 298,15 \text{ K}$

Ekserji; $E_x = 0$ (sıfır)

Sistem bu durumda (ölü hal) iken çevresi ile kimyasal reaksiyona girmez. Elektrik olarak potansiyel ve manyetik alan farkları da oluşmaz. Dolayısıyla ekserji, bir sistemin belirli bir halden çevre haline gidişinin bir ölçütü olmaktadır. Maksimum iş ise akışkan bu şartlara ulaştığında elde edilebilir (Çengel ve Boles, 1994). Bu maksimum iş potansiyeline ekserji adı verilir ve bu noktadan uzaklaştıkça kayıpların arttığı ve sistemde iyileştirmeler yapıp-yapılamayacağı üzerine sonuçların elde edilmesini sağlar.

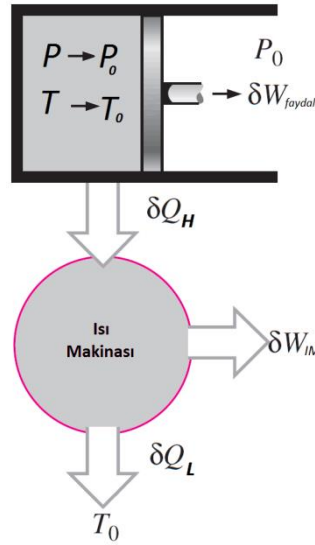
3.3. EKSERJİ DENGESİ

Kapalı sistem için kinetik ve potansiyel enerjiler ihmal edildiğinde enerji ve ekserji dengesi aşağıdaki gibi yazılabilir;



Şekil 3.4. Ekserji dengesi.

$$U_2 - U_1 = \int_1^2 \delta(Q - W) = E_2 - E_1$$



Şekil 3.5. Faydalı net işin gösterimi.

Yukarıdaki şekil 6'ya göre bağıntılar yazılırsa;

$$\delta W = PdV - P_0dV + P_0dV \quad (3.4)$$

$$\delta W = (P - P_0)dV + P_0dV \quad (3.5)$$

Burada;

$$\delta W = W_{faydalı} + P_0dV$$

$$\text{Net faydalı iş} = W - P_0(V_2 - V_1)$$

$$W_{IM} = \delta Q_H \cdot \eta_{th}$$

Sistemden elde edilebilecek en çok iş;

$$Q_H = Q_g ; Q_L = Q_ç$$

$$\eta_{th} = \frac{W_ç}{Q_g} = \frac{Q_H - Q_L}{Q_H} = 1 - \frac{Q_L}{Q_H} \quad (3.6)$$

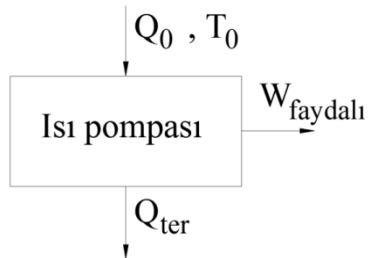
$$\frac{Q_H}{T_H} = \frac{Q_L}{T_L}$$

$$\eta_{th} = \frac{T_H - T_L}{T_H} = 1 - \frac{T_L}{T_H}$$

$$W_{ter} = W_{IM} = Q_g - Q_ç = Q_H - Q_L = Q_H \left(1 - \frac{T_L}{T_H} \right) = Q_H - T_L dS \quad (3.7)$$

$$T_L \Delta S \leq 0$$

$$W_{IM} = Q_H + T_L dS$$



Toplam faydalı iş;

$$\delta W_{top.faydalı} = \delta W_{faydalı} + \delta W_{IM}$$

$$\delta W_{top.faydalı} = \delta W - P_0 dV + Q_H + T_L dS = -dU - P_0 dV + T_L dS \quad (3.8)$$

Kapalı sistemin ekserjisi;

$$Q_L = T_0 \text{ olduğunda}$$

$$E_x = (U - U_0) + P_0(V - V_0) - T_0(S - S_0) + \frac{1}{2}mv^2 + mgz \quad (3.9)$$

Kapalı sistemin birim kütle için ekserjisi;

$$E_\phi = (u - u_0) + P_0(v - v_0) - T_0(s - s_0) + \frac{1}{2}v^2 + gz \quad (3.10)$$

$$E_\phi = (e - e_0) + P_0(v - v_0) - T_0(s - s_0) \quad (3.11)$$

$$\Delta E_x = E_{x_2} - E_{x_1} = m(E_{\phi_2} + E_{\phi_1})$$

$$\Delta E_x = (E_2 - E_1) + P_0(V_2 - V_1) - T_0(S_2 - S_1) \quad (3.12)$$

Açık sistemin ekserjisi;

$$E_{x_{açık}} = E_{x_{kapalı}} + E_{x_{akış}}$$

$$E_{x_{akış}} = P \cdot V - P_0 V = (P - P_0)V$$

$$X = (U - U_0) + P_0(V - V_0) - T_0(S - S_0) + (P - P_0)V + \frac{1}{2}mV^2 + mgz \quad (3.13)$$

$$\psi = (h - h_0) - T_0(s - s_0) + \frac{1}{2}v^2 + gz \quad (3.14)$$

Akışkanın ekserji değişimi;

$$\Delta \psi = \psi_2 - \psi_1 = (h_2 - h_1) - T_0(s_2 - s_1) + \frac{1}{2}(v_2^2 - v_1^2) + g(z_2 - z_1) \quad (3.15)$$

Tersinmezliklerden dolayı yıkıma uğrayan ekserji miktarı;

$$\dot{E}_{x_{yıkım}} = T_0 \dot{S}_{üretim} \geq 0$$

$$\dot{E}_{x_{yıkım}} = T_0 \left(\frac{dS_{kh}}{dt} + \dot{m}_\zeta s_\zeta - \dot{m}_g s_g - \frac{\dot{Q}}{T} \right) \quad (3.16)$$

Enerji ve ekserji verimleri; 1. Yasa enerji verimi, çıkan enerjilerin toplamının giren enerjilerin toplamına oranı olarak tanımlanır.

$$\eta_1 = \frac{Q_{kullanılan}}{Q_{kaynak}}$$

2. Yasa verimi şu şekilde hesaplanır;

$$\eta_{II} = \frac{\eta_{th}}{\eta_{tr}} = \frac{\eta_{sistem}}{\eta_{carnot}}$$

Sürekli akışta 2. yasa verimi;

$$\eta_{II} = \frac{W_{kh}}{W_{tr}} = \frac{h_g - h_\zeta}{\psi_g - \psi_\zeta} \quad (3.17)$$

Ekserji verimi çıkan ekserjilerin toplamının giren ekserjilerin toplamına oranı olarak tanımlanır;

$$\epsilon = \frac{X_{çıkan}}{X_{giren}} \quad (3.18)$$

T_0 Çevre sıcaklığı olmak üzere; $\epsilon = \eta_1 \cdot \eta_{II}$

$$\epsilon = \eta_1 \cdot \frac{\frac{(T_{kullanılan} - T_0)}{T_{kullanılan}}}{\frac{(T_{kaynak} - T_0)}{T_{kaynak}}} \quad (3.19)$$

Ekserji geliştirme potansiyeli bir proses veya sistem için ekserji verimliliğinde maksimum gelişme ekserji tahribi veya tersinmezlik ($X_g - X_c$) minimum olduğunda başarılıdır (Hepbaşlı, 2006).

$$G_{pot} = (1-\epsilon)(X_g - X_c) \quad (3.20)$$

3.4. EKSERJİNİN BİLEŞENLERİ

Kinetik, potansiyel ve fiziksel ekserjilerin toplamı literatürde “Termomekanik ekserji” olarak adlandırılmaktadır. Nükleer, magnetik, elektrik ve ara yüzey etkiler çıkarılırsa, bir maddenin akımının ekserjisi E_x dört bileşenden oluşur: kinetik ekserji E_{xk} , potansiyel ekserji E_{xp} , fiziksel ekserji E_{xfiz} ve kimyasal ekserji E_{xkim} (Szargut vd., 1998).

3.4.1. Kinetik ve Potansiyel Ekserji

Kinetik ve potansiyel enerjiler, sistemin bir referans noktası olarak aldığımız çevre şartlarına göre sahip olduğu halden çevre koşullarına ulaşıncaya kadar sistemin tümüyle işe dönüştürülebilen enerjileridir. Ancak uygulamada, başlangıç ve son hız farklarının çok küçük olması ve referans nokta etrafında çalışma nedeni ile kinetik ve potansiyel ekserji değişiklikleri ihmal edilebilir.

3.4.2. Kimyasal Ekserji

Kimyasal ekserji kimyasal tepkime ile birlikte kimyasal kompozisyonu ölü hale ulaşan sistemden elde edilebilecek en fazla teorik iş olarak tanımlanmaktadır (Bejan vd. 1996).

Gaz yakıtın kimyasal ekserjisi, kimyasal ekserji oranı φ 'ye bağlı olarak aşağıdaki gibi tanımlanabilir[43].

$$E_{xkim} = \varphi \times (H_u) \quad (3.21)$$

N tür gaz yakıttan oluşan bir gaz karışımının kimyasal ekserjisi;

$$\dot{E}_{x_{yakıt}} = \sum_{i=1}^N x_i \dot{b}_{0,i} + RT_0 \sum_{i=0}^N x_i \ln x_i \quad (3.22)$$

İdeal gazların molar kimyasal ekserjisi;

$$\bar{e}_{x_{kim}} = \bar{R}T_0 \sum y_i \ln(y_i/y) = \sum_i y_i \bar{e}_{kim,i} + \bar{R}T_0 \sum_i y_i \ln y_i \quad (3.23)$$

Suyun molar kimyasal ekserjisi;

$$\bar{e}_{x_{kim}} = \bar{R}T_0 \ln\left(\frac{P_{doyma}(T_0)}{P_0}\right) \quad (3.24)$$

3.4.3. Fiziksel Ekserji

Ekserji analizinde basınç ve sıcaklığın ekserji değişimine etkisini daha iyi ortaya koyabilmek için, fiziksel ekserji hesaplanır. Sadece çevresi ile etkileşimi içeren bir fiziksel süreç aracılığı ile P basıncında ve T sıcaklığındaki bir sistemden, P₀ basıncında ve T₀ sıcaklığındaki sınırlı ölü hale ulaşmaya kadar elde edilebilecek maksimum teorik faydalı iştir. Gazların fiziksel ekserjisi, mükemmel gaz yaklaşımı ile hesaplanır. Belirli bir durumdaki kapalı bir sistemin fiziksel ekserjisi aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$E_{x_{fiz}} = W_{max} = (U - U_0) + P_0(V - V_0) - T_0(S - S_0) \quad (3.25)$$

Açık bir sistemdeki akımın fiziksel ekserji de aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$H - H_0 = (U - U_0) + P_0(V - V_0)$$

Buradan;

$$E_{x_{fiz}} = W_{max} = (H - H_0) - T_0(S - S_0) \quad (3.26)$$

Birim kütle için yakıtlar ve yanma gazları ideal gaz olarak kabul edilirse;

$$h = \bar{C}_p(T - T_{ref})$$

$$h_0 = \overline{C_p}(T_0 - T_{ref})$$

$$h - h_0 = \overline{C_p}(T - T_{ref}) - \overline{C_p}(T_0 - T_{ref}) \quad (3.27)$$

$$h - h_0 = \overline{C_p}(T - T_0) \quad (3.28)$$

Standart kimyasal ekserjiler T_0 sıcaklığındaki ve P_0 basıncındaki çevre koşullarındaki (298,15 K, 1 atm) standart değerlere dayanır.

Yine çevre şartlarında ideal gaz entropi bağıntısı aşağıdaki şekilde olur;

$$s - s_0 = \overline{C_p} \ln(T/T_0) - R \ln(P/P_0) \quad (3.29)$$

$P = P_0$ için;

$$s - s_0 = \overline{C_p} \ln(T/T_0) \quad (3.30)$$

olur. Buradan;

$$E_{x_{fiz}} = \overline{C_p}(T - T_0) - \overline{C_p} \ln(T/T_0) \quad (3.31)$$

Isı geçişi ile ekserji geçişi;

$$E_{x_{ısı}} = Q \left(1 - \frac{T_0}{T} \right) \quad (3.32)$$

İş ile ekserji geçişi;

$$E_{x_{iş}} = W$$

Sınır işi ile ekserji geçişi;

$$E_{x_{sınır}} = W - P_0(V - V_0)$$

olarak hesaplanabilir.

3.5. GELİŞMİŞ EKSERJİ

Gelişmiş ekserji analizinde, her bir komponentin ekserji yıkımı, yıkımın (iç ve dış kaynaklı) kaynağını ve (önlenebilir/önlenebilir) azaltma potansiyelini daha iyi gözlemleyebilmek için bölünür. İç kaynaklı bölüm, diğer tüm komponentler ideal olarak işletildiğinde ve gerçek verimleri ile değerlendirildiğinde elde edilen ekserji yıkımıdır. Değerlendirilen komponentlerin ekserji yıkımının dış kaynaklı bölümü komponentlerdeki tersinmezliklerden ve tüm sistemin yapısından kaynaklanır ve gerçek şartlardaki komponentlerin toplam ekserji yıkımı ile endojen bölümü arasındaki farktır. Önlenebilir bölüm, yakın geleceğin uygulanabilecek en iyi teknoloji olsa bile, elimine edilemez bölümdür. Sonuç olarak, önlenebilir bölüm, gerçek prosesdeki komponentlerin toplam ekserji yıkımı ile önlenebilir ekserji yıkımı arasındaki farktır.

3.5.1. Dış/İç kaynaklı Ekserji Yıkımı

Komponentler arasındaki etkileşimi hesaplamak için, k^{th} ekserji yıkımı ifadesi dış ve iç kaynaklı ekserji yıkımları toplamı olarak (3.71) eşitliğinde gösterildiği gibidir.

$$\dot{E}_{D,k} = \dot{E}_{D,k}^{EN} + \dot{E}_{D,k}^{EX} \quad (3.33)$$

Burada EN ve EX üstel ifadeleri, sırası ile endojen ve eksojeni tanımlamaktadır.

Aynı zamanda, bir komponentin diğer komponenti nasıl ve ne kadar etkilediği de önemlidir. Dış kaynaklı ekserji yıkımı aşağıdaki şekilde bölünebilir:

$$\dot{E}_{D,k}^{EX} = \sum_{r=1, r \neq k}^n \dot{E}_{D,k}^{EX,r} + \dot{E}_{D,k}^{MX} \quad (3.34)$$

$\dot{E}_{D,k}^{EX,r}$, k^{th} bileşeninden kaynaklı ekserji yıkımının sebep olduğu r^{th} bileşenin ekserji yıkım etkisidir. Görülebildiği gibi toplam eksojen ekserji yıkımı iki terim ile ifade

edilmiştir; Toplam terimi ve diğer (n-1) adet komponentlerin eş zamanlı etkileşimine bağlı olarak meksojen olarak ifade edilen $\dot{E}_{D,k}^{MX}$ terimi.

3.5.2. Önlenebilir/Önlenemez Ekserji Yıkımı

Hesaplanan ekserji yıkımının önlenemez kısmı, zamanımızda, teknolojik ve ekonomik sınırlamalara ve üretim metodlarına bağlı olarak, her bir komponent en iyi termodinamik davranışa sahip değildir. Her bir komponent, en iyi şartlarında işletildiğinde, komponent için $(\dot{E}_D/\dot{E}_P)_k^{UN}$ oranı elde edildiğinde önlenemez proses belirlenebilir. Bu oran, gerçek procesteki, bağımsız komponentlerin ekserji yıkımının önlenemez bölümünün hesaplanması için anahtar parametredir. Böylece, kth bileşenin ekserji yıkımı aşağıdaki şekilde yazılabilir:

$$\dot{E}_{D,k} = \dot{E}_{D,k}^{UN} + \dot{E}_{D,k}^{AV} \quad (3.35)$$

Burada UN ve AV üstel ifadesi, sırası ile önlenemez ve önlenebilir kısımlardır ve aşağıdaki şekilde hesaplanabilir:

$$\dot{E}_{D,k}^{UN} = \dot{E}_{P,k} \cdot (\dot{E}_D/\dot{E}_P)_k^{UN} \quad (3.36)$$

3.5.3. Bölümlerin Kombinasyonu

$\dot{E}_{D,k}^{AV,EN}$ önlenebilir-iç kaynaklı / $\dot{E}_{D,k}^{AV,EX}$ önlenemez-iç kaynaklı ve $\dot{E}_{D,k}^{UN,EN}$ önlenemez-dış kaynaklı / $\dot{E}_{D,k}^{UN,EX}$ önlenemez-dış kaynaklı iki ayrı ifadesi birleştirilerek aşağıdaki ifadeler elde edilebilir:

$$\dot{E}_{D,k}^{UN,EN} = \dot{E}_{P,k}^{EN} \cdot (\dot{E}_D/\dot{E}_P)_k^{UN} \quad (3.37a)$$

$$\dot{E}_{D,k}^{UN,EX} = \dot{E}_{P,k}^{UN} - \dot{E}_{D,k}^{UN,EN} \quad (3.37b)$$

$$\dot{E}_{D,k}^{AV,EN} = \dot{E}_{P,k}^{EN} - \dot{E}_{D,k}^{UN,EN} \quad (3.37c)$$

$$\dot{E}_{D,k}^{AV,EX} = \dot{E}_{P,k}^{EX} - \dot{E}_{D,k}^{UN,EX} \quad (3.37d)$$

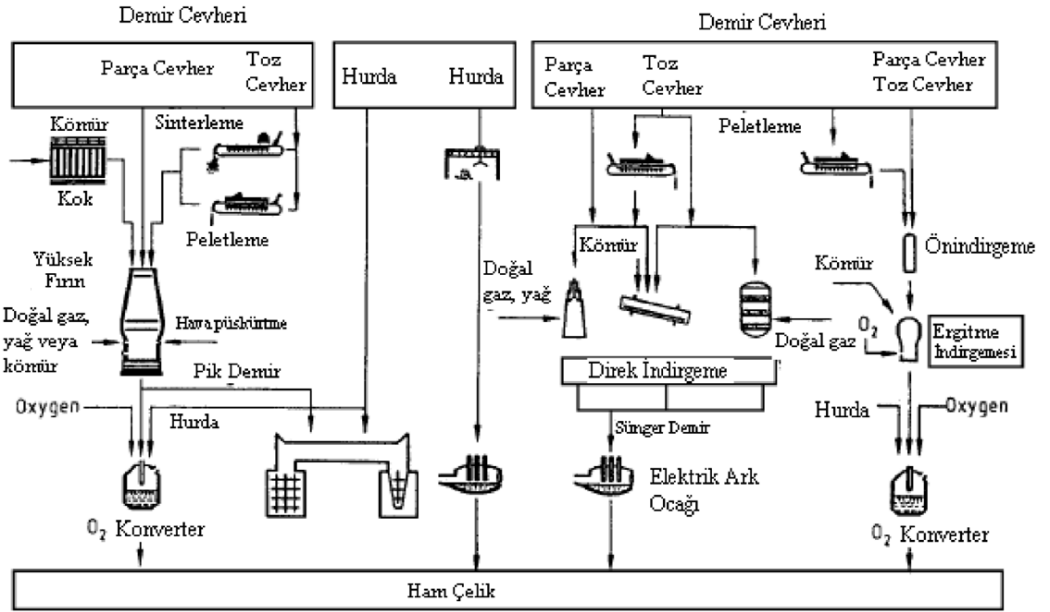
Tüm komponentlerin ekserji yıkımının her bir bölümünü hesaplamak amacı ile, prosesin 5 türü (gerçek, teorik, hibrid-I, hibrid-II ve önlenemez işlem dahil olmak üzere) düzenlenmeli ve simüle edilmelidir. Hibrid-I prosesinde, endojen ekserji yıkımı gerçek koşullarda düşünülürken, teorik bir proste, tüm komponentler onların teorik koşulları altında işletilir. Toplam $\binom{n(n-3)}{2}$ hibrid-II proses simülasyonu, bize toplam n sayıdaki komponentlerin gerçek koşullarında işletilen herhangi iki komponent arasındaki ilişki miktarını belirlememizi sağlar. Her bir komponenti önlenemez şartlar altında işletilen önlenemez proses tüm komponentler için önlenemezlik oranı elde etmek için simüle edilir.

BÖLÜM 4

SİSTEM VE YAKITLAR

4.1. SİSTEMİN GENEL TARİFİ

Demir çelik üretimi sırasında kok gazı, yüksek fırın gazı ve konverter gazı atık olarak açığa çıkmaktadır. Bu atık gazlar tüm entegre demir-çelik tesislerinde geri kazanılır ve kullanılır. Şekil 4.1'de entegre demir çelik fabrikasında üretim safhaları gösterilmiştir.



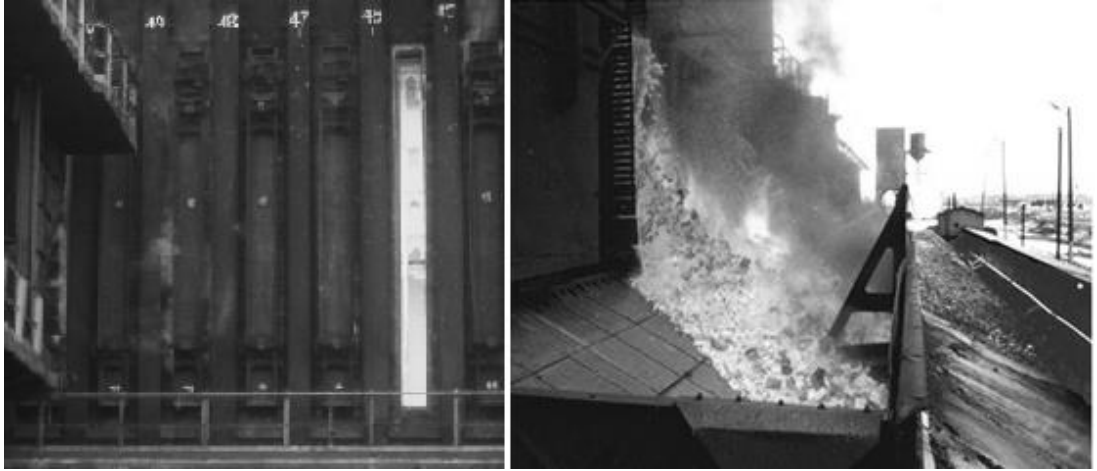
Şekil 4.1. Ham çelik üretim metodları.

Çizelge 4.1 Yanma gazlarının özellikleri.

Gazların yakıcı girişindeki özellikleri			
Parametre	Kok gazı	Yüksek fırın gazı	Konverter gazı
Debi (Nm ³ /h)	7000	80000	16500
Basınç (kPa)	2,6	1,9	8,45
Sıcaklık (°C)	30	30	30
Hacimsel miktarları (%)	6,76	77,3	15,94

4.2. KOK GAZI

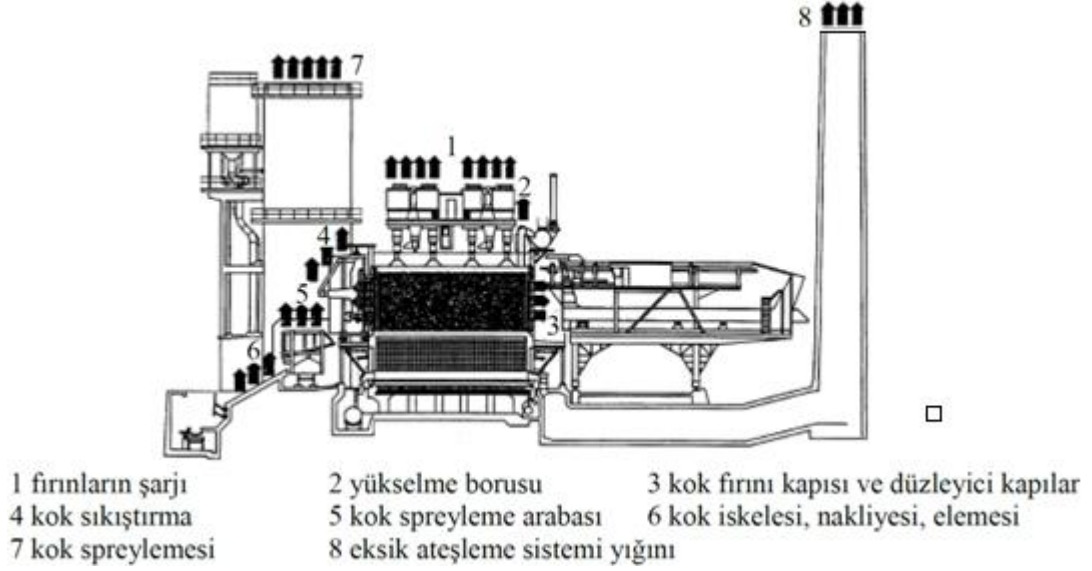
Kok fabrikasının demir-çelik fabrikalarındaki görevi yüksek fırının kok ihtiyacını karşılamaktır. Kömür harmanlarının, yüksek sıcaklıkta koklaştırılması işlemi sonucunda, kok ve kokgazı oluşur. Kok fırınları, Şekil 4.2’de görüldüğü gibi, silika tuğlalarla yapılmış dar ve uzun kamaralardır.



Şekil 4.2. Kok fırınları.

Kompleks kömür molekülü kapalı ve havasız kamaralarda yüksek sıcaklıkta (1100 °C) ısıtılır ve kömür molekülü parçalanır. Böylece uçucu maddeler kömür bünyesinden çıkarak kok gazını oluşturur. Bu uçucu madde sıcak ham kok gazıdır. Hidrojen koklaşmanın ilk ürünlerinde birisidir ve kok gazının hacimsel olarak en büyük oranda bulunan bileşenidir. Koklaşma sıcaklığı arttıkça hidrojen (H₂) miktarı artar. Buna bağlı olarak metan (CH₄) miktarı düşer (Jüntgen ve Van Heek,

1979).Kok gazı yan ürünler fabrikasında şartlandırılarak kullanıma hazır halde depolanır. Şekil 4.3'te bir kok bataryası şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 4.3. Kok fırın bataryasının şematik gösterimi.

Kok gazı elementer analizi ve her bir bileşenin hacimsel yüzdeleri Çizelge 4.2'de, teorik yoğunluk hesabı Çizelge 4.3'te gösterilmiştir.

Çizelge 4.2. Kok gazı yakıt bileşenleri.

Adı	Bileşen	Hacim (%) Nm ³ /h
Debi (0°C,101 Pa)		
Karbonmonoksit	CO	6,95
Hidrojen	H ₂	57,58
Metan	CH ₄	22,18
Asetilen	C ₂ H ₂	0,82
Etilen	C ₂ H ₄	1,46
Etan	C ₂ H ₆	0,49
Oksijen	O ₂	0,36
Karbondioksit	CO ₂	3,02
Azot	N ₂	7,14
Toplam		100
Üst ısıl değer	18711	kJ/Nm ³
Alt ısıl değer	16555	kJ/Nm ³
Basınç	2450	Pa

Çizelge 4.3. Kok gazı yoğunluk hesap tablosu (1 m³, 103,78,33 kPa ve 303,15 K için).

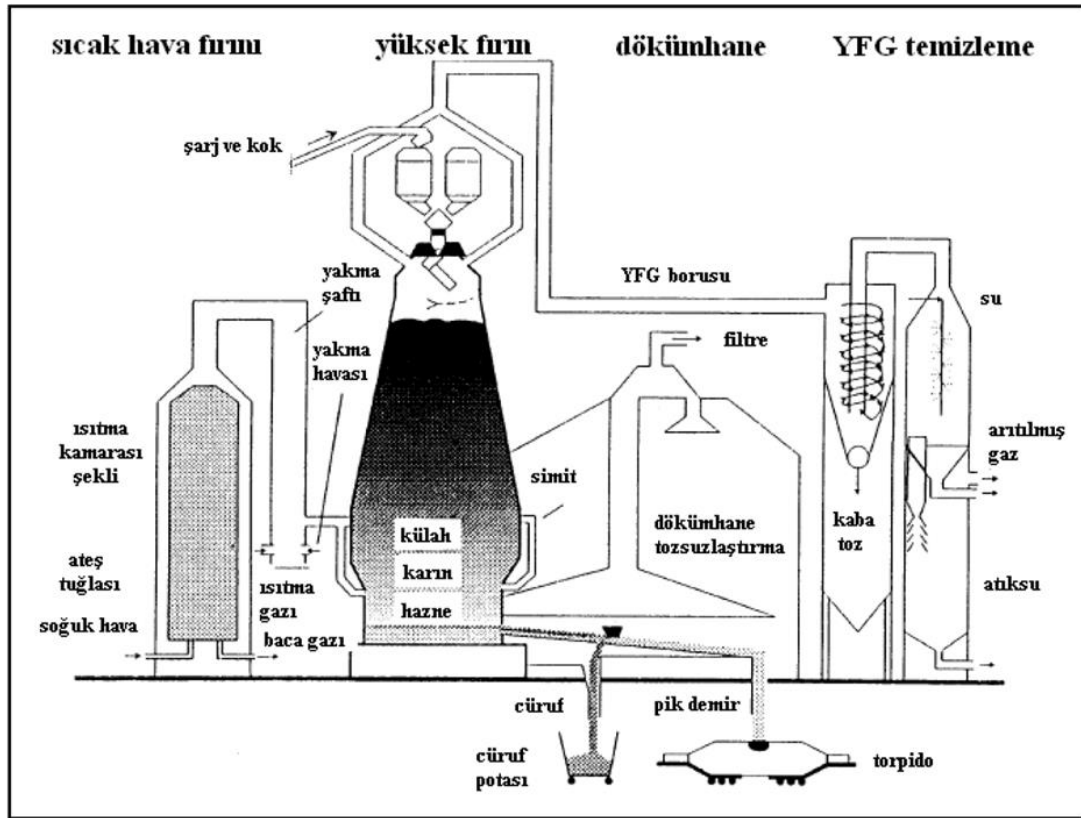
Giren	Hacim		Molar kütle kg/kmol	Mol miktarı kmol	Kütle kg	Yoğunluk kg/m ³
	%	m ³				
H ₂	57,58	0,5758	2,0	0,0257	0,0514	0,486
O ₂	0,36	0,0036	32,0	0,0002	0,0051	
N ₂	7,14	0,0714	28,0	0,0032	0,0892	
CH ₄	22,18	0,2218	16,0	0,0099	0,1583	
C ₂ H ₄	1,46	0,0146	28,0	0,0007	0,0182	
C ₂ H ₆	0,49	0,0049	30,0	0,0002	0,0066	
C ₂ H ₆	0,82	0,0082	30,0	0,0004	0,0110	
CO	6,95	0,0695	28,0	0,0031	0,0868	
CO ₂	3,02	0,0302	44,0	0,0013	0,0593	
Toplam	100,00	1,0000	238,0	0,0446	0,4859	

4.3. YÜKSEK FIRIN GAZI

Yüksek fırınlar pik demir üretiminde en önemli proseslerdir. Bir entegre çelik işletmesinde yüksek fırın, demir oksit cevherlerinin ilk olarak indirgendiği pik demir olarak bahsedilen sıvı demirin olduğu yer olan ana birimdir. Fırın, demir cevheri veya sinter gibi demir içeren malzemeler, cüruf yapıcı kireçtaşı gibi katkı maddeleri

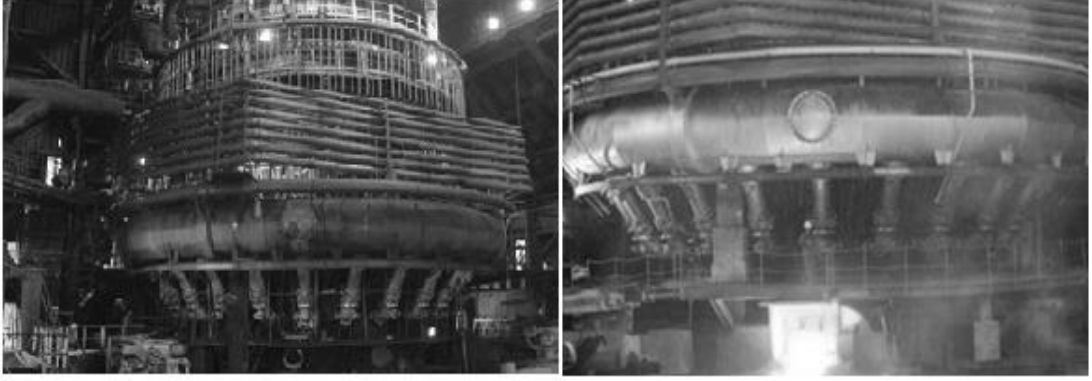
ve indirgeyicilerin (kok) yüksek fırın gazının (YFG) kaçmasını engelleyen bir besleme sistemiyle fırın şaftının üstünden sürekli beslenen kapalı bir sistemdir. Sistemde yakıt olarak kok kullanılır (Lüngen, 1995).

Yüksek fırının kendisi, dökümhane, sıcak soba ve YF gazının 2 aşamalı arıtmasından oluşan basitleştirilmiş planı Şekil 4.4'te gösterilmiştir.



Şekil 4.4. Yüksek fırın şematik gösterimi.

Katı şarj aşağı doğru hareket ederken yükselen sıcak gaz dalgasına maruz kalır. Eriyen demir tozları, sıvı demir olarak, cürufu birlikte fırında toplanır ve her ikisi de aşağıdaki resimde görüldüğü üzere alt kısımdan düzenli bir şekilde alınır. Yüksek fırın gazı, yüksek fırınlarda demir cevherinin ergitilerek sıvı maden elde edilmesi esnasında yan ürün olarak elde edilen bir gazdır. Renksiz, kokusuz ve çok zehirleyici bir gazdır. Hava ve indirgeyici madde tepkimeye girerek çoğunlukla karbon monoksit (CO) oluşturur.



Şekil 4.5. Yüksek fırın.

YF gazı, fırının tepesinden toplanır. Zenginleştirilmeden veya ön ısıtma olmaksızın da kullanılabilir. Aşağıdaki tablodan da görüleceği üzere, yüksek fırın gazı % 20 –28 karbon monoksit (CO) ve %1-5 hidrojen den meydana gelmektedir. Karbon monoksit ve hidrojen potansiyel bir enerji kaynağıdır. Bu nedenle yüksek fırın baca gazı, daha sonra yakıt olarak kullanabilmek için temizlenir ve bir gaz tankında depolanır. Bu gazın enerji kapasitesi düşüktür. Ancak çok yüksek miktarlarda üretiliyor olması, yüksekfırın gazı çok önemli bir enerji kaynağı demektir.

Yüksek fırın gazının ısı değeri çok düşük olduğundan kendiliğinden yanması çok zordur. Özel yakıcılarda ve ön bir ısıtıcı ile birlikte yakılırlar. YF gazı bileşenleri çizelge 4.4'te verilmiştir.

Çizelge 4.4. YF gazı yakıtı bileşenleri.

Adı	Simge	Hacim (%)
Debi (0°C,101 Pa)	80000	Nm ³ /h
Karbonmonoksit	CO	23,12
Hidrojen	H ₂	1,74
Karbondioksit	CO ₂	18,08
Azot	N ₂	57,06
Toplam		100
Üst ısı değeri	3144	kJ/Nm ³
Alt ısı değeri	3111	kJ/Nm ³
Basınç	3430	Pa

YF gazı için yapılan teorik yoğunluk hesabı Çizelge 4.5'te verilmiştir.

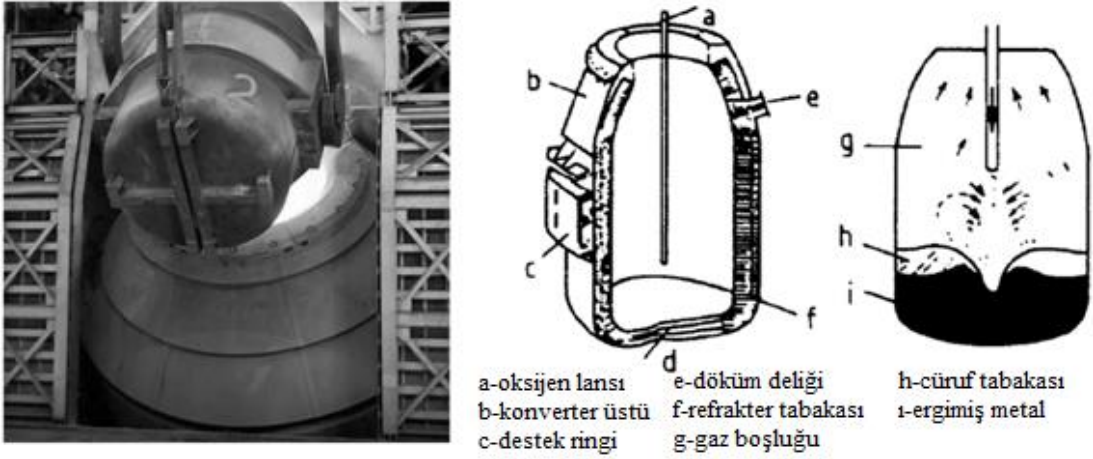
Çizelge 4.5. YF gazı yoğunluk hesap çizelgesi (1 m³, 101,33 kPa, 273,15 K).

Giren	Hacim		Molar kütle	Mol miktarı	Kütle	Yoğunluk
	%	m ³	kg/kmol	kmol	kg	kg/m ³
H ₂	1,74	0,0174	2,0	0,0008	0,0016	1,358
N ₂	57,06	0,5706	28,0	0,0255	0,7128	
CO	23,12	0,2312	28,0	0,0103	0,2888	
CO ₂	18,08	0,1808	44,0	0,0081	0,3549	
Toplam	100,00	1,0000	102,0	0,0446	1,3580	

4.4. KONVERTER GAZI

Ham demirin işlenmesi sırasında açığa çıkan gaz konverter gazıdır. Renksiz, kokusuz ve zehirleyici bir gazdır. Oksijen ile çelik üretiminde amaç, beslenecek hammadde içerisindeki istenmeyen empüritelerin oksitleme yolu ile yakılmasıdır. Oksitlere dönüştürülmesi gereken elementler arasında karbon, silisyum, magnezyum, fosfor ve kükürt sayılabilir. Oksitleme sırasında oluşan bu istenmeyen bileşikler, çıkan gaz veya cüruflla atılır.

Yüksek fırından gelen sıcak metal çelikhaneye iyi izole edilmiş transfer arabaları veya potalar ile gelmektedir. Raylar üzerinde hareket eden ve sıcak metal karıştırıcısı olan genellikle 100 ile 300 ton kapasiteye sahiptir pota, en yaygın sistemdir. Karıştırıcı alet her iki taraftan da desteklenebilir ve içeriğini boşaltacak şekilde (aşağıdaki fotoğraftan görüleceği gibi) çevrilebilir. Farklı reaktör tipleri vardır ancak yaygın kullanılan düşük fosfor içeren pik demir üretimi için kullanılan armut şeklinde LD (Linz-Donawitz) konverteridir. Yüksek fosfor içeren pik demir üretimi durumunda ise modifiye edilmiş LD/AC process = Linz-Donawitz / Arbed-CRM-prosesi kullanılmaktadır. Alt kısımda su soğutmalı oksijen lansı bulunan reaktörün içi refrakter ile örülmüştür. Bu lansın içinden pik demire, hava ayrıştırma istasyonundan gelen %99' un üzerindeki saflıkta oksijen üflenmektedir. Açık ve kontrollü yanma sistemleri kullanılır.



Şekil 4.6. Konverterin şematik gösterimi.

Açık yanma sistemlerinde hava konverter baca gazlarının boru kanalından verilmekte ve karbonmonoksit yakılmaktadır. Kontrollü yanmada ise, oksijen üfleme sırasında, karbonmonoksit yanmasını önlemek amacı ile ortam oksijeninin baca gazı boru kanalına kaçmasını önlemek için konverter ağızına bir etek indirilir. Konverter gazları dediğimiz gazları oluşturan, oksijen üfleme sırasında ortaya çıkan ve konverteri terkedengazlar büyük miktarda karbonmonoksit içerir ve birincil havalandırıcılarda tutulur. Yaklaşık her bir ton çelik üretimine karşılık 50-100 Nm³ atık gaz oluşabilmektedir. Çelik üretim işletmelerinde, bu konverter gazlarının geri dönüşümü ve enerji kaynağı olarak kullanılması amacıyla ölçümler yapılmaktadır. CO bakımından zengin, yaklaşık olarak 1200 °C civarında sıcaklığa sahip bu baca gazları toplanmakta, soğutulmuş olarak temizlenip depolanarak yakıt olarak kullanılmaktadır.

Çizelge 4.6. Konverter gazının özellikleri.

Konverter Gazı Yakıt Bileşenleri	Simge	Hacim (%)
Debi (0°C, 101 Pa)	16500	Nm ³ /h
Karbonmonoksit	CO	50
Karbondioksit	CO ₂	21
Azot	N ₂	29
Toplam		100
Üst ısıl değer	7536	kJ/Nm ³
Alt ısıl değer	6280	kJ/Nm ³
Basınç	7840	Pa

Konverter gazı için yapılan teorik yoğunluk hesap tablosu çizelge 4.7’de verilmiştir.

Çizelge 4.7. Konverter gazı yoğunluk hesap çizelgesi (1 m³, 101,33 kPa, 273,15 K).

Giren	Hacim		Molar kütle	Mol miktarı	Kütle	Yoğunluk
	%	m ³	kg/kmol	kmol	kg	kg/m ³
N ₂	29,00	0,29	28,0	0,0129	0,3623	1,359
CO	50,00	0,5	28,0	0,0223	0,6250	
CO ₂	21,00	0,21	44,0	0,0094	0,4125	
Toplam	100,00	1,0000	100,0	0,0446	1,3998	

4.5. DOĞAL GAZ

Doğalgaz yer kabuğunda bulunan, tabiattan çıkarıldığı haliyle kullanılabilen, renksiz, kokusuz ve havadan hafif bir gazdır. İnsanlar tarafından yüzyıllardır bilinen doğalgazın yaygın olarak kullanımı 1973 yılında patlak veren petrol krizinden sonra ortaya çıkmıştır. Doğalgaz, büyük oranda metan ve daha az etan, bütan, propan ve karbondioksitten oluşur. Doğalgazı özellikleri Çizelge 4.8’de, verilen şartlarda hesaplanan teorik yoğunluk değeri ise Çizelge 4.9’da gösterilmiştir.

Çizelge 4.8. Doğalgazın özellikleri (0°C,101 Pa).

Bileşen adı	Hacim (m ³)
Debi (13583 Nm ³ /h)	
CH ₄	91
C ₂ H ₆	5
C ₃ H ₈	1
C ₄ H ₁₀	0,3
C ₅ H ₁₂	1
O ₂	0,1
CO ₂	1
N ₂	0,6
Toplam	100
Üst ısıl değer	
Alt ısıl değer (34485 kJ/Nm ³)	34485
Basınç (4 BarG)	4

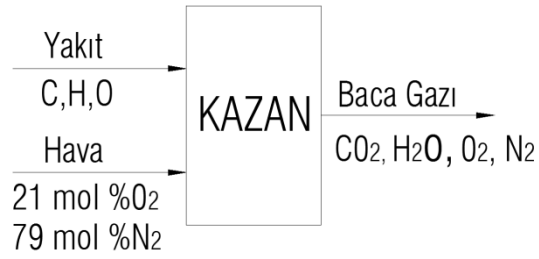
Çizelge 4.9. Doğalgaz yoğunluk hesap tablosu (1 m³, 101,33 kPa, 273,15 K).

Bileşen	Hacim		Molar kütle	Mol miktarı	Kütle	Yoğunluk
	%	m ³	kg/kmol	kmol	kg	kg/m ³
CH ₄	91,00	0,91	16	0,0406	0,6496	0,668
C ₂ H ₆	5,00	0,05	17	0,0022	0,0379	
C ₃ H ₈	1,00	0,01	18	0,0004	0,0080	
C ₄ H ₁₀	0,30	0,003	19	0,0001	0,0025	
C ₅ H ₁₂	1,00	0,01	20	0,0004	0,0089	
O ₂	0,10	0,001	21	0,0000	0,0009	
N ₂	0,60	0,006	22	0,0003	0,0059	
CO ₂	1,00	0,01	23	0,0004	0,0103	
Toplam	100,00	1,000	156	0,0446	0,7241	

BÖLÜM 5

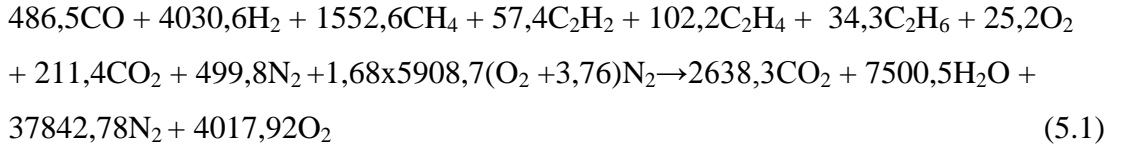
EKSERJİ ANALİZİ

5.1.YANMA DENKLEMLERİ



Şekil 5.1. Yakıtlar ve yanma ürünleri.

5.1.1. Kok Gazı

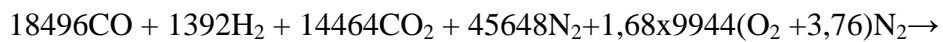


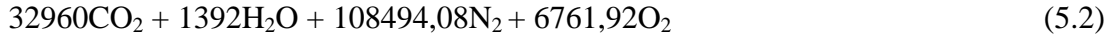
Hava-yakıt oranları;

Çizelge 5.1. Kok gazı hava/yakıt oranları.

m_{hava}	194,8333 kg	Hava-Yakıt oranı	6,753 Nm ³ /Nm ³
$m_{\text{yakıt}}$	11,0236 kg	Yanma ürünleri toplamı	6,753 Nm ³ /Nm ³
AF	17,6742 kg air/kg fuel	Yanma ürünleri toplamı	51999,5 Nm ³ /Nm ³

5.1.2. Yüksek Fırın Gazı



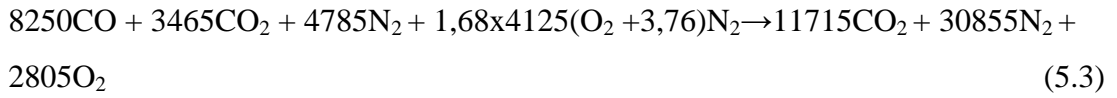


Hava-yakıt oranları;

Çizelge 5.2. YF gazı hava/yakıt oranları.

m_{hava}	28,6906 kg	Hava-Yakıt oranı	0,994Nm ³ /Nm ³
$m_{\text{yakıt}}$	30,4565 kg		
AF	0,9420kg air/kg fuel	Yanma ürünleri toplamı	149608 Nm ³ /h

5.1.3. Konverter Gazı

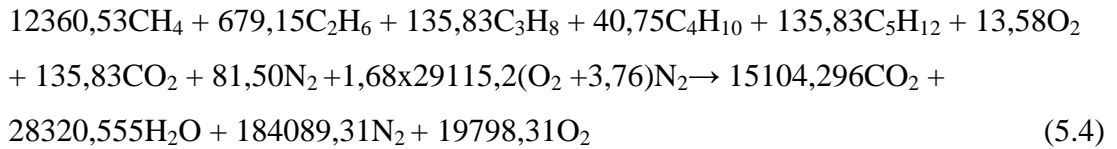


Hava-yakıt oranları;

Çizelge 5.3. Konverter gazı hava/yakıt oranları.

m_{hava}	57,7044 kg	Hava-Yakıt oranı	2,000 Nm ³ /Nm ³
$m_{\text{yakıt}}$	31,3715 kg	Yanma Ürünleri Toplamı	45375 Nm ³ /h
AF	1,8394 kg air/kg fuel		

5.1.4. Doğal Gaz



Doğalgaz için hava yakıt oranları Çizelge 5.4' te verilmiştir.

Çizelge 5.4. Doğalgaz hava/yakıt oranları.

m_{hava}	494,7579 kg	Hava-Yakıt oranı	17,148 Nm ³ /Nm ³
$m_{\text{yakıt}}$	18,4053 kg	Yanma ürünleri Toplamı	247312,473 Nm ³ /h
AF	26,8813 kg hava/kg yakıt		

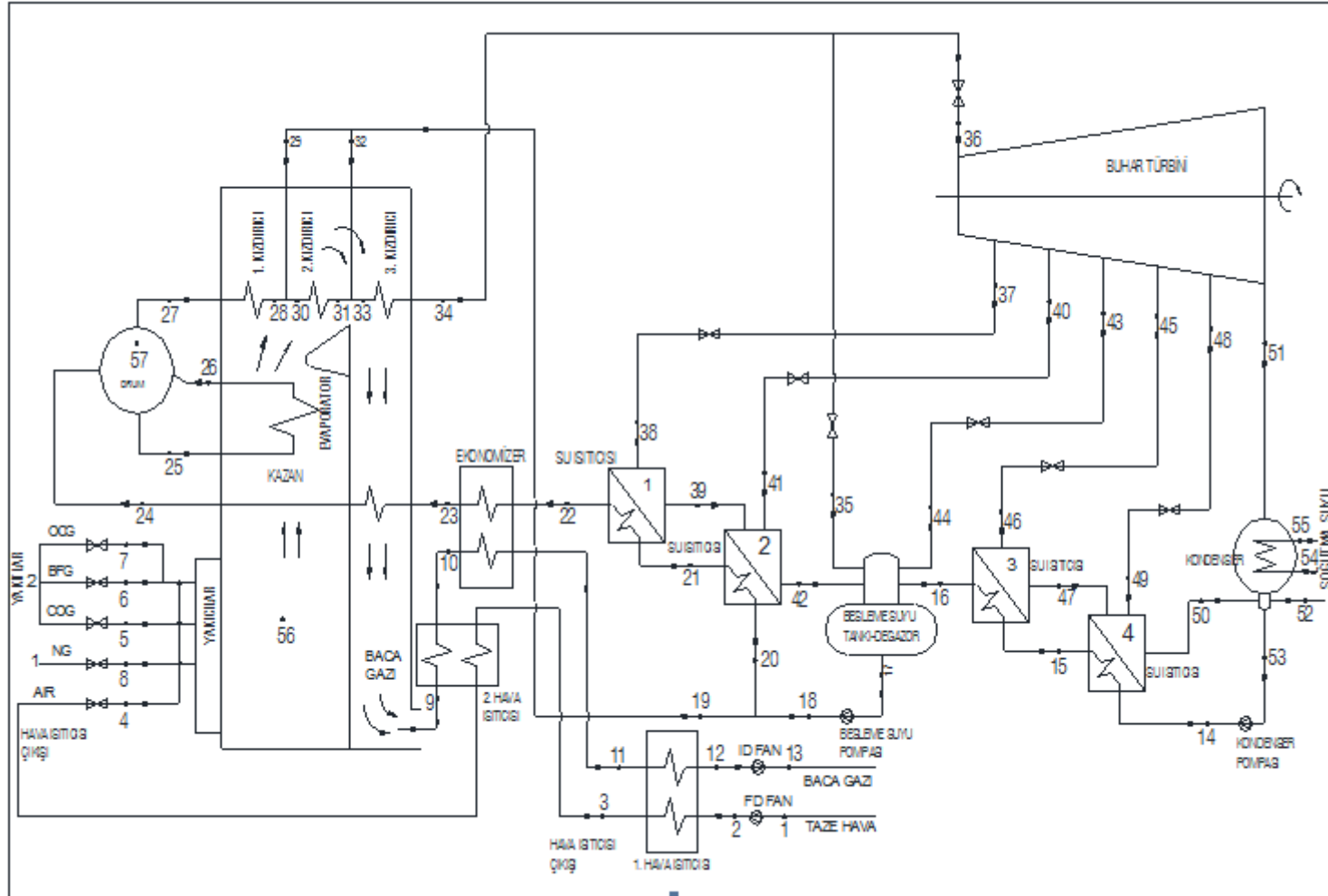
Tüm gazların ve yanma sonucu oluşan ürünlerin miktarları çizelge 5.5'te verilmiştir.

Çizelge 5.5. Yakıt ve baca gazı miktar tablosu.

Yakıt	Yakıt	Hava	Baca Gazı				
			CO ₂	H ₂ O	N ₂	O ₂	Toplam
KOK	7000	47269,6	2638,3	7500,5	37842,78	4017,92	51999,50
YFG	80000	79552	32960	1392	108494,08	6761,92	149608
OKG	16500	33000	11715	0	30855	2805	45375
Toplam	103500	159821,6	47313,3	8892,5	177191,86	13584,84	246982,5
			19,16	3,6	71,74	5,50	100
DG	13583	232921,28	15104,3	28320,56	184089,31	19798,31	247312,47
			6,11	11,45	74,44	8,01	100

Atık gazlar için toplam 159822 Nm³ yakma havası gerekmektedir.

Enerji ve Ekserji analizi yardımıyla performansı değerlendirilen atık gaz yakıtlı güç santrali şekil 5.2'de gösterilmiştir. Kazan açık sistem olarak tek bir ünite halinde ele alınmış ve buna göre enerji ve ekserji analizleri yapılmıştır. Proses gazlarının yakılması sonucu buhar elde ederek elektrik enerjisi üretilmektedir. Çevrim, is akışkanı üreten gaz yakıtlı buhar kazanı, türbin, atık, soğutma kulesi, besleme pompasından oluşmaktadır.



Şekil 5.2. Sistem şeması.

5.2. YAKITLARIN EKSERJİLERİNİN BELİRLENMESİ

5.2.1. Genel İfade

Bir maddenin toplam özgül ekserjisi aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

$$ex_{top} = e_{x_{kin}} + e_{x_{pot}} + e_{x_{kim}} + e_{x_{fiz}} \quad (5.5)$$

Giriş ve çıkışlar arasında hız ve yükseklik farkının oluşmadığı durumlarda kinetik ve potansiyel enerjiler ihmal edilebilir. Bu durumda eşitlik aşağıdaki yalın halini alır:

$$ex_{top} = e_{x_{kim}} + e_{x_{fiz}}$$

5.2.2. Kimyasal Ve Fiziksel Ekserji

Kimyasal ekserji, bir maddenin çevresiyle kimyasal denge haline geldiğinde ısı transferi ve madde alışverişi sonucu elde edilen maksimum iş olarak ifade edilebilir.

İdeal gazların molar kimyasal ekserjisi;

Yakıtların kimyasal enerji faktörü(ϕ) yakıt türüne göre Çizeleğe 5.7'de gösterilmiştir.

Çizelge 5.6. Yakıtların kimyasal enerji faktörleri.

Yakıt Cinsi	ϕ
KOK Yakıt bileşenleri	1,05
YFG Yakıt bileşenleri	0,98
OKG Yakıt bileşenleri	0,973

Kok gazının yanma entalpisi;

$$\dot{H}_{u_{kok}} = 1,944 \times 16555 = 32190,278 \text{ kW}$$

Yüksek fırın gazının yanma entalpisi:

$$\dot{H}_{u_{yg}} = 22,22 \times 3111 = 69133,333 \text{ kW}$$

Konverter gazının yanma entalpisi:

$$\dot{H}_{u_{kon}} = 4,583 \times 6280 = 28783,333 \text{ kW}$$

Kazanda yakılan yakıtların toplam yanma entalpileri:

$$\dot{H}_{u_{yakıt}} = 32190,278 + 69133,333 + 28783,333$$

$$\dot{H}_{u_{yakıt}} = 130106,945 \text{ kW}$$

$$e_{x_{kim_{kok}}} = \varphi \times (H_u)_{kokg} = 1,05 \times 16555 = 17382,75 \text{ kJ/Nm}^3$$

$$\bar{v}_{kok} = 7000/3600 = 1,944 \text{ Nm}^3/\text{s}$$

$$e_{x_{kim_{kok}}} = 33800 \text{ kW}$$

$$e_{x_{kim_{yf}}} = \varphi \times (H_u)_{kokg} = 0,98 \times 3111 = 3048,78 \text{ kJ/Nm}^3$$

$$\bar{v}_{yf} = 80000/3600 = 22,22 \text{ Nm}^3/\text{s}$$

$$e_{x_{yf}} = 67751 \text{ kW}$$

$$e_{x_{kim_{kon}}} = \varphi \times (H_u)_{kokg} = 0,973 \times 6280 = 6110,44 \text{ kJ/Nm}^3$$

$$\bar{v}_{konv} = 16500/3600 = 4,583 \text{ Nm}^3/\text{s}$$

$$e_{x_{kim_{kon}}} = 28006 \text{ kW}$$

Yakıtların fiziksel ekserjileri;

$$\bar{e}_{\text{xfizyakıt}} = \bar{C}_{\text{pyakıt}} \times \left[(T - T_0) - T_0 \ln\left(\frac{T}{T_0}\right) \right] + \bar{R}T_0 \ln\left(\frac{P}{P_0}\right) \quad (5.6)$$

Buradaki c_p değeri aşağıdaki şekilde bulunmuştur.

$$\bar{C}_{\text{pyakıt}}(T) = a + bT + cT^2 + dT^3 \quad (5.7)$$

$$\begin{aligned} \bar{C}_{\text{pyakıt}_{\text{kok}}} &= 9,957 + 3,39 \times 10^{-4} \times 303,15 + 1,29 \times 10^{-6} \times (303,15)^2 \\ &\quad - 3,89 \times 10^{-10} \times (303,15)^3 \end{aligned}$$

$$\bar{C}_{\text{pyakıt}_{\text{kok}}} = 10,167 \text{ kJ/kmolK}$$

$$\bar{e}_{\text{xfiz}_{\text{kok}}} = 63,195 \text{ kJ/kmol}$$

$$\bar{v}_{\text{kok}} = 7000 / (3600 \times 22,4) = 0,0868 \text{ kmol/s}$$

$$e_{\text{xfiz}_{\text{kok}}} = 5,486 \text{ kW}$$

$$\begin{aligned} \bar{C}_{\text{pyakıt}_{\text{yf}}} &= 1,166 + 9,58 \times 10^{-6} \times 303,15 + 1,0 \times 10^{-7} \times (303,15)^2 \\ &\quad - 5,37 \times 10^{-11} \times (303,15)^3 \end{aligned}$$

$$\bar{C}_{\text{pyakıt}_{\text{yf}}} = 1,177 \text{ kJ/kmolK}$$

$$\bar{e}_{\text{xfiz}_{\text{yf}}} = 46,078 \text{ kJ/kmol}$$

$$\bar{v}_{\text{yf}} = 80000 / (3600 \times 22,4) = 0,992 \text{ kmol/s}$$

$$e_{\text{xfiz}_{\text{yf}}} = 46,0 \text{ kW}$$

$$\bar{c}_{p_{yakıt_{kon}}} = 0,907 + 2,99 \times 10^{-4} \times 303,15 + 1,26 \times 10^{-8} \times (303,15)^2 - 3,38 \times 10^{-11} \times (303,15)^3$$

$$\bar{c}_{p_{yakıt_{kon}}} = 0,997 \text{ kJ/kmolK}$$

$$\bar{e}_{xfiz_{kon}} = 70,71 \text{ kJ/kmol}$$

$$\bar{v}_{kon} = 16500 / (3600 \times 22,4) = 0,205 \text{ kmol/s}$$

$$e_{xfiz_{kon}} = 14,496 \text{ kW}$$

Bu durumda her bir yakıtın toplam ekserjisi;

$$e_{x_{top}} = e_{x_{kim}} + e_{x_{fiz}}$$

$$e_{x_{top_{kok}}} = 33800 + 63,195 = 33863,2 \text{ kW}$$

$$e_{x_{top_{yfg}}} = 67751 + 46,0 = 67797 \text{ kW}$$

$$e_{x_{top_{okg}}} = 28006 + 14,496 = 28020,5 \text{ kW}$$

Çizelge 5.7. Yakıtların özellikleri.

Yakıt Cinsi	c_p	T	T_0	P	P_0
	kJ/kmol	°C	°C	kPa	kPa
KOK	10,167	30	25	103,925	101,325
YFG	1,177	40	25	103,225	101,325
OKG	0,997	30	25	109,775	101,325

Baca gazı ekserjisi, Çizelge 5.8'e göre hesaplanabilir. Baca gazı mol oranı;

$$P_{bacagazi} \times \dot{V}_{bacagazi} = \dot{n}_{bacagazi} \times \bar{R} \times T_{bacagazi}$$

$$\dot{n}_{\text{bacagazı}} = \frac{P_{\text{bacagazı}} \times \dot{V}_{\text{bacagazı}}}{\bar{R} \times T_{\text{bacagazı}}}$$

$$\dot{n}_{\text{bacagazı}} = \frac{97,935 \times 246983}{8,314 \times 423,15}$$

$$\dot{n}_{\text{bacagazı}} = 1,910 \text{ kmol/s}$$

Bacada gazında oksijen oranı %5,5 olarak ölçülmüştür. Bu durumda;

$$\dot{n}_{\text{O}_2} = 0,105 \text{ kmol/s}$$

Diğer baca gazı oranları aşağıdaki çizelge 5.8’de verilmiştir.

Çizelge 5.8. Baca gazı oranları.

Baca Gazı	Adı	Simge	Hacim (%)	Debi (m ³ /s)	Molar debisi (kmol/s)	Molar oranı y _i =(n _i /nbaca)	c _p kJ/kmol
	Karbondioksit	CO ₂	19,16	13,14	0,366	0,1916	42,11
	Su	H ₂ O	3,60	2,47	0,069	0,0360	33,75
	Azot	N ₂	71,74	49,22	1,370	0,7174	29,3
	Oksijen	O ₂	5,50	3,77	0,105	0,0550	30,33

5.2.3. Baca gazı entalpisi

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

$$\bar{C}_{p\text{bacagazı}} = (\bar{h} - \bar{h}_0) / (T - T_0)$$

$$\bar{C}_{p\text{bacagazı}} = y_{\text{CO}_2} \times \bar{C}_{p,\text{CO}_2} + y_{\text{H}_2\text{O}} \times \bar{C}_{p,\text{H}_2\text{O}} + y_{\text{O}_2} \times \bar{C}_{p,\text{O}_2} + y_{\text{N}_2} \times \bar{C}_{p,\text{N}_2}$$

$$\bar{C}_{p\text{bacagazı}} = 31,971 \text{ kJ/kmolK}$$

$$h - h_0 = 4316,062 \text{ kJ/kmol}$$

$$\dot{H}_{bacagazi} = \dot{n}_{bacagazi} \times (\bar{h} - \bar{h}_0)$$

$$\dot{H}_{bacagazi} = 1,910 \times 4316,062 = 8243,678 \text{ kJ/kmol}$$

Baca gazı kimyasal ekserjisi:

$$\bar{e}_{x_{kim}} = \bar{R}T_0 \sum y_i \ln\left(\frac{y_i}{y}\right) = \sum y_i \bar{e}^{kim,i} + \bar{R}T_0 \sum y_i \ln y_i$$

$$\bar{e}_{x_{kim}} = \bar{R} = 2947 \text{ kJ/kmol}$$

Baca gazı fiziksel ekserjisi;

$$\bar{e}_{x_{fiz}} = \bar{C}_{p_{bacagazi}} \times \left[(T - T_0) - T_0 \ln\left(\frac{T}{T_0}\right) \right] + \bar{R}T_0 \ln\left(\frac{P}{P_0}\right)$$

$$\bar{e}_{x_{fiz}} = 699,65 \text{ kJ/kmol}$$

$$(\dot{e}_{x_{top}})_{baca \text{ gazı}} = \dot{n}_{baca \text{ gazı}} \times (\bar{e}_{x_{kim}} + \bar{e}_{x_{fiz}})_{baca \text{ gazı}}$$

$$(\dot{e}_{x_{top}})_{baca \text{ gazı}} = 1,910(2947 + 699,65)$$

$$(\dot{e}_{x_{top}})_{baca \text{ gazı}} = 6965,1 \text{ kW}$$

5.2.4. Yakma Havası Entalpisi

Yakma havası debisi bulunurken öncelikle hava debisi hesaplanır;

$$V_{hava} = \frac{159820}{3600} = 44,39 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$m_{hava} = 44,39 \times 1,2 = 53,27 \text{ kg/s}$$

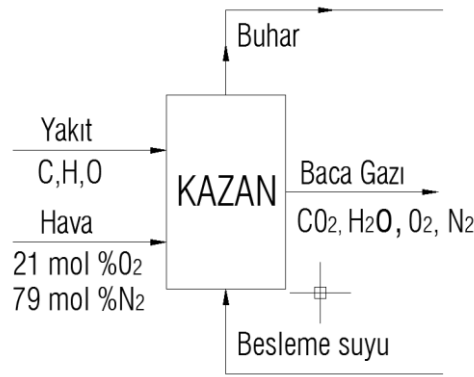
$$\dot{H}_{hava} = \dot{m}_{hava} \times h_{hava}$$

$$\dot{H}_{hava} = 53,27 \times 470,35$$

$$\dot{H}_{hava} = 25054,60 \text{ kW}$$

5.2.5. Kazandan Çevreye Olan Isı Kaybı

Kazanı terkeden buhar 88 bar ve 532°C' dir. Pompa çıkışı, 6,675 bar ve 140 °C'dir.



Şekil 5.3. Kazan kontrol hacmi giren ve çıkan ürünler.

Kazana girenler yakıt, yakma havası ve besleme suyu, kazandan çıkanlar ise buhar ve baca gazıdır. Buna göre, kazanından meydana gelen ısı kaybı:

$$\dot{Q} - \dot{W} = \sum \dot{m}_g h_g - \sum \dot{m}_c h_c$$

$$\dot{W} = 0$$

$$\dot{Q} = -\dot{Q}_{kayıp}$$

$$\dot{Q}_{kayıp} = \sum \dot{m}_g h_g - \sum \dot{m}_c h_c$$

$$\dot{Q}_{kayıp} = (\dot{H}_u)_{yakıt} + \dot{H}_{hava} + \dot{H}_{besleme\ suyu} - \dot{H}_{buhar} - \dot{H}_{bacaa}$$

$$\dot{Q}_{kayıp} = (\dot{H}_u)_{yakıt} + \dot{H}_{hava} + \dot{m}_{besleme\ suyu} X h_{besleme\ suyu} - (\dot{m}_{buhar} X h_{buhar} - \dot{H}_{baca})$$

$$\dot{Q}_{kayıp} = 130.107 + 25.054,6 + 52,17 \times 588,2 - 52,17 \times 3477 - 25054,60$$

$$\dot{Q}_{kayıp} = 3864,7 \text{ kW}$$

5.2.6. Kazanın Isıl Verimi

Isıl verim, kazandan çıkan buharın enerjisinin, yakıtın yanma entalpisine oranıdır;

$$\eta_{Isıl} = \frac{\dot{m} x h_{buhar} - \dot{m} x h_{besleme\ suyu}}{\dot{H}_{u,yakıt}}$$

$$\eta_{Isıl} = \% 86$$

5.2.7. Besleme Suyu Ekserjisi

Kimyasal ekserji:

$$\bar{e}_{x_{kimbessu}} = \bar{R} T_0 \ln\left(\frac{P_{doyma}(T_0)}{P_0}\right)$$

$$\bar{e}_{x_{kimbessu}} = 8,314 \times 298,15 T_0 \ln\left(\frac{9,56}{0,88}\right)$$

$$\bar{e}_{x_{kimbessu}} = 2542,5 \text{ kJ/kmol}$$

$$e_{x_{kimbessu}} = 2542,5 \times 18 = 141,25 \text{ kJ/kg}$$

Fiziksel ekserji:

$$\bar{e}_{x_{fiz_{bessu}}} = (h - h_0) - T_0(s - s_0)$$

$$\bar{e}_{x_{fiz_{bessu}}} = (589,2 - 104,86) - 298,15(1,739 - 0,367)$$

$$e_{x_{fiz_{bessu}}} = 75,28 \text{ kJ/kg}$$

Besleme suyunun toplam ekserjisi;

$$e_{x_{bessu}} = e_{x_{kim_{bessu}}} + e_{x_{fiz_{bessu}}}$$

$$e_{x_{bessu}} = 2542,5 + 75,28 = 2617,28 \text{ kJ/kg}$$

$$e_{x_{bessu}} = 2617,28 \times 52,17 = 136543 \text{ kW}$$

5.2.8. Buhar Ekserjisi

Kimyasal ekserji:

$$\bar{e}_{x_{kim_{buhar}}} = \bar{R}T_0 \ln\left(\frac{P_{doyma}(T_0)}{P_0}\right)$$

$$e_{x_{kim_{buhar}}} = 141,25 \text{ kJ/kg}$$

Fiziksel ekserji:

$$\bar{e}_{x_{fiz_{buhar}}} = (h - h_0) - T_0(s - s_0)$$

$$e_{x_{fiz_{buhar}}} = (3477 - 104,86) - 298,15(6,783 - 0,367)$$

$$e_{x_{fiz_{buhar}}} = 1459,21 \text{ kJ/kg}$$

Toplam ekserji

$$e_{x_{buhar}} = e_{x_{kimbuhar}} + e_{x_{fixbuhar}}$$

$$e_{x_{buhar}} = 141,25 + 1459,21 = 1600,46 \text{ kJ/kg}$$

$$E_{x_{buhar}} = 1600,46 \text{ kJ/kg} \times 52,17 \text{ kg/s} = 83496 \text{ kW}$$

Klasik ekserji ve enerji analiz ve her bir hat numarasında akışkanın termodinamik özellikleri çizelge 5.9'da gösterilmiştir. En yüksek ekserji değerleri aşırı kızdırma üniteleri çıkışlarında belirlenmiştir. Aşırı kızdırıcı 1'de 997503,1 kW, aşırı kızdırıcı 2'de 3133113,27 kW ve aşırı kızdırıcı 3'te 3730207,17 kW bulunmuştur. En yüksek enerji oranları da yine kazan çıkışlarında ve türbin girişinde olduğu belirlenmiştir. Sistem ekserji değerlerine göre bakıldığında gelişme potansiyeli en yüksek elemanların kazanlar, yakıcılar ve türbin olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 5.9. Güç santralinde enerji, ekerji oranı ve diğer termodinamik özellikler (veriler 15 Mart 2015 tarihinde alınmıştır).

Hat no	Akış tipi	Sıcaklık	Basınç	Debi	Entalpi	Entropi	Ekserji	Ekserji oranı	Enerji oranı
		T(°C)	P (kPa)	m kg/s	h (kJ/kg)	s (kJ/kgK)	ex kJ/kg)	Ex (kW)	E (kW)
0	Su	21,0	101,33	57,36	88,1	5682	-	-	-
00	Hava/Baca gazı	21,0	101,33	57,36	294,6	0,3104	-	-	-
1	Hava	21,0	101,33	57,36	294,4	6847	-19663	-1127837,04	-7,601
2	Hava	21,6	107,23	57,36	295,0	6833	-19389	-1112120,85	26,24
3	Hava	195,0	106,13	57,36	470,7	7304	-17265	-990291,74	10106
4	Hava	340,0	105,21	57,36	621,3	0,2531	-13393	-768200,25	18745
5	COG	30,0	103,93	0,87	13957,9	7587	-6038	-5271,51	2034
6	BFG	40,0	103,23	26,82	4483,8		-42426	-1137959,6	6500
7	OCC	30,0	109,78	6,26	613,5		-8606	-53880,73	949,1
8	NG	17,0	501,33	-					-199,2
9	Baca gazı	346,0	100,73	91,31	4436	15975,403	-4121	-376306,853	28949
10	Baca gazı	305,0	100,48	91,31	4223,9	7542,492	-6162	-562679,65	24971
11	Baca gazı	225,0	98,44	91,31	3817,1	15324,970	-9567	-873605,35	17318
12	Baca gazı	150,0	97,94	91,31	3444,3	14834,655	-12362	-1128829,245	10261
13	Baca gazı	150,6	102,73	91,31	3447,1	14801,636	-11983	-1094221,07	10316
14	Su-sıvı	43,8	588	43,74	183,9	0,623	175	7654,5	4190
15	Su-sıvı	81,4	475	43,74	341,1	1092	1017	44483,58	11067
16	Su-sıvı	120,9	360	43,74	507,7	1537	2568	112324,32	18354
17	Su-sıvı	137,0	360	52,17	576,4	1708	4024	209923,14	25473
18	Su-sıvı	140,0	10800	52,17	596,1	1729	4763	248475,13	26500
19	Su-sıvı	140,0	10800	3,22	2756	7529	1752	5641,44	8589
20	Su-sıvı	140,0	10800	48,95	596,1	1729	4443	217474,98	24864

Çizelge 5.9. (devam ediyor).

21	Su-sıvı	178,5	10600	48,95	761,7	2112	4736	231816,68	32970
22	Su-sıvı	217,0	10400	48,95	932,3	2475	10151	496868,89	41322
23	Su-sıvı	304,0	9800	48,95	1366	3288	7025	343873,75	62534
24	Su-sıvı	309,0	9750	48,95	1395	3339	9663	473003,85	63990
25	Su-sıvı	309,0	9750	48,95	1395	3339	20378	997503,1	63990
26	Su-Buhar karışımı	309,0	9750	48,95	1396	3341	20378	997503,1	64034
27	Doymuş buhar	309,0	9750	48,95	1395	3339	20399	998531,05	63990
28	Buhar	400,0	9450	48,95	3108	6251	20378	997503,1	147821
29	Su-sıvı	140,0	10800	1,66	596,1	1729	62281	103386,46	843,2
30	Buhar	372,0	9450	50,61	3019	6117	150,7	7626,927	148343
31	Buhar	455,0	9125	50,61	3268	6495	61907	3133113,27	160947
32	Su-sıvı	140,0	10800	1,56	596,1	1729	68882	107455,92	792,4
33	Buhar	461,0	9125	52,17	3284	6516	141,6	7387,272	166736
34	Buhar	532,0	8800	52,17	3469	6772	71501	3730207,17	176362
35	Buhar	532,0	360	0,20	3554	8328	77205	15441	693,2
36	Buhar	532,0	8800	51,97	3469	6772	221,6	11516,55	175686
37	Buhar	356,4	2363	2,27	3143	6892	383	870,26	6935
38	Buhar	355,4	2245	2,27	3144	6915	76909	174754,34	6936
39	Su-sıvı	198,9	2245	2,27	847,7	2319	2540	5771,44	1724
40	Buhar	304,7	1501	3,19	3047	6935	2526	8048,12	9440
41	Buhar	303,8	1426	3,19	3047	6957	3203	10205,11	9440
42	Su-sıvı	164,3	1426	5,46	694,8	1985	3224	17597,67	3312
43	Buhar	244,1	887	2,77	2933	6,96	3203	8870,53	7881

Çizelge 5.9. (devam ediyor).

44	Buhar	238,8	588	2,77	2933	7145	623,3	1726,19	7881
45	Doymuş buhar	125,6	236	3,13	2714	7072	2463	7717,4	8220
46	Doymuş buhar	123,9	224	3,13	2712	7,09	2313	7247,4	8212
47	Aşırı soğutulmuş su	87,4	224	3,13	366,1	1162	1994	6247,87	870,2
48	Doymuş buhar	85,7	59	2,78	2653	7538	1971	5475	7129
49	Doymuş buhar	84,4	56	2,78	2650	7556	85,95	238,75	7123
50	Aşırı soğutulmuş su	49,7	56	5,91	208,1	0,700	1219	7205,64	709,2
51	Doymuş buhar	43,8	14	37,50	183	0,623	1199	44962,5	3573
52	Su-sıvı	27,0	200	0,33	113,3	0,395	32,24	10,6392	8,31
53	Su-sıvı	43,8	14	43,74	183,4	0,623	128,5	5620,73	4168
54	Su-sıvı	27,0	310	2100	113,4	0,395	0,116	243,6	53109
55	Su-sıvı	35,0	10200	2100	155,7	0,501	149,9	314790	141976
56		1470,0	3	-	5871	14,54	969,3	-	-
57		317,7	975	-	2781	5719	24020	-	-

Güç santrali bileşenlerinde önlenebilir ve kaçınılmaz ekserji değerlerinin belirlenmesi için yapılan gelişmiş ekserji analizi sonuçları çizelge 5.10'de verilmiştir. Analiz sonuçlarına göre toplam ekserji yıkımı 69685,81 kW, önlenebilir ekserji yıkımı 17260,34 ve kaçınılmaz ekserji yıkımı 52425,47 kW olarak hesaplanmıştır. Elemanlarda önlenebilir ekserji analizleri incelendiğinde en yüksek potansiyel 6874 kW ile kazanlarda olurken, türbinlerde 5388 kW olarak belirlenmiştir. Bu sistem bileşenlerinde kaçınılmaz ekserji değerleri ise kazanlarda 12371 kW iken, türbinde 9252 kW olarak belirlenmiştir. En yüksek kaçınılmaz ekserji kondenserde 20193 kW olarak hesaplanmıştır. Çevrim akışkanının soğutulması gerektiğinden kondenselerde kaçınılmaz ekserji değerleri bütün bileşenler içerisinde en yüksek değerdedir.

Çizelge 5.10. Gelişmiş ekserji analizi sonucunda sistem bileşenlerinde önlenebilir ve kaçınılmaz ekserji yıkımları.

Bileşen	Kaçınılmaz koşullar	Ekserji yıkımı kW	Önlenebilir ekserji yıkımı - kW	Kaçınılmaz ekserji yıkımı kW
		40,9	27,03	13,87
ID Fan	$\eta_{mech}=100\%$, $\eta_{elec}=98\%$	121,6	65,96	55,64
1.Hava ön ısıtıcı	$\Delta T_{min}=2$, $\Delta p=2$	670,9	210,2	460,7
2. Hava ön ısıtıcı	$\Delta T_{min}=2$, $\Delta p=2$	1830	341	1489
Ekonomizer	$\Delta T_{min}=2$, $\Delta p=0$	6107	685	5422
Su ısıtıcı 1	$\Delta T_{min}=4$, $\Delta p=0$	983,2	350,8	632,4
Su ısıtıcı 2	$\Delta T_{min}=4$, $\Delta p=0$	381,1	149,5	231,6
Besleme suyu tankı	$\Delta T_{min}=1$, $\Delta p=0$	1701	127	1574
Su ısıtıcı 3	$\Delta T_{min}=4$, $\Delta p=0$	333,4	95	238,4
Su ısıtıcı 4	$\Delta T_{min}=4$, $\Delta p=0$	410,9	128,5	282,4
Kondenser pompası	$\eta_{mech}=100\%$, $\eta_{is}=95\%$	135,1	4,4	130,7
Besleme suyu pompası	$\eta_{mech}=100\%$, $\eta_{is}=95\%$	88,71	9,95	78,76
Kondenser	$\Delta T_{min}=2$, $\Delta p=0$	22997	2804	20193
Türbin	$\eta_{mech}=100\%$, $\eta_{is}=97\%$	14640	5388	9252
Kazanlar	$Q_{loss}=0$, $\Delta p=0$, $\lambda=1$	19245	6874	12371
Motorlar	$\eta_{elec}=98\%$			
Toplam		69685,81	17260,34	52425,47

Sonuçlara göre iyileştirme potansiyeli en yüksek olan ekipman kazanlar, türbin ve kondeserdir. En yüksek potansiyeli bulunan kazanlarda yapılacak iyileştirmelerle 6874 kW kapasite artışı sağlanabilecektir. Yine kazanlarda 19274 kW'lık ekserji yıkımının 12371 kW'lık kısmı kaçınılmaz ekserji yıkımıdır.

BÖLÜM 6

SONUÇ VE ÖNERİLER

6.1. SONUÇLAR

Bu çalışmada 50 MW örnek bir Kuvvet Santralinin klasik ekserji ve gelişmiş ekserji analizleri yapılmıştır. Yapılan çalışma sonucunda sistem ekipmanlarında meydana gelen ekserji kayıp bölgeleri tespit edilerek, gelişmiş ekserji analizi sonucunda önlenebilir ve kaçınılmaz ekserji yıkımları belirlenmiştir. Sistem 57 hatta ayrılarak her bir hatta meydana gelen kayıplar tek tek incelenmiştir. Sistem doğalgaz ve kok fırınlarından alınan atık gazlar olarak iki farklı durumda çalışabilmektedir. Analizlerde sistemin atık gazlarla çalışması durumu değerlendirilmiştir. En yüksek ekserji verimine sahip birim türbinleridir. En fazla ekserji tahribi kondenser ve buhar kazanlarında bulunmuştur. Ekserji tahripleri, kimyasal reaksiyon, ısı aktarımı ve sürtünme gibi üç temel tersinmezlikten meydana gelmektedir. Kimyasal reaksiyonlar, ekserji tahribinin en önemli kaynağıdır. Kondenserlerde ısının dışarıya atılmasından kaynaklı ısı aktarımından kaynaklı ekserji tahribi oluşurken, buhar kazanları ve yanma odalarında bu üç tersinmezliklerin hepsi de gerçekleştiğinden dolayı en fazla bu birimlerde ekserji tahribi olmaktadır. Daha sonra azalan şekilde türbinler, besleme suyu tankı, hava ön ısıtıcıları, su ısıtıcıları ve diğerleri şeklinde sıralanmaktadır.

Gelişmiş ekserji analizi sonucunda en fazla önlenebilir ekserji yıkımı 6874 kW ile kazanlarda olduğu tespit edilmiştir. Kazanlarda kaçınılmaz ekserji yıkımı ise 12371 kW olarak bulunmuştur. En büyük ekserji yıkımı ise 22997 kW olarak kondenserde gerçekleşmiştir. Kondenserlerde 20193 kW kaçınılmaz ekserji değeri vardır. Sistem üzerinde iyileştirmeler yapıldığı takdirde toplam 17260,34 kW önlenebilir ekserji değeri olduğu belirlenmiştir. Dolayısıyla sistemde iyileştirme çalışmaları yapılırken dikkate alınacak öncelikli ekipmanlar kazan, türbin ve kondenserdir.

Kuvvet santralının ekserji analizi en düşük termodinamik performansı gösteren alt sistemlerin tanımlanmasını sağlamıştır. Bu çeşit bir bilgi ekonomik açıdan sistemin performansının optimize edilmesine yardımcı olmaktadır. Bu analiz var olan bir sisteme uygulandığı için, yeni operasyon stratejileri geliştirilebilir. Bu çalışma, verim kaybı analizleri için yapılan çalışmalar ile karşılaştırılarak çalışma sürelerini kısılmasını ve uzman kişilerin çalışma alanlarının tespitini kolaylaştırmada temel teşkil edebilmektedir.

6.2. ÖNERİLER

- Buhar kazanı ve yanma odaların dayanma havası önceden ısıtılarak ve hava-yakıt oranı düşürülerek ekserji tahribi düşürülebilir. Ayrıca, buhar kazanlarından atılan baca gazı buhar kazanına giren suyun ısıtılmasında veya fabrika ısıtma sisteminde kullanılarak değerlendirilebilir.
- Kondenserlerde çevrim akışkanı soğutulurken önemli miktarlarda faydalı ısı enerjisi kullanım sıcak suyu üretimi veya bölgesel ısıtma sistemleri gibi çevrimlerde kullanılarak faydalı hale dönüştürülebilir.
- Buhar türbinleri ve fanlar ile basınç düşürme istasyonlarında sürtünme azaltılarak ekserji tahripleri azaltılabilir. Bu sistemin geliştirilmesi için ekserji tahriplerinin en yüksek olduğu ekipmanlara odaklanılmalıdır.

KAYNAKLAR

Arslan, O., Ozgur, M.A., Kose, R. and Tugcu, A., “Exergoeconomic evaluation on the optimum heating circuit system of Simav geothermal district heating system”, *Energy and Buildings*, 41: 1325-1333 (2009).

Bejan A, Tsatsaronis G. and Moran M., “Thermal Design and Optimization”, *JohnWiley & Sons Inc.*, New York (1996).

Borgnakke, C. and Sonntag, R.E., “Fundamentals of thermodynamics seventh edition University of Michigan”, *John Wiley*, Michigan(2009).

Cerci, Y., “Performance evaluation of a single-flash geothermal power plant in Denizli, Turkey”, *Energy*, 28: 27-35 (2003).

Coskun, C., Oktay, Z. and Dincer, I. “New energy and exergy parameters for geothermal district heating systems”, *Applied Thermal Engineering*, 29: 2235-2242 (2009).

Çengel, Y.A. and Boles, M.A., “Termodinamik: Mühendislik Yaklaşımıyla”, *İzmir güven kitabevi*, (2012).

Dinçer I., “The role of exergy in energy policy making”, *Energy Policy*, 30(2): 137-149 (2002).

Dinçer I. ve Rosen M.A., “Exergy: Energy, Environment and SustainableDevelopment”, *Elsevier Ltd. Jordan Hill*, Oxford(2007).

DiPippo, R., “Second law assessment of binary generating power from low-temperature geothermal fluids”, *Geothermics*, 33: 565-86 (2004).

Dogdu, M.S. and Bayari, C.S. “Environmental impact of geothermal fluids on surface water, groundwater and streambed sediments in the Akarcay Basin, Turkey”, *Environment Geology*, 47: 325-340 (2005).

Erdogmus, B., Toksoy, M., Ozerdem, B. and Aksoy, N., “Economic assesment of geothermal district heating systems: a case study of Bolcova-Narlıdere Turkey”, *Energy and Buildings*, 38:1053-1059 (2006).

Filiz, Ç., Uysal, C., Kılınç, E. and Kurt, H., “Bir buhar kazanının enerji ve ekserji analizi yoluyla performansının değerlendirilmesi”, *2. Uluslararası Mühendislik ve Bilim Alanında Yenilikçi Teknolojiler Sempozyumu*, Karabük, Türkiye (2014).

Fridleifsson, I.B., “Geothermal energy for the benefit of the people”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 5: 299-312 (2001).

Gundersen, T., “An Introduction to The Concept Of Exergy And Energy Quality”, *Department of Energy and Process Engineering Norwegian University of Science and Technology Trondheim*, Norway, Version 4, (2011).

İnternet:European Commission,“European Commission Reference Document on Best Available Techniques for Energy Efficiency”, <http://eippcb.jrc.ec.europa.eu/reference>(2009).

Kanoglu M., “Exergy analysis of a dual-level binary geothermal power plant”, *Geothermics*, 31: 709-724 (2002).

Kanoglu, M., and Cengel, Y.A., “Retrofitting a geothermal power plant to optimize performance: a case study”, *Transactions of the ASME, Journal of Energy Resources Technology*, 121: 295-301 (1999).

Karakoç H., Karakoç N. Erbay B. ve Aras H.,“Enerji Analizi”, *T.C. Anadolu Üniversitesi Yayını*,No: 2486(2011)

Komurcu, I.M. and Akpınar, A., “Importance of geothermal energy and its environmental effects in Turkey”, *Renewable Energy*, 34: 1611-1615 (2009).

Koroneos, C., Bobolias, C. and Spachos, T., “Evaluation of utilisation opportunities of geothermal energy in the Kavala region, Greece, using exergy analysis”, *International Journal of Exergy*, 1: 111-127 (2004).

Kose, R., “Geothermal energy potential for power generation in Turkey: a case study in Simav, Kutahya”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 11: 497-511 (2007).

Kotas, T.J., “The Exergy Method of Thermal Plant Analysis”, *KreigerPublishingCompany*, Malabar, Florida (1995).

Lee, K.C., “Classification of geothermal resources by exergy”, *Geothermics*, 30: 431-442 (2001).

Lund, W.J. Freeston, D.H. and Boyd, T.L., “Direct application of geothermal energy: 2005 worldwide review”, *Geothermics*, 34: 691-727 (2005).

Morosuk, T. and Tsatsaronis, G., “Advanced exergetic evaluation of refrigeration machines using different working fluids”, *Energy*, 34 (12): 2248-2258(2009)

Mustafa, A., “Temel Kavramlari ile Mühendislik Termodinamiği”, *Qafqaz ÜniversitesiYayınları*, Bakü-Azerbaycan (2009).

Niğdelioğlu, O., “Toprak Kaynaklı Isı Pompasının Dizaynı ve TekmoekonomikPerformans Analizi”, Yüksek Lisans Tezi, *Dumlupınar Üniversitesi FBE*, Kütahya (2006).

Okday, Z., Coskun, C. and Dincer, I., “Energetic and exergetic performance investigation of the Bigadic Geothermal District Heating System in Turkey”, *Energy and Buildings*, 40: 702-709 (2008).

Ozgener, L. and Ozgener O., “Monitoring of energy exergy efficiencies and exergoeconomic parameters of geothermal district heating systems (GDHSs)”, *Applied Energy*, 86: 1704-1711 (2009).

Ozgener, L. Hepbasli, A. and Dincer, I. “Effect of reference state on the performance of energy and exergy evaluation of geothermal district heating systems: Balcova example”, *Building and Environment*, 41: 699–709 (2006).

Ozgener, L., Hepbasli, A. and Dincer, I. “Exergy analysis of two geothermal district heating systems for building applications”, *Energy Conversion and Management*, 48: 1185-1192 (2007).

Ozgener, L., Hepbasli, A. and Dincer, I. “Thermo-mechanical exergy analysis of Balcova geothermal district heating system in Izmir, Turkey”, *Transactions of the ASME, Journal of Energy Resources Technology*, 126: 293-301 (2004).

Ozgener, L. Hepbasli, A. and Dincer, I., “A key review on performance improvement aspects of geothermal district heating systems and applications”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 11: 1675-1697 (2007).

Ozgener, L. Hepbasli, A. and Dincer, I., “Effect of reference state on the performance of energy and exergy evaluation of geothermal district heating systems: Balcova example”, *Building and Environment*, 41: 699-709 (2006).

Ozgener, L., Hepbasli, A. and Dincer, I., “Energy and exergy analysis of geothermal district heating systems: an application”, *Building and Environment*, 40: 1309-1322 (2005).

Ozgener, L., Hepbasli, A. and Dincer, I., “Energy and exergy analysis of Salihli geothermal district heating system in Manisa, Turkey”, *International Journal of Energy Research*, 29: 393-408 (2005).

Ozgener, L., Hepbasli, A. and Dincer, I., “Energy and exergy analysis of the Gonen geothermal district heating system, Turkey”, *Geothermics*, 34: 632-645 (2005).

Ozgener, L. Hepbasli, A. and Dincer, I., “Performance investigation of two geothermal district heating systems for building applications: energy analysis”, *Energy and Building*, 38: 286-292 (2005).

Ozgener, L., Hepbasli, A. and Dincer, I., “Thermodynamic analysis of a geothermal district heating system”, *International Journal of Exergy*, 2: 231-245 (2005).

Ozgener, L.,and Ozgener, O., “Thermomechanical exergy and thermoeconomic analysis of geothermal district heating systems”, *Proc. IMechE Part A: J. Power and Energy*, 222: 167-177 (2008).

Ozgener, L., Hepbasli, A. and Dincer, I. "Performance investigation of two geothermal district heating systems for building applications: energy analysis", *Energy and Building*, 38: 286-292 (2005).

Quijano, J., "Exergy analysis for the Ahuachapan and Berlin Geothermal fields, El Salvador", *In: Proceedings World Geothermal Congress*, Kyushu-Tohoku, Japan, (2000).

Serpen, U., Aksoy, N., Öngür, T., and Korkmaz, E.D., "Geothermal energy in Turkey: 2008 update", *Geothermics*, 38: 227-237 (2009).

Szargut J., Morris D.R., Steward F.R., "Exergy Analysis of Thermal, Chemical, and Metalurgical Processes", *Hempshire*, New York, (1988).

Szargut J., "Exergy Method: Technical and Ecological Applications", *WIT Press*, Southampton, Boston (2005)

Teir, S. and Kulla, A., "Steam Boiler Technology eBook Espoo" *Helsinki University of Technology Department of Mechanical Engineering Energy Engineering and Environmental Protection Publications*, Finland (2002).

Van Gool, W., "Energy policy: fairly tales and factualities", *Innovation and Technology-Strategies and Policies*, 93-105 (1997).

Wang, L., Yang, Y., Morosuk T. and Tsatsaronis, G., "Advanced thermodynamic analysis and evaluation of a supercritical power plant", *Energies*, 5: 1850-1863 (2012).

Xiang, J.Y., Cali, M., and Santarelli, M., "Calculation for physical and chemical exergy of flows in systems elaborating mixed-phase flows and a case study in an IRSOFC plant", *International Journal of Energy Research*, 28: 101-115 (2004).

Yetemen, O., and Yalcin, T., "Climatic parameters and evaluation of energy consumption of the Afyon geothermal district heating system", Afyon, Turkey, *Renewable Energy*, 34: 706-710 (2009).

ÖZGEÇMİŞ

Kadir Yılmaz 1969 yılı Samsun doğumludur. İlk ve ortaöğrenimini Samsunda, yükseköğrenimini İzmir Dokuz Eylül Üniversitesinde yaptı. 1996 Yılında makina mühendisi olarak mezun oldu. Enerji sektöründe çalışıyor. Halen; 2014 yılında Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı'nda başlamış olduğu yüksek lisans eğitimine devam etmektedir.

ADRES BİLGİLERİ

Adres : Cennet Mahallesi Küçükçekmece/ İSTANBUL
E-posta : kdrylmz@gmail.com