



KOK FIRINLARINDA ENERJİ ANALİZİ

**2020
YÜKSEK LİSANS TEZİ
ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ**

Murat ERGÜL

Dr. Öğr. Üyesi Selçuk SELİMLİ

KOK FIRINLARINDA ENERJİ ANALİZİ

Murat ERGÜL

Dr. Öğr. Üyesi Selçuk SELİMLİ

T.C.

Karabük Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalında

Yüksek Lisans Tezi

Olarak Hazırlanmıştır

KARABÜK

Ocak 2020

Murat ERGÜL tarafından hazırlanan “KOK FIRINLARINDA ENERJİ ANALİZİ” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Dr. Öğr. Üyesi Selçuk SELİMLİ
Tez Danışmanı, Enerji Sistemleri Mühendisliği



Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 21/01/2020

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Prof. Dr. Kurtuluş BORAN (GÜ)

Üye : Prof. Dr. Mehmet ÖZKAYMAK (KBÜ)

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Selçuk SELİMLİ (KBÜ)



KBÜ Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile, Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Hasan SOLMAZ
Lisansüstü Eğitim 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.”

Murat ERGÜL

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

KOK FIRINLARINDA ENERJİ ANALİZİ

Murat ERGÜL

Karabük Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı:

Dr. Öğr. Üyesi Selçuk SELİMLİ

Ocak 2020, 36 sayfa

Enerji kaynaklarının azalması enerji ihtiyacının ve maliyetlerin artması sanayideki rekabetçi koşullar ve çevresel duyarlılık enerji kaynaklarını verimli kullanmayı gerektirmektedir. Dünyadaki nüfus artışıyla doğru orantılı sanayileşmenin artması ve teknolojinin gelişmesi enerjiye olan ihtiyacı artırmaktadır. Entegre demir çelik üretim tesisleri alt birimleri arasında yer alan kok fırınları yüksek fırınların ihtiyacı olan metalürjik kok kömürünü üretmek için kurulmuş tesislerdir. Bu tez çalışmasında bir entegre demir çelik üretim tesisine ait kok fırınında kütle ve enerji balansı kurularak, fırın enerji analizi tesis verilerine dayanılarak gerçekleştirilmiştir. Muhtemel enerji kazanımına dair ön fizibilite çalışması kapsamında değerlendirilmiştir. Mevcut çalışma şartlarında 18 saatlik bir tam yüklü koklaşma sürecinde enerji girdisi yükü 9 048 504,6 kcal olarak belirlenmiştir. Bu ısıl yükün %87,92'lik kısmı olan 7 955 612 kcal ısıl yük koklaşma süreci ürünlerine aktarılmaktadır. Girdi enerjinin %63,85'lik bölümü fırından deşarj edilen koklaşmış kömürün ve %24,08'lik bölümü ise koklaşma ürünü olan kok gazının süreç sonunda

soğutulması esnasında kayba uğramaktadır. Koklaşma sürecinde bacadan %8,77'lik kısma tekabül eden 793 213,52 kcal'lik ısı yük kaybı gerçekleşirken fırın yüzey ve sızıntı kayıp kaçakları ise girdi ısı yükün %3,31'lik kısmı olan 299 679,12 kcal enerji kayba uğramaktadır. Koklaşmış kömürün su ile soğutulması süreci yerine kuru soğutma teknoloji yatırımı ile %63,85'lik 5 777 028 kcal'lik ısı yükün %80 verime sahip bir kuru söndürme ünitesi ile 4 620 622,4 kcal'lik kazanım mümkün olması öngörülmektedir. Muhtemel kazanım ile 88,6 kg CO₂/GJ emisyon değerliği baz alınarak bir tam şarj koklaşma döngüsü için 1 713,52 kg CO₂ emisyonuna eşdeğer enerji kazanımı belirlenmiştir. Ayrıca sulu soğutma sürecinde kullanılan sudan da tasarruf sağlanabilecektir.

Anahtar Sözcükler : Enerji, enerji kazanımı, kok fırınları, kok bataryası, emisyon.

Bilim Kodu : 91408

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

ENERGY ANALYSES OF COKE OVENS

Murat ERGUL

Karabuk University

Institute of Graduate Programs

Department of Energy Systems Engineering

Thesis Advisor:

Assist. Prof. Dr. Selcuk SELIMLI

January 2020, 36 pages

The decrease in energy sources, increase in energy requirement and energy costs, competitive conditions in the industry and environmental sensitivity requires the usage of energy sources efficiently. An increase in population in the world directly increases the industrialization and the development of technology increases the energy requirement. Coke ovens, which are among the sub-units of integrated iron and steel production facilities, are the facilities established to produce metallurgical coke required for blast furnaces. In this thesis study, mass and energy balance was established in the coke oven of an integrated iron and steel production facility and the oven energy analysis was performed based on the facility data. It has been evaluated within the scope of the preliminary feasibility study on possible energy recovery. In the current working conditions, the energy input load was determined as 9 048 504.6 kcal within an 18-hour fully loaded coking process. About 87.92% of this heat load that is about 7 955 612 kcal was loaded to coking process end products. 63.85% of the input energy is lost during cooling of the coking coal discharged from

the oven and 24.08% of the input energy is lost during cooling of the coke gas, at the end of the process. 8.77% of the energy that is about 793 213.52 kcal, is released from the chimney and also 3.31% that is about 299 679.12 kcal of the heat load is lost from the oven surface and as the leakage. Instead of wet quenching system cooling of hot coking coal by coke dry quenching would enable the saving of stagnant heat that is about 63.85% of input energy that is 5 777 028 kcal and it is predicted that by the 80% efficient dry quenching system make possible the saving potential is approximately about 4 620 622.4 kcal. For a one coking circulation with the possible saving energy is equivalent to approximately about 1 713.52 kg CO₂ emissions elimination in the base of 88.6 kg CO₂/GJ energy. Additionally, water used at the wet quenching system could be saved.

Key Words : Energy, energy saving, coke ovens, coke battery, emission.

Science Code : 91408

TEŞEKKÜR

Yüksek Lisans tez çalışmama yardım ve desteklerini esirgemeyen, değerli tez danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Selçuk SELİMLİ'ye ve kıymetli hocam Prof. Dr. Mehmet ÖZKAYMAK'a, bizlere bu imkanı sağlayan KARDEMİR A.Ő. Yönetim Kurulu ve değerli yöneticilerine teşekkür ederim.

Bilgi ve tecrübelerinden faydalandığım değerli Başmühendisim Sn. Cüneyt USLU'ya ve Kardemir A.Ő. Kok Fabrikaları Müdürü Sn. Ömer ÖZDEMİR'e teşekkür ederim.

Ayrıca, her zaman desteklerini hissettiren sevgili aileme ve değerli eşim Kübra'ya teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL.....	ii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xiii
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2	5
DEMİR ÇELİK FABRİKALARI TANITIMI.....	5
2.1.DEMİR ÇELİK ÜRETİMİ.....	6
2.1.1. Kok Fabrikaları.....	7
2.1.2. Sinter Fabrikaları	7
2.1.3. Yüksek Fırınlar	7
2.1.4. Çelikhane Tesisleri	7
2.1.5. Haddehaneler	8
2.1.6. Enerji Tesisleri.....	8
2.2. KOK FABRİKALARI	8
2.2.1.Kömür Hazırlama Tesisi.....	8
2.2.2.Bataryalar Tesisi	9
2.2.2.1. Geleneksel Dikey Kamaralı Bataryalar	9
2.2.2.2. Isı Dönüşümlü Bataryalar	10
2.2.3. Kırma-Eleme Tesisi.....	10
2.2.4. Yan Ürünler Tesisi.....	11

	<u>Sayfa</u>
2.3. KOKLAŞMA	11
2.4. METALURJİK KOK ÜRETİMİ.....	12
2.5. KOK GAZI OLUŞUMU	14
BÖLÜM 3	16
BATARYALARDA ENERJİ ANALİZİ	16
3.1. YANMA	16
3.2. BATARYALARDA ISITMA SİSTEMİ.....	20
3.3. BATARYALARDA ENERJİ ANALİZİ	22
3.3.1. Giren Enerjiler	25
3.3.2. Çıkan Enerjiler.....	26
3.3.3. Isıl Verim Hesaplanması.....	28
3.3.4. Atık Isı Geri Kazanımı.....	29
BÖLÜM 4	31
SONUÇ VE ÖNERİLER	31
KAYNAKLAR	33
ÖZGEÇMİŞ	36

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 1.1. Dünyada enerji üretimi	1
Şekil 1.2. İnsan kaynaklı global sera gazı emisyonları	2
Şekil 1.3. Enerji tüketiminin sektörel dağılımı	3
Şekil 1.4. 2011 yılı nüfusa göre enerji tüketim miktarları	3
Şekil 2.1. Yüksek fırın proses şeması	6
Şekil 2.2. Kok bataryaları fırın üstü görünümü	9
Şekil 2.3. Geleneksel dikey kamaralı bataryalar kesiti	9
Şekil 2.4. Isı dönüşümlü bataryalar kesiti	10
Şekil 2.5. Plastik bölgenin fırın içindeki davranışı	12
Şekil 2.6. Kok bataryaları görünümü	13
Şekil 2.7. Bataryaların şematik görünümü.	13
Şekil 3.1. Baca gazı sıcaklığı ve hava-yakıt oranı.	17
Şekil 3.2. Yanma kamarası gaz-hava kanalları	21
Şekil 3.3. Rejeneratör bölgesi gaz-hava hücre ve kanalları	22
Şekil 3.4. a) Fırın üstü, b) kokaltı, c) kok taraf ve d) itici taraf termal görüntüleri ...	28

ÇİZELGELER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 3.1. Karışık gaz bileşenleri	23
Çizelge 3.2. Teorik baca gazı ve hava oranı	23
Çizelge 3.3. Baca gazı bileşimi	23
Çizelge 3.4. Havanın özgül ısı hesabı	24
Çizelge 3.5. Kuru baca gazı bileşenlerine dayanarak özgül ısınma ısısı	24
Çizelge 3.6. Sıcaklıklara dayanarak su buharı özgül ısınma ısısı	24
Çizelge 3.7. Sıcaklıklara dayanarak havanın özgül ısınma ısısı	24
Çizelge 3.8. Yüzeysel ısı kayıpları.....	27

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

A_0	: hava miktarı
CH_3	: metil
C_6H_5	: difenil
C_6H_6	: benzen
C_6H_{10}	: sikloheksen
C_6H_{12}	: sikloheksan
C_7H_8	: toluen
C_7H_{14}	: sikloheptan
C_8H_{10}	: ksilen
C_p	: özgül ısı
EJ	: exajoule
Fe_2O_3	: hematite
Fe_2O_4	: manyetit
F	: kullanılan yakıt miktarı
G'	: gerçek kuru baca gazı hacmi
G_0	: teorik yağ baca gazı hacmi
G'_0	: teorik kuru baca gazı hacmi
G_{wa}	: yanma havasında bulunan su miktarı
G_{wf}	: yakıtın yanması ile oluşan su miktarı
H_u	: alt ısı değer
Q	: enerji miktarı
Z	: mutlak nem
σ	: Stefan-Boltzman sabiti
m	: hava yakıt oranı

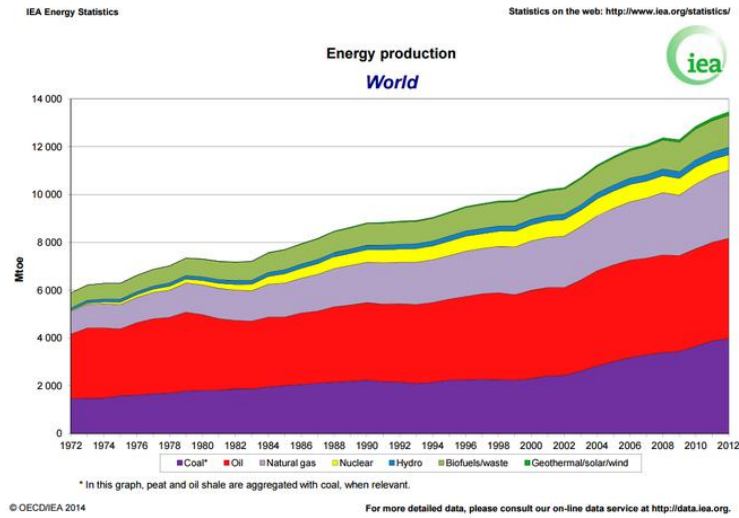
KISALTMALAR

- ABD : Amerika Birleşik Devletleri
A.Ş. : Anonim Şirketi
BOF : Bazik Oksijen Fırını
CDQ : Coke Dry Quenching (Kok Kuru Söndürme)
GSYİH : Gayri Safi Yurt İçi Hasılası
KG : Kok Gazı
MTEP : Milyon Ton Eşdeğer Petrol
PLC : Programmable Logic Controller (Programlanabilir Mantıksal Denetleyici)
YFG : Yüksek Fırın Gazı

BÖLÜM 1

GİRİŞ

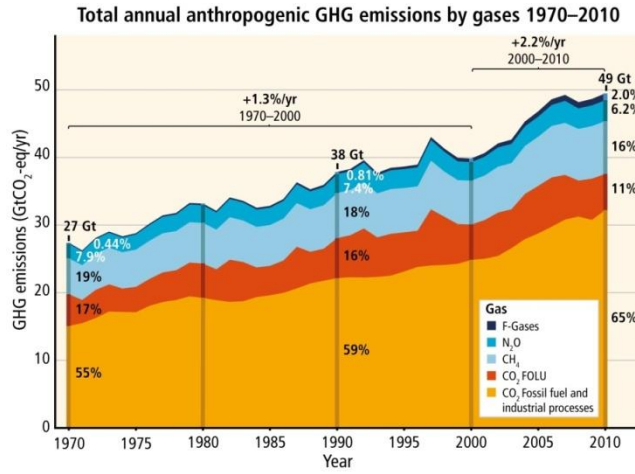
Enerji, insanoğlunun ihtiyaçlarının karşılanması ve hayat kalitesinin artırılmasında önemli bir gereksinim olarak kabul edilmektedir. Dünya nüfusunun artması ile birlikte, endüstrinin gelişmesi ve bununla paralel olarak artan hava kirliliği, dünya üzerindeki tüm canlıların sağlığı üzerinde olumsuz etkiler oluşturmaktadır. Şekil 1.1'de görüldüğü gibi dünyadaki enerji üretiminin büyük bir çoğunluğu fosil kaynaklı yakıtlardan oluşmaktadır.



Şekil 1.1. Dünyada enerji üretimi [1].

Günden güne artan hava kirliliği, dünya ekolojisini tehdit etmekte ve ekolojik sorunlarla karşı karşıya bırakmaktadır. Endüstriyel tesislerden kaynaklı emisyonlar ve bu tesislerdeki yakıtların (katı, sıvı ve gaz) yakılarak bünyesinde bulunan kirletici baca gazlarının tesis bacalarından atmosfere bırakılması hava kirliliğine sebep olmaktadır. Yakıtın cinsi ve miktarına göre değişkenlik gösterebilen baca gazları yanma verimliliklerine göre emisyon oranları değişmektedir.

Enerji tüketiminin hızlı bir şekilde artması ile birlikte fosil kökenli yakıtlar daha çok kullanılmaya başlanmış ve atmosfere salınan karbon miktarında büyük bir artış olmuştur.CO₂ en önemli insan kökenli sera gazıdır. Şekil1.2’de görüldüğü üzere CO₂, 2010 yılındaki toplam insan kaynaklı sera gazı salınımlarının %77’sini oluşturmaktadır. Bununla birlikte 1970’li yıllarda 27 Gt seviyesinde olan sera gazı miktarı 2010 yılında 49 Gt seviyelerine ulaşmıştır [2].

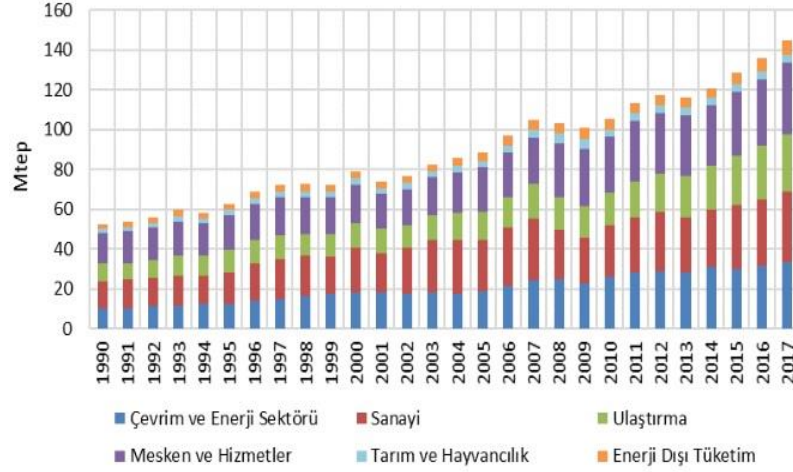


Şekil 1.2. İnsan kaynaklı global sera gazı emisyonları [2].

1900'lü yılların başında 22,6 milyar ton olan karbondioksit emisyonu 2017 yılına gelindiğinde 37 milyar ton mertebesine yükselmiştir. Dünya'yı yıllık 10,8 milyar ton karbondioksit salınımıyla en çok kirleten ülke olarak Çin gösterilmektedir. Çin aynı zamanda, nüfus yoğunluğu sebebiyle dünyada insanların sebep olduğu karbon salınımının yaklaşık üçte birine denk gelmektedir. 5 milyar tondan fazla emisyon oranına sahip Amerika Birleşik Devletleri (ABD) dünyadaki en büyük ikinci kirletici konumundayken, üçüncü sırada 3,5 milyar ton ile Avrupa Birliği ülkeleri gelmektedir. Paylaşılan listede Türkiye ise Güney Afrika'nın hemen ardından 16'ncı sırada bulunmaktadır [3].

2017 yılında ülkemizdeki enerji tüketimi 145,3 Mtep olmuştur. Toplam enerji tüketimine bakıldığında geçmiş yıllara nazaran büyük bir artış olduğu görülmektedir. Tüketim dağılımına bakıldığında, en yüksek tüketim %24,8 ile konut ve hizmetler olurken, ikinci sırada %24,4 ile sanayi sektörü gelmektedir. Bunları %23,1 ile enerji

sektörü, %19,6 ile ulaştırma, %5,1 ile enerji dışı tüketim ve %2,9 ile tarım ve hayvancılık sektörü takip etmektedir.



Şekil 1.3. Enerji tüketiminin sektörel dağılımı [4].

Ülkelerin sanayileşme ve gelişmeye yönelik yaptıkları yatırımlar ile dünya emisyon miktarı giderek artmaktadır. 2011 yılında Dünya Bankası ve British Petrol'ün paylaştığı veriler Şekil 1.4'te gösterilmektedir. Ülke nüfusu ve kişi başına düşen hasıla göz önünde bulundurularak dünyada en fazla enerji tüketimi gerçekleştiren ülkelerin sırasıyla Çin, ABD ve Rusya olduğu görülmektedir. Aynı zamanda bu ülkelerin tüketime paralel olarak en fazla CO₂ emisyonu yayan ülkeler olduğu belirlenmiştir. (Şekil 1.4) [5].

Ülkeler	Nüfus (milyon)	GSYİH/kişi (\$/kişi)	Enerji Tüketimi (Mtep)	Elektrik Tüketimi (TWh)	CO ₂ Emisyonu (milyon ton)
Çin	1348.1	5445	2613.21	4700.07	8979.14
ABD	313.1	48112	2269.33	4308	6016.61
Rusya	142.8	13089	685.63	1051.59	1675.04
Hindistan	1242.6	1489	559.10	1006.17	1797.99
Japonya	126.5	45903	477.59	1104.18	1307.40
Kanada	34.3	50345	330.27	607.59	624.44
Almanya	82.1	44060	306.41	614.5	802.82
Brezilya	196.7	12594	266.88	501.32	481.89
Kore	48.4	22424	263.01	520.10	738.06
Türkiye	74.7	10444	118.80	228.41	323.40
Dünya	6978.3	10027	12274.62	22018.12	34032.75

Şekil 1.4. 2011 yılı nüfusa göre enerji tüketim miktarları [5].

Türkiye’de enerji potansiyeli araştırmalarında, sanayide %15, yerleşim yerlerinde %35 ve taşımacılık faaliyetlerinde %15 enerji tasarrufu yapılabileceği ön görölmüştür. Bu potansiyeller yenilenebilir enerji kaynakları ile elde edilebilecek enerjiden daha yüksektir. Enerji verimliliği konusunda sağlam adımlar atıldığı takdirde ölkemiz enerji talebinin 2020 yılında %20 oranında (45 MTEP) azalması düşünölmektedir [6].

Demir Çelik sektörü yıllık yaklaşık 24 EJ ($\times 10^{18}$) enerji tüketimiyle en çok enerji tüketen sektörlerden biri olduğu gibi aynı zamanda dünyanın toplam enerji tüketiminin %5’ine denk gelmektedir [7].

Endüstriyel işletmeler açısından bakıldığında, verimliliği arttırıcı çalışmalar yakıttan tasarruf sağlamakla birlikte kaynakların verimli kullanımına ve çevre kirliliğinin azaltılmasına önemli ölçüde katkıda bulunurlar. Enerji verimliliğinin artırılması, ısı kayıplarının meydana geldiği bölgelerin ve miktarlarının belirlenmesi ile mümkün olmaktadır [8].

BÖLÜM 2

DEMİR ÇELİK FABRİKALARI TANITIMI

Demir çelik fabrikaları demir cevherinin yüksek fırınlarda işlenmesi veya hurda parçaların ark ocaklarında eritilmesi ile elde edilecek olan blum ve kütüklerin değişik işlemlerden geçirildikten sonra istenen kimyasal ve fiziksel özelliklere sahip mamul üreten büyük ölçekli fabrikalardır [9].

Türkiye'nin sanayileşmesi ve büyümesi adına 1935 yılında Atatürk'ün imzası ile Sümerbank'a bağlı olacak olan Kardemir Demir Çelik Fabrikaları kurulmuştur. İlk ağır demir çelik sanayi olması açısından önemli bir öneme sahip olan bu tesis herhangi bir savaştan etkilenmemesi için liman şehirleri yerine Zonguldak taş kömürü madenlerine yakın olması ve Ankara-Zonguldak demiryolu güzergahında bulunması sebebiyle jeopolitik açıdan elverişli olan 13 haneli Karabük köyü yakınlarına kurulmuştur. 3 Nisan 1937'de inşaat çalışmaları başlayan tesis 1939'da ilk Türk demirini dökmeyi başarmıştır. 150 000 ton çelik üretim kapasitesine sahip tesisin ardından 1960 yılında Erdemir Demir Çelik Fabrikaları ve 1975 yılında İsdemir Demir Çelik Fabrikaları kurulmuştur.

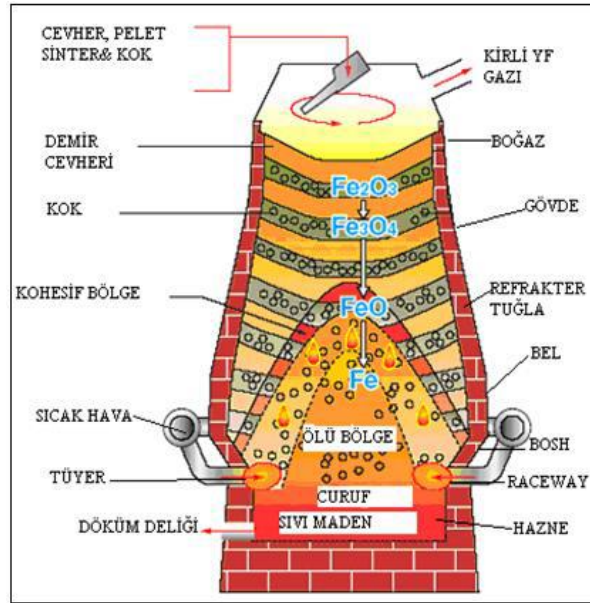
Demir Çelik Sektörü, çelik ürün tüketiminin günden güne artması ile birlikte çelik üretim yelpazesinin genişlemesi ve ihracat potansiyeline bakıldığında ülke ekonomisine büyük katkı sağlaması açısından önemli bir yere sahiptir.

Entegre demir çelik fabrikalarında ana hammadde olarak demir cevheri ve kok kömürü kullanılmaktadır. Kullanılan demir cevheri ve kömürün kalitesi ile birlikte yüksek fırın teknolojisine bağlı olarak yaklaşık 1 ton kömürden 800 kg kok elde edilirken, 1,5 ton cevher ve 500 kg kok kömüründen de 1 ton sıvı ham çelik üretilmektedir.

2.1.DEMİR ÇELİK ÜRETİMİ

Demir çelik üretimi hammaddeden yarı mamul çelik üretimine kadar uzanan seri işlemleri gerçekleştiren birçok tesisten oluşmaktadır. Entegre demir çelik tesislerinde, hammadde olarak demir cevheri kullanılarak önce pik ve sıvı çeliğin sonrasında nihai ürünlerin üretildiği tesislerdir. Bazı demir çelik tesislerinde cevherin yanı sıra hurda metallerde kullanılmaktadır. Entegre demir çelik tesisleri, kok fabrikası, sinter fabrikası, yüksek fırınlar, çelikhane, haddehane, enerji üretim tesisleri gibi ana tesislerden oluşmaktadır. Bunlara ek olarak ürün ihtiyacı ve şirket politikalarına göre ara mamul üretim tesisleri de olabilmektedir.

Genel olarak bakıldığında entegre demir çelik tesislerini diğer çelik üreticilerinden ayıran önemli unsur yüksek fırınlardır. Bu tesisler doğadan toz halinde alınarak fiziksel ve/veya kimyasal işlemlerden geçmiş demir cevherinin, kok fabrikalarında elde edilen veya dışarıdan satın alınan metalürjik kok ile reaksiyona girmesi sonucunda demirin indirildiği ve sıvı ham demirin üretildiği tesislerdir [10]. Yüksek fırınlardan elde edilen sıvı ham demir daha sonra potalar vasıtasıyla çelikhane tesislerine gönderilir ve çelik üretimi gerçekleştirilir.



Şekil 2.1. Yüksek fırın proses şeması [11].

2.1.1. Kok Fabrikaları

Kok Fabrikaları, yüksek fırınların metalürjik kok ihtiyacını karşılamak amacıyla kurulmuş olup kömür hazırlama, bataryalar, kırma eleme tesisleri ve yan ürünler tesisleri olmak üzere 4 ana tesisten oluşmaktadır. Bu tesislerde metalürjik kok, döküm kok, ceviz kok, kok tozu ve yan ürün olarak kok gazı, ham katran, ham benzol, naftalin ve amonyum sülfat üretilmektedir.

2.1.2. Sinter Fabrikaları

Cevher Hazırlama Tesislerinde, yüksek fırınların ihtiyacı direkt şarj edilebilecek demir cevherleri uygun ebatlarda hazırlanır. Ayrıca, yüksek fırınlarda doğrudan kullanılmayacak özellikteki parça cevherler kırma-eleme işlemine tabi tutularak Harmanlama Tesisinde harman sahalarına alınır.

Sinter Fabrikaları, kükürtlü ve toz içeriği yüksek demir cevherinin ergime sıcaklığının altında bir sıcaklıkta ısıtarak yüksek fırınlar için kullanıma uygun ebat ve dayanıklılıkta topaklar haline getirildiği tesislerdir.

2.1.3. Yüksek Fırınlar

Yüksek fırınlar, fiziksel ya da kimyasal işlemlere uğramış demirli hammaddelerin (sinter, pelet, cevher) bataryalarda üretilen kokun yakılması sonucunda oluşan karbon monoksit ile redüklenerek ve oluşan ısı ile ergitilerek sıvı ham demir üretilmesini sağlayan tesislerdir.

2.1.4. Çelikhane Tesisleri

Yüksek fırınlardan çelikhaneye potalarla gelen sıvı ham demirin, bazik oksijen konverterlerinde (BOF) sıvı çelik haline getirildikten sonra, sürekli döküm makinelerinde dökülerek kütük, blum ve profil taslağı gibi yarı mamullerin üretildiği tesislerdir.

2.1.5. Haddehaneler

Çelik üretiminde merdaneler arasından kütük, blum vb. mamullerin geçirilerek istenilen kalınlığa, genişliğe ve uzunluğa getirildiği tesislerdir. Günümüz teknolojisi ile birlikte birçok ara mamul üretilebildiği gibi buna uygun haddehane tesisleride kurulmuştur.

2.1.6. Enerji Tesisleri

Enerji Tesislerinde; elektrik enerjisi, proses buharı, yüksek fırınların yakma havası ihtiyacı, çelikhane vb. tesislerin oksijen, azot ve argon ihtiyaçları temin edilmektedir. Ayrıca, ünitelerin ihtiyacı olan yan ürün gazlarının dağıtımı yapılmaktadır.

2.2. KOK FABRİKALARI

Entegre demir çelik fabrikalarında kok fabrikasının birincil görevi yüksek fırınların kok ihtiyacını karşılamaktır. Kok, yüksek fırınlarda sıvı ham demir üretimi ve sıcak maden kalitesine direk etki etme potansiyelinden dolayı yüksek fırına beslenen en önemli hammaddedir. Kok, yüksek fırın hacminin %55'ini, reaksiyon bölgesinin ise %75'ini oluşturmaktadır.

2.2.1. Kömür Hazırlama Tesisi

Kömür hazırlama tesisi yerli ve ithal olarak temin edilen koklaşabilir taş kömürünün boşaltma, stoklama, harmanlama, kırma ve şarj silo binalarına nakil işlemlerinin gerçekleştirildiği tesistir. Deniz, demir ve kara yollarıyla gelen koklaşabilir taş kömürü sahada stoklanır. Bant konveyörleri ile kömür kırıcılarına gönderilerek +3,15 ve -0,5 mm aralığında kırıldıktan sonra şarj silolarına depolanmaktadır. Her bir silonun altında bulunan bant kantarları ile tartılan kömürler mikserlere gönderilerek uygun harmanlama yapılır. Elde edilen kömür harmanı yine bant konveyörler vasıtasıyla bataryalar şarj silolarına nakledilir.

2.2.2. Bataryalar Tesisi

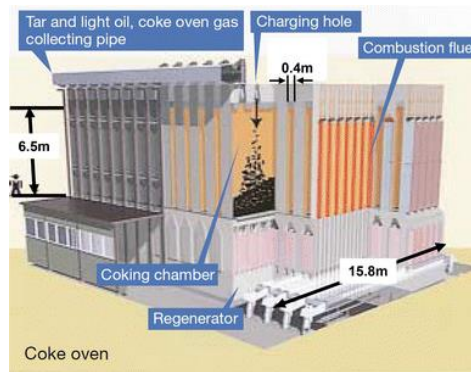
Koklaşma proseslerinde yaygın olarak konvansiyonel, dikey kamaralı ve endirekt ısıtma yapan fırınlar kullanılmaktadır. Bir kok bataryası 10 ya da 100 fırından oluşabilmektedir. Kok fırınları boyutlarına göre 20 – 50 ton kömür alabilecek kapasitede olabilir. Yan duvarların ısıtılması ile havasız ortamda koklaşmanın gerçekleştirildiği tesiste ısıtma gazı olarak karışık gaz (kok gazı ve yüksek fırın gazı) ve kok gazı kullanılmaktadır.



Şekil 2.2. Kok bataryaları fırın üstü görünümü.

2.2.2.1. Geleneksel Dikey Kamaralı Bataryalar

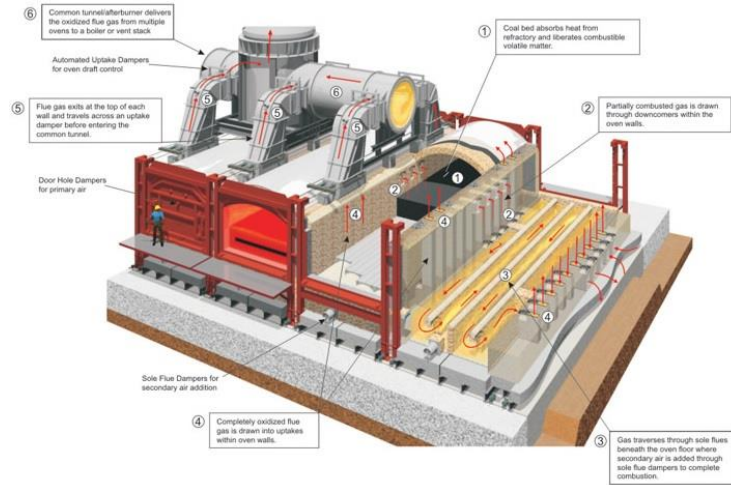
Türkiye'deki mevcut kok bataryalarının sahip olduğu ve dünyada en yaygın olarak görülen teknolojidir. En büyük dezavantajı genellikle 4 metreden daha yüksek olan duvar boyutları nedeniyle koklaşma esnasında düşük maliyetli olan yüksek uçuculu kömürlerin harmanda yüksek miktarda kullanımına olanak sağlamamasıdır.



Şekil 2.3. Geleneksel dikey kamaralı bataryalar kesiti [12].

2.2.2.2. Isı Dönüşümlü Bataryalar

Koklaşma esnasında açığa çıkan kok gazının tamamının yine kendi tesis içerisinde kullanıldığı bataryalardır. Bu sistemde atık ısıdan enerji üretimi de sağlanmaktadır. Çevre baskıları ile birlikte günümüzde tercih edilen kok bataryalarındandır. Isı dönüşümlü bataryalar enine bataryalar olduğu için kömürün yukarı yönlü genişlemesine olanak sağlar. Bu sebeple duvar basıncı yüksek olan kömürler kullanılabilir. Ayrıca kömürdeki yüksek uçucu miktarı da problem olmamaktadır. Isı dönüşümlü bataryalarda yan ürün tesisleri bulunmamaktadır. Bu tesislerin en büyük dezavantajı yerleşim olarak geniş yer kaplıyor olmalarıdır.



Şekil 2.4. Isı dönüşümlü bataryalar kesiti [13].

2.2.3. Kırma-Elleme Tesisi

Kırma-Elleme tesisi yüksek fırınlara boyut bakımından daha homojen bir metalürjik kok temini ve piyasaya sunulabilecek döküm kok, metalürjik kok, ceviz kok ve kok tozunu amacıyla kurulmuş tesislerdir. Bataryalar tesisinde koklaşması biten ve söndürme kulelerinde soğutulmuş rampalara dökülen metalürjik kok rampa tevzi arabaları ile kırma eleme tesisine gönderilir. Burada yüksek fırınların ihtiyacına göre boyut indirgemesine gidilerek yüksek fırınlara sevki sağlanır. Elek altı kalan malzeme kok tozu olarak adlandırılmakta olup sinter fabrikasına gönderilmektedir.

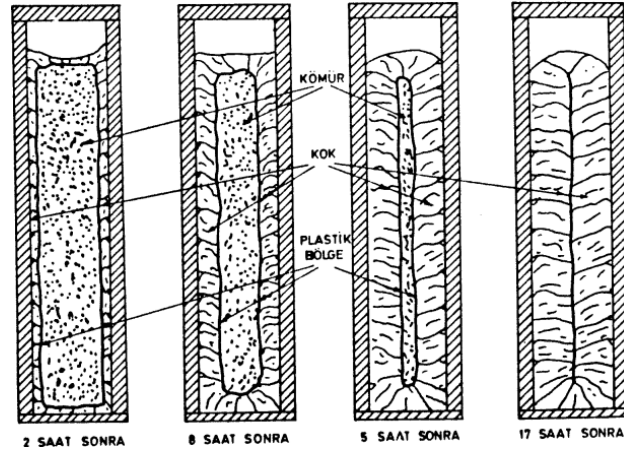
2.2.4. Yan Ürünler Tesisi

Yan ürün tesisleri koklaşma esnasında kömürden ayrılan uçucu maddelerin işlendiği tesislerdir. Koklaşma esnasında ve ham kok gazı olarak adlandırılan uçucu maddeler batarya fırın bacalarında amonyaklı su ile soğutulduktan sonra ana gaz toplama boruları ile egzoster olarak adlandırılan büyük fanlar ile emilerek dekanterler, ön soğutucular, elektro filtreler, egzosterler ve benzol kulelerinden geçer. Temizlenen gaz daha sonra diğer gaz dağıtım ünitesine gönderilerek buradan diğer kullanıcı ünitelere gönderilir. Bu proses sonucunda katran, ham benzol, amonyum sülfat, naftalin ve kok gazı gibi yan ürünler elde edilir. Kok gazı elektrik üretiminde kullanılabilirdiği gibi aynı zamanda bataryalar, yüksek fırınlar, kuvvet santrali, çelikhane, haddehaneler ve sinter gibi diğer ünitelerde doğalgaz yerine kullanılmaktadır.

2.3. KOKLAŞMA

Kömür, bileşiminde karbon, hidrojen ve oksijen gibi elementlerin değişik biçimlerde bulunabildiği fosil esaslı, organik madde içeren ve genellikle doğal ortamında sıcaklık ve basınç gibi etkiler nedeniyle değişime uğrayan önemli hammadde kaynaklarından biridir. Kömürler meydana geliş zamanları ve bileşimlerindeki karbon oranlarına göre birbirlerinden ayrılırlar. Koklaşabilir taş kömürünün havasız ortamda ısıtılması ve içerisindeki uçucu maddelerin uzaklaşması ile dayanımı ve karbon oranı yüksek katı haldeki kok, birçok endüstri kolunda olduğu gibi demir çelik sektöründe de sıvı ham demir üretimi için temel girdi olarak kullanılmaktadır [14].

Yüksek sıcaklıklarda kapalı ve havasız ortamda ısıtılan kömür molekülü parçalanmaya başlar. Bu şekilde kömür bünyesinde bulunan ve uçucu madde olarak adlandırılan hidrokarbonlar kömür bünyesinden ayrılarak geriye kalan karbon oranı yüksek, gözenekli, sert ve sünger yapıları katı maddeye kok, gerçekleştirilen bu işleme ise koklaşma denir.



Şekil 2.5. Plastik bölgenin fırın içindeki davranışı [14].

Karbonizasyon işlemi genellikle yüksek ve orta uçuculu bitümlü kömürlere uygulanmaktadır. Linyit kömürleri duvar basıncı göz ardı edilen kok tesislerinde kullanılabilirken, antrasit ve alt bitümlü kömürler koklaşma işleminde tercih edilmezler [15].

Piroliz işlemi esnasında, kömür moleküllerinin parçalanması sırayla olur. Kömür molekülleri içerisinden ayrılan ilk ürünler, ortamın sürekli sıcak olmasından kaynaklı çeşitli reaksiyonların etkisinde kalarak yan ürünleri meydana getirirler.

Kok proseslerinde koklaşma özelliğine sahip kömürün seçimi çok önemlidir. Seçilecek yanlış kömür fırın ömrüne direk olarak etki edebilmektedir. Koklaşabilen kömür olarak sınıflandırılan her kömür iyi kalitede kok vermeyebilir. Bu nedenden dolayı iki veya daha fazla koklaşabilir kömürün harmanlanarak koklaşma işlemine tabi tutulması daha uygun olacaktır.

2.4. METALURJİK KOK ÜRETİMİ

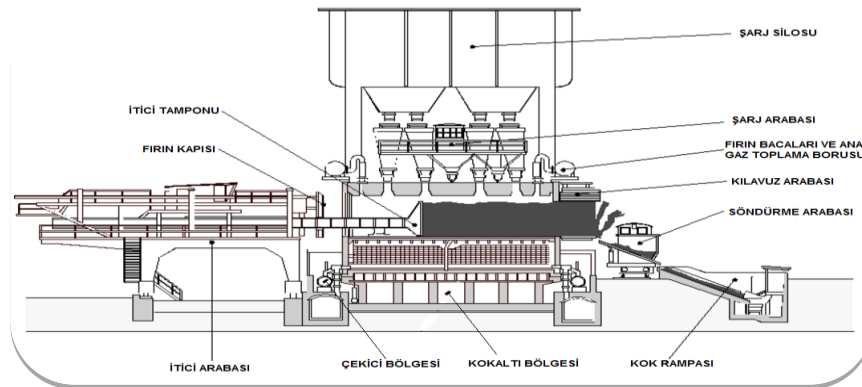
Koklaşma prosesi, havasız ortamda ve yüksek sıcaklıkta (1 200 °C) kömürün yan duvarlar vasıtasıyla ısıtılması ile kömür içerisindeki uçucu maddelerin uzaklaştırılarak karbon oranı yüksek kok elde etme işlemi kapsar. Kok kamaraları, silika tuğlalar ile yapılmış dar ve uzun fırınlardır.



Şekil 2.6. Kok bataryaları görünümü.

Fırınlara doldurulan koklaşabilir taş kömürü her iki fırın arasında bulunan yanma kamaralarında yanan gazın verdiği ısı ile koklaşır. 0-3 mm çap aralığında kırılarak harmanlanan kömür, kömür hazırlama tesislerinden batarya şarj silolarına konveyör hatlarla nakledilir. Daha sonra batarya şarj arabaları ile fırınlara şarj işlemi gerçekleştirilir.

Şarj edilen kömür bataryaların fiziki şartlarına göre 16-36 saat arasında koklaşır. Koklaşma işlemi esnasında kömür bünyesinde bulunan uçucu maddeler fırın bacalarından ana gaz toplama borularına aktarılır. Bu uçucu maddeler daha sonra arıtılma işleminin gerçekleştirilmesi için yan ürünler tesisine egzoster fanlarının emişi ile gönderilir. Koklaşması biten fırın Şekil 2.7’te gösterildiği gibi, itici arabası, kılavuz arabası ve söndürme arabası ile itme işlemi gerçekleştirilerek söndürme kulelerinde soğutulur ve kok rampasına dökülür. Daha sonra kırma-eleme tesislerinde kırma-eleme işlemlerine tabi tutulan metalürjik kokun yüksek fırınlara sevkiyatı sağlanır.



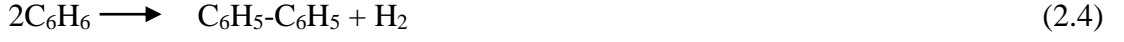
Şekil 2.7. Bataryaların şematik görünümü [16].

2.5. KOK GAZI OLUŞUMU

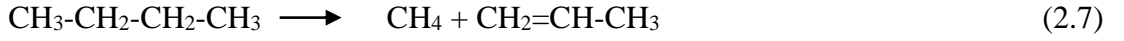
Koklaşabilir kömür harmanının, havasız ortamda yüksek sıcaklıkta ısıtılmasıyla kok ve kok gazı oluşur. Kok gazı, kömürün kok fırınlarında tepkimeye girmesi ile oluşan ilk gaz ürünlerinin tekrardan parçalanması ve yeni ürünlerin daha farklı bileşikler oluşturması ile yeniden birleşmeleri sonucu oluşan uçucu ürünlerden meydana gelir. Kok gazı şarj edilen kömür harmanına bağlı olarak değişkenlik gösterebilmektedir. Koklaşma işlemini esnasında kok gazı fırın gaz boşluğundan fırın baca ve deveboynundan geçerek ana gaz toplama borusuna gelir. Sürekli üretim yapıldığı düşünüldüğünde farklı fırınlardan çıkan gazların bileşiminin ana gaz toplama borusunda daha stabil olduğu söylenebilir. Tüm fırın bacalarının bağlı olduğu ana gaz toplama borusu sayesinde gaz yan ürünler tesisine sürekli ve aynı bileşimde gönderilmiş olur.

Koklaşma sırasında 200 °C'nin altında su buharı, karbondioksit (CO₂) ve metan (CH₄) gazları çıkar. Bunlar kömür molekülleri arasında absorbe edilmiş maddelerdir. 200-400 °C arasında ise su buharı, CO₂ ve CO çıkar. Bu sıcaklıktan itibaren kömürün yapısındaki moleküller parçalanmaya başlar. İlk kritik sıcaklık adı verilen ve uçucu madde miktarında ani artışın yaşandığı sıcaklık aralığı 350- 450 °C'dir. Kok gazının hacimce yaklaşık %55-65'ini oluşturan hidrojen (H₂), bu sıcaklıklar arasında oluşmaya başlar. 700 °C'ye kadar miktarı azalarak devam eder ve ikinci kritik sıcaklık olan bu sıcaklıktan sonra miktarı tekrardan artar. Hidrojen oluşan ilk ürünlerden biri olduğu gibi aynı zamanda koklaşma ürünlerinin parçalanması ve sentezi esnasında çıkar. Bu tepkimeler 700 °C'den sonra başladığı için açığa çıkan hidrojen miktarında ani artışlar görülür. 700 °C'nin üzerinde parafinlerin düşük karbon içeren bileşikleri, aşağıdaki tepkimelerle parçalanma eğilimindedir.

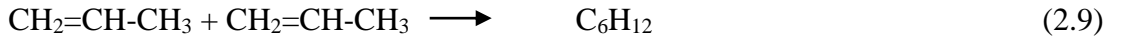




Aynı zamanda ilk ürünler parçalanmaya ve tekrardan birleşmeye başlar. Büyük moleküller parçalanırken bazı küçük moleküller daha büyük molekülleri oluşturmak için aromatik hidrokarbonlarla birleşirler. Parçalanma birleşmeden daha hızlı olduğu için sıcaklık yükseldikçe uçucu madde içindeki küçük moleküllerin oranı artar. 700 °C'den sonra olefinler de parafinlere benzer tepkimelerle bozunmaya başlar.



Naftenler gibi daha büyük moleküller olefinlerin kondenzasyonu ile aşağıdaki tepkime ile gerçekleşir.



Fırın içindeki sıcaklık yükseldikçe küçük molekülü gaz verimi artarken büyük molekülü katran verimi azalır. Amonyak (NH₃) miktarı 700 °C'ye, ham benzol ise 900 °C'ye kadar artarken sonraki sıcaklıklarda bileşenlerine ayrıldığı için azalır. 900 °C'nin üzerinde benzen halkaları birleşerek naftenleri oluşturdukları için ham benzol oluşumu azalır. Bazı aromatik bileşikler birden fazla karbon içeren yan zincirlere sahiptir. Bu sebepten dolayı daha yüksek sıcaklıklarda yan zincirlerin kopması ile birlikte benzen (C₆H₆), ksilen (C₈H₁₀) ve toluen (C₇H₈) gibi kısa zincirli aromatik bileşikler oluşur. Ayrıca hidrojen açığa çıkması ile halkalar daha da yoğunlaşır. Bu şekilde iki benzenin tepkimeye girmesi ile difenil (C₆H₅) ve hidrojen meydana gelir.

BÖLÜM 3

BATARYALARDA ENERJİ ANALİZİ

3.1. YANMA

Yanma işlemi yakıtların havadan sağlanan oksijen veya saf oksijen ile tepkimeye girmesi sonucu, ısının ve yanma ürünlerinin çıktığı kimyasal reaksiyonlardır. Yeterli oksijenin olduğu ve tam yanmanın gerçekleştiği durumlarda yakıtlar çoğunlukla CO₂ ve H₂O'ya dönüşür [17]. Bununla birlikte az miktarda kükürt, azot ve diğer elementlerin oksitleri de oluşur. Yanma, kimyasal tepkimeler gereğince gaz fazında yanıcı ve yakıcı elemanlar arasında olur. Bundan dolayı en kolay yanma gazlarda olurken en zor yanma ise katı yakıtlarda olur. Yanma, karışımın oluşma süreci, sıcaklıkla tutuşma süreci ve yanmanın tamamlanması için gerekli zaman gibi üç ana şartın sağlanması ile olur. Bu şartların sağlanması ve tam yanmanın gerçekleştirilmesi için, yakıt ve havanın optimum şartlarda karıştırılması ve uygun sıcaklık sağlanarak yanma reaksiyonlarının başlatılması gerekmektedir. Ayrıca yanma işlemi esnasında yakıtın, tutuşma sıcaklığı üzerinde olan yanma odasında kalmasının sağlanması gerekmektedir [17,18,19].

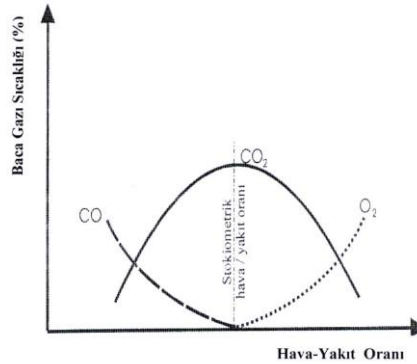
Yanma işlemi için kullanılacak gerçek hava miktarının yakıtın yanması için gerekli teorik (stokiyometrik) hava miktarına oranı hava fazlalık katsayısı olarak adlandırılır. Tam yanmanın gerçekleşmesi için yanma odasına gönderilen gerçek hava miktarının teorik hava miktarından her zaman bir miktar fazla olması gerekmektedir [17]. Yanma işleminin tam gerçekleşmesi işletmenin ekonomikliği açısından çok önemlidir. Kötü bir yanmada kayıplar artar, ısı ekonomisi düşer ve buna bağlı olarak baca gazı emisyonları artar. Yanmanın eksik veya tam olduğu baca gazı miktarlarındaki emisyon ve oksijen miktarına bakılarak anlaşılabilir.

Yanma çalışmalarında en önemli işletme parametresi hava fazlalık katsayısının doğru belirlenmesidir. Stokiyometrik hava miktarı, yakıtı yakmak için gerekli teorik miktardır. Pratikte ise tam yanmanın gerçekleşebilmesi için fazla hava verilmesi gerekmektedir [17,20,21].

$$\text{Teorik Hava Yakıt Oranı} = \frac{1 \text{ kg yakıtı yakmak için gerekli havanın kütlesi}}{1 \text{ kg yakıt}}$$

$$\text{Hava Fazlalık Katsayısı} = \frac{\text{Gerçek hava yakıt oranı}}{\text{Teorik hava yakıt oranı}}$$

Yanma işlemlerinde fazla hava kullanılmasından kaynaklı baca gazında daima oksijen bulunmaktadır. Bununla birlikte fazla hava miktarı ile doğru orantılı olarak baca gazı içindeki azot miktarı da artar. Baca gazı sıcaklığına bağlı olarak hava yakıt oranı ilişkisi Şekil 3.1’de görülmektedir. Yakıt cinsine ve hava oranına bağlı olarak baca gazı bileşimleri değişkenlik göstermektedir. Bir yanma olayındaki fazla veya eksik hava miktarları, baca gazı analizörleri ile alınacak örneklerle baca gazında bulunan O₂, CO ve CO₂ yüzdeleri ile kontrol edilebilir.



Şekil 3.1. Baca gazı sıcaklığı ve hava-yakıt oranı [22].

Bir yanma prosesinde ısı verimliliği çok önemli bir parametredir. Tesisin ekonomikliği ve baca gazı emisyonlarının en aza indirilmesi açısından ısı verimliliğinin optimum düzeyde ayarlanması gerekmektedir. Bir fırına ait ısı verimliliği hesaplanırken, sisteme giren ve sistemden çıkan enerji kalemlerinin doğru şekilde tespit edilerek hesaplanması gerekmektedir. Kok fabrikalarında bir fırın için enerji analizi teorik olarak incelendiğinde giren enerji olarak; kullanılan yakıt,

kullanılan yakıtın duyulur ısısı, kömürün duyulur ısısı ve yakıcı havanın duyulur ısısı dikkate alınır. Çıkan enerji olarak ise; kokun duyulur ısısı, ham kok gazı duyulur ısısı, baca gazı duyulur ısısı ve yüzeysel kayıplar dikkate alınır.

Yakıtın yanması ile sisteme giren enerji denklem (3.1) ile açıklanabilir:

$$Q_1 = F \times H_u \quad (3.1)$$

Burada F, koklaşma işlemi sırasında bir fırına giren toplam gaz miktarını belirtmektedir ve birimi Nm³'tür. H_u ise kullanılan gazın alt ısı değeri olup birimi kcal/Nm³'tür.

Sisteme giren yakıtın duyulur ısısı ise denklem (3.2) ile hesaplanır:

$$Q_2 = m \times C_p \times \Delta T \quad (3.2)$$

Burada m, koklaşma işlemi sırasında fırına giren toplam gaz miktarının kütle halini C_p değeri ise kullanılan yakıtın özgül ısısını belirtmektedir.

Birçok maddenin farklı sıcaklıklardaki C_p değerine bilimsel kitap, dergi ve makalelerden ulaşılabilmektedir. Karışık gazlarda ve baca gazlarında C_p değerini hesaplamak için denklem (3.3)'teki ifade kullanılır.

$$C_p = a + bT + cT^2 + dT^3 \quad (3.3)$$

Fırınlara şarj edilen kömür (Q_{3g}) ve sisteme yakıcı olarak gönderilen hava (Q_{4g}) herhangi bir ön ısıtma işleminden geçmiyor ise ortam sıcaklığıyla aynı olacağı için duyulur ısıları "0" kabul edilebilir.

Kokun duyulur ısısı (Q_{1ç}) ve üretilen kok gazının duyulur ısısı (Q_{2ç}) yukarıda bahsi geçen (3.2) denklemi ile hesaplanır. Burada kütle, özgül ısı ve sıcaklık farkı kullanılarak hesaplama gerçekleştirilir.

Baca gazlarından kaynaklı sistemden çıkan enerji $Q_{3\zeta}$, kuru baca gazı (Q_{3d}) ve baca gazı içindeki su buharı (Q_{3w}) ile taşınan enerji olarak ayrı ayrı denklem (3.4)'teki gibi değerlendirilebilir.

$$Q_{3\zeta} = Q_{3d} + Q_{3w} \quad (3.4)$$

Kuru baca gazı ile taşınan enerji Q_{3d} , yakıt (F), baca gazı hacimsel debi (G') ve baca gazı sıcaklığına bağlı özgül ısı kullanılarak (3.5) denklemi ile hesaplanabilir.

$$Q_{3d} = F \times G' \times (C_{p1} \times T_1 - C_{p0} \times T_0) \quad (3.5)$$

G' olarak ifade edilen gerçek baca gazı hacimsel debisi, hava miktarı (A_0), hava oranı (m) ve teorik kuru baca gazı hacimsel debisi (G'_0) ile (3.6) denklemde belirtildiği gibi hesaplanır.

$$G' = G'_0 + A_0 \times (m - 1) \quad (3.6)$$

Baca gazı içindeki su buharı ile taşınan enerjinin belirlenmesinde kuru baca gazı gibi su buharının enerji miktarı denklem (3.7) ile hesaplanabilir.

$$Q_{3w} = F \times (G_{wf} + G_{wa}) \times (C_{p1} \times T_1 - C_{p0} \times T_0) \quad (3.7)$$

Denklem 3.7'de belirtildiği gibi, su buharı ile taşınan enerji miktarı tüketilen yakıt, su buharı miktarı ve baca özgül ısısına bağlıdır. Su buharı miktarı hesaplanırken sadece yanma havasında bulunan su buharı miktarı (G_{wa}) değil, aynı zamanda yakıtın yanması ile birlikte oluşan su buharı miktarı da (G_{wf}) hesaba katılmalıdır. Yanma havasında bulunan su buharı miktarı denklem (3.8)'de ki bağıntı ile hesaplanabilir [23].

$$G_{wa} = 1,611 \times Z \times m \times A_0 \quad (3.8)$$

Denklemden hava oranı (m), hava miktarı (A_0) ve mutlak nem (Z) olarak ifade edilir. Mutlak nem, ortam şartlarına göre değişkenlik gösterebildiğinden basınç değerleri kullanılarak bulunabildiği gibi literatürde bulunan mutlak nem belirlemeye ilişkin diyagramlardan yararlanılarak bulunabilmektedir.

Yanma havasının duyulur ısısı herhangi bir ön ısıtmaya tabii tutulmamış ise (Q_{3g}) sıfır kabul edilebilir. Ancak ön ısıtma işlemine uğramış veya geçtiği bölgenin sıcaklığı ile ısınan havanın duyulur ısısı ($Q_{2'}$) kuru yanma havasının duyulur ısısı ($Q_{2d'}$) ve yanma havasında bulunan su buharının duyulur ısısı ($Q_{2w'}$) ile taşınan enerji olarak ayrı ayrı denklem (3.9)'daki gibi değerlendirilebilir.

$$Q_{2'} = Q_{2d'} + Q_{2w'} \quad (3.9)$$

Kuru yanma havasının duyulur ısısı ($Q_{2d'}$) yakıt (F), hava oranı (m), hava miktarı (A_0) ve sıcaklığa bağlı özgül ısı kullanılarak denklem (3.10) ile hesaplanabilir.

$$Q_{2d'} = F \times m \times A_0 \times (C_{p1} \times T_1 - C_{p0} \times T_0) \quad (3.10)$$

Yanma havasında bulunan su buharı duyulur ısısı ise ($Q_{2w'}$), yakıt (F), yanma havasında bulunan su buharı miktarı (G_{wa}) ve sıcaklığa bağlı özgül ısı kullanılarak denklem (3.11) ile hesaplanabilir.

$$Q_{2w'} = F \times G_{wa} \times (C_{p1} \times T_1 - C_{p0} \times T_0) \quad (3.11)$$

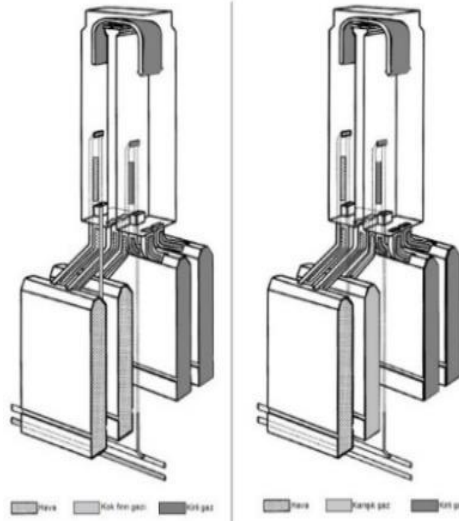
3.2. BATARYALARDA ISITMA SİSTEMİ

Kok fırınları ısıtma işlemi için kok gazı ile zenginleştirilmiş yüksek fırın gazı veya sadece kok gazı kullanabilecek şekilde tasarlanmıştır.

Zayıf gaz ile ısıtmada kok gazı ile zenginleştirilmiş yüksek fırın gazı rejeneratör bölgesinde yer alan gaz kanallarından geçerken, sadece kok gazı ile ısıtmada kok gazı beklere düşey borular içerisinde gönderilir. Ayrıca, fırın aşağıdaki özelliklere sahiptir.

1. Isıtma bekleri fırın uçlarında ikili gruplar ve ısıtma duvarlarının geri kalan kısmında dörtlü gruplar şeklinde düzenlenmiştir. Bu şekilde ısıtma sisteminde dengeli bir ısıtma duvarı yapısı ve düşük basınç farkları elde edilmiştir.
2. Rejeneratör hücreleri için tek taban kanalları bulunmaktadır.
3. İki değişik seviyeden yüksek fırın gazı ve hava çıkışı bulunmaktadır. Bununla birlikte düşey doğrultuda uygun ısıtma elde etmek için beklerde alev boyunu uzatmak hedeflenmiştir.
4. Kok gazı çıkışı yalnızca bek tabanında olması sağlanarak hidrokarbonların ısıl parçalanması nedeniyle karbon artıklarının önlenmesi hedeflenmiştir.

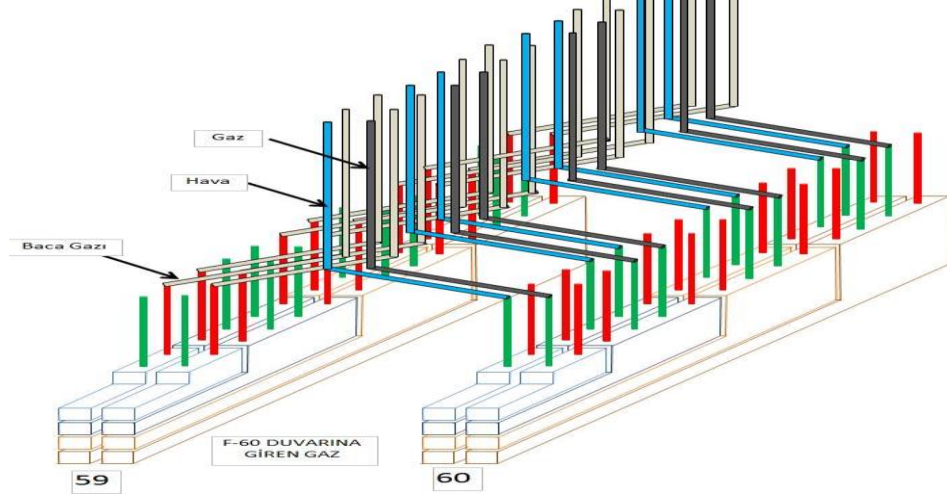
Fırınlarda kömür düşey doğrultuda homojen olarak ısıtılmalıdır. Uygun ısı dağılımı için bekte uzun alevli yanma gereklidir. Bu amaçla, yüksek fırın gazı ve hava bek içerisine iki ayrı seviyeden verilir. Kok gazı çıkışı ise yalnızca bek tabanında olup hava iki kademeli olarak yanma bölgesine girmektedir.



Şekil 3.2. Yanma kamarası gaz-hava kanalları [24].

Rejeneratör kamaraları fırının boylaması yönünde bir baştan diğerine uzanır ve dayanıklı ayırma duvarları ile bölünmüşlerdir. Bir ısıtma yarı devresi süresince, bir

rejeneratör kamarası içerisinde yüksek fırın gazı ile ısıtmada hava, yüksek fırın gazı, baca gazı, kok gazı ile ısıtmada ise yalnızca hava ya da baca gazı geçer.



Şekil 3.3. Rejeneratör bölgesi gaz-hava hücre ve kanalları.

Her bir hücrede dört bek (yanma noktası) bulunmaktadır. Bunlardan 2'si gaza çalışırken 2'si yanmış gazın genel bacaya tahliyesini gerçekleştirir. Her yarım saatte bir gaz değiştirme silindirleri PLC üzerinden otomatik çalışarak kok gazı ve yüksek fırın gazı otomatik ventillerinin pozisyonlarını değiştirir ve gaza çalışan bekler bacaya, bacaya çalışan bekler gaza çalışmaya başlar. Bu sayede yanma kamarasında bulunan 28 bekte dengeli bir ısıtma sağlanmış olur. Her bir beke gönderilecek gaz ve hava miktarı borular üzerinde bulunan orifisler, gaz kutuları ve rejeneratör hücreleri önündeki ayar plakaları ile ayarlanabilmektedir. Yine PLC sistemi üzerinden kontrol edilebilen regülatörler vasıtasıyla kok gazı ve yüksek fırın gazı basınçları ve baca emişi ayarlanarak fırınlara girecek olan gaz ve havanın basıncı kontrol edilebilmekte ve miktarları ölçülebilmektedir.

3.3. BATARYALARDA ENERJİ ANALİZİ

Bu çalışmada bir demir çelik fabrikasında yer alan kok bataryalarına ait 1 fırın için enerji denkleği kurulmuş ve bir koklaşma periyodun da giren ve çıkan enerjiler hesaplanarak enerji verimliliği hesaplanmıştır. Çalışmanın yapıldığı kok fabrikası 3 ayrı bataryadan oluşmaktadır. 1968 yılı yapımı 1/2 Batarya 44 fırın, 1986 yılı yapımı 3/4 Batarya 56 fırın ve 5/6 Batarya 70 fırından oluşmaktadır. Uzunluğu 13 590 mm,

yüksekliği 4 500 mm ve genişliği ortalama 450 mm olan fırınların ortalama şarj miktarı 20 ton civarındadır. Koklaşma süresi 18 saat olup batarya ortalama sıcaklığı 1 300 °C'dir. Bataryalarda yakıt olarak kok gazı ya da karışık gaz (kok gazı ile zenginleştirilmiş yüksek fırın gazı) kullanılmaktadır. Hesaplama yapılan bataryada 35 200 Nm³/h yüksek fırın gazı içine 2 820 Nm³/h kok gazı karıştırılarak ısıtma işlemi gerçekleştirilmektedir. Hesaplamalarda kullanılan karışık gaza ait bilgiler Çizelge 3.1.'de paylaşılmıştır.

Çizelge 3.1. Karışık gaz bileşenleri.

Bileşenler	KG	YFG	Karışık Gaz
H ₂	%60,19	%1,82	%6,16
O ₂	%0,08	-	%0,01
N ₂	%6,64	%54,38	%50,86
CH ₄	%21,75	-	%1,6
CO	%6,48	%21,09	%20,01
CO ₂	%0,93	%22,71	%21,11
C ₂ H ₄	%0,42	-	%0,03
C ₂ H ₆	%1,74	-	%0,13
Karışık gaz alt ısı değeri			930,9 kcal/Nm ³
Yoğunluk			1,232 kg/m ³

Teorik hava hesabı Çizelge 3.1.'de paylaşılan gaz bileşiminin tam bir yanma için gerekli hava miktarı, baca gazı hacmi, baca gazındaki su miktarı, teorik ve gerçek kuru baca gazı hacmi ve hava oranı hesaplanarak Çizelge 3.2.'de paylaşılmıştır.

Çizelge 3.2. Teorik baca gazı ve hava oranı.

A ₀	Teorik hava miktarı (Nm ³ hava/Nm ³ yakıt)	0,802
G ₀	Teorik ıslak baca gazı hacmi (Nm ³ /Nm ³)	0,95158
G _{wf}	Yakıtın yanmasından kaynaklanan su miktarı (Nm ³ /Nm ³)	0,09830
G' ₀	Teorik kuru baca gazı hacmi (Nm ³ /Nm ³)	0,85328
<i>m</i>	Hava oranı	1,35957
G' (kuru)	Gerçek kuru baca gazı hacmi (Nm ³ /Nm ³)	1,14179

Baca gazı analizörleri ile alınan gerçek baca gazı bileşimi Çizelge 3.3.'te paylaşılmıştır.

Çizelge 3.3. Baca gazı bileşimi.

O ₂	CO ₂	CO	N ₂
%	%	%	%
5,70	12,98	0,2831	81,037

Çizelge 3.4.'te 293 K sıcaklıkta havanın özgül ısı hesabı yapılmıştır.

Çizelge 3.4. Havanın özgül ısı hesabı.

C _{Phava} =	a + bT + cT ² + dT ³	
a	28,11	C _p (293K) (kcal/Nm ³)
b	0,001967	0,29344
c	0,000004802	
d	-1,966E-09	

Çizelge 3.5.'te bileşenleri bilinen baca gazının farklı sıcaklıklardaki özgül ısınma ısıları hesaplanmıştır.

Çizelge 3.5. Kuru baca gazı bileşenlerine dayanarak özgül ısısı.

Baca gazı bileşenleri		Sıcaklık		
		20 °C	200 °C	900 °C
O ₂	%5,7	0,0154	0,0148	0,0119
CO	%0,2831	0,0008	0,0008	0,0009
CO ₂	%12,98	0,0513	0,0644	0,0781
N ₂	%81,037	0,2510	0,2601	0,2897
Kuru baca gazı ort. özgül ısıları (kcal/Nm ³)		0,3185	0,3401	0,3806

Çizelge 3.6.'de su termal parametreleri verilmiştir.

Çizelge 3.6. Sıcaklıklara bağlı su buharı özgül ısısı.

Su Buharı Özgül Isısı				
Sıcaklık (°C)	20 °C	200 °C	300 °C	900 °C
C _p (kcal/Nm ³)	0,3415	0,3471	0,3519	0,3870

Farklı sıcaklıklarda havanın özgül ısısı hesaplanarak Çizelge 3.7.'te paylaşılmıştır.

Çizelge 3.7. Sıcaklıklara bağlı havanın özgül ısısı.

Hava Özgül Isısı			
Sıcaklık (°C)	20 °C	300 °C	900 °C
C _p (kcal/Nm ³)	0,2934	0,3075	0,3420

3.3.1. Giren Enerjiler

Karışık gazın yanması sonucu açığa çıkan ısı miktarı değeri (Q_{1g}) şeklinde ifade edilir ve denklem (3.1) ile hesap edilebilir.

$$\begin{aligned}Q_{1g} &= F \times H_u \\F &= 9\,500 \text{ Nm}^3 \\H_u &= 930,9 \text{ kcal/Nm}^3 \\Q_{1g} &= 8\,843\,550,0 \text{ kcal}\end{aligned}$$

Karışık gazın duyulur ısı değeri (Q_{2g}) şeklinde ifade edilir ve denklem (3.2) ile hesap edilebilir.

$$\begin{aligned}Q_{2g} &= m \times C_p \times \Delta T \\m &= 11\,704 \text{ kg} \\C_p &= 0,4378 \text{ kcal/kg}^\circ\text{C} \\\Delta T = 60^\circ\text{C} - 20^\circ\text{C} &= 40^\circ\text{C} \\Q_{2g} &= 204\,954,6 \text{ kcal}\end{aligned}$$

Yanma havasının sıcaklığı ile ortam sıcaklığı aynı olduğu için yanma havasının duyulur ısısı $Q_{3g}=0$ olarak kabul edilir.

Kömürün sıcaklığı ile ortam sıcaklığı aynı olduğu için kömürün duyulur ısısı $Q_{4g}=0$ olarak kabul edilir.

Toplam giren enerji (Q_{TG}) şeklinde ifade edilebilir.

$$\begin{aligned}Q_{TG} &= Q_{1g} + Q_{2g} + Q_{3g} + Q_{4g} \\Q_{TG} &= 8\,843\,550 + 204\,954,6 + 0 + 0 \\Q_{TG} &= 9\,048\,504,6 \text{ kcal}\end{aligned}$$

3.3.2. Çıkan Enerjiler

Kokun duyulur ısısı ($Q_{1ç}$) şeklinde ifade edilir ve denklem (3.2) ile hesap edilebilir.

$$\begin{aligned}Q_{1ç} &= m \times C_p \times \Delta T \\C_{p\text{kok}} &= 0,359 \text{ kcal/kg}^\circ\text{C} \\ \text{Kok sıcaklığı} &= 1\ 100\ ^\circ\text{C} \\ \text{Kok miktarı} &= 14\ 900 \text{ kg} \\ Q_{1ç} &= 5\ 777\ 028,0 \text{ kcal}\end{aligned}$$

Üretilen kok gazının duyulur ısısı ($Q_{2ç}$) şeklinde ifade edilir ve denklem (3.2) ile hesap edilebilir.

$$\begin{aligned}Q_{2ç} &= m \times C_p \times \Delta T \\C_{p\text{KG}} &= 0,965 \text{ kcal/kg}^\circ\text{C} \\ \text{KG sıcaklığı} &= 850\ ^\circ\text{C} \\ \text{KG miktarı} &= 2\ 720 \text{ kg} \\ Q_{2ç} &= 2\ 178\ 584,0 \text{ kcal}\end{aligned}$$

Baca gazı duyulur ısısı ($Q_{3ç}$) şeklinde ifade edilebilir. Baca gazı duyulur ısısı, kuru baca gazlarının duyulur ısısı (Q_{3d}) ve baca gazlarında bulunan su buharının duyulur ısısı (Q_{3w}) denklem (3.5) ve (3.7) kullanılarak hesap edilir.

$$\begin{aligned}Q_{3d} &= F \times G' \times (C_{p1} \times T_1 - C_{p0} \times T_0) \\ T_0 &= 20\ ^\circ\text{C} \\ T_1 &= 200\ ^\circ\text{C} \\ C_{p0} &= 0,3185 \text{ kcal / Nm}^3\text{K} \\ C_{p1} &= 0,3401 \text{ kcal / Nm}^3\text{K} \\ Q_{3d} &= 732\ 681,3 \text{ kcal}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}Q_{3w} &= F \times (G_{wf} + G_{wa}) \times (C_{p1} \times T_1 - C_{p0} \times T_0) \\ T_0 &= 20\ ^\circ\text{C}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
T_1 &= 200 \text{ }^\circ\text{C} \\
C_{P0} &= 0,3415 \text{ kcal / Nm}^3\text{K} \\
C_{P1} &= 0,3471 \text{ kcal / Nm}^3\text{K} \\
Q_{3w} &= 60\,532,2 \text{ kcal} \\
Q_{3\zeta} = Q_{3d} + Q_{3w} &= 793\,213,5 \text{ kcal}
\end{aligned}$$

Yüzeyden olan ısı kayıpları ($Q_{4\zeta}$) şeklinde ifade edilebilir. Yüzeyden olan ısı kayıpları termal kamera ile alınmış ortalama sıcaklık (Çizelge 3.8) ve denklem (3.12), (3.13) ve (3.14) kullanılarak hesaplanmıştır. Ayrıca termal kamera görüntüleri Şekil 3.4.'te paylaşılmıştır.

$$Q_{4\zeta} = (Q_r + Q_c) \times A \quad (3.12)$$

$$Q_r = \varepsilon \times \sigma \times [(273 + T_y)^4 - (273 + T_0)^4] \quad (3.13)$$

$$Q_c = B \times (T_y - T_0)^{1,25} \quad (3.14)$$

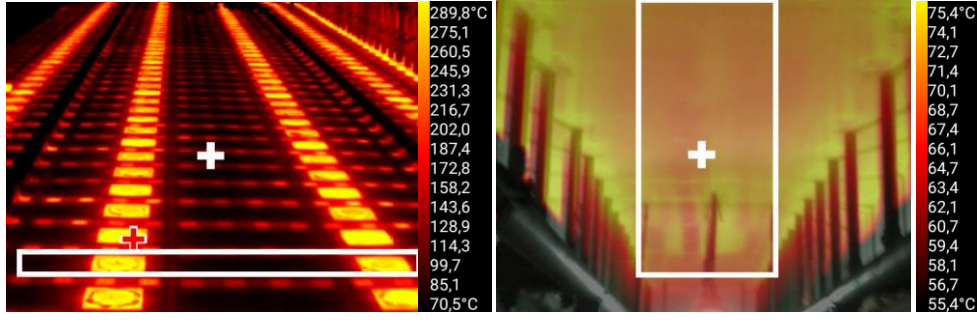
Bu ifadede ε yüzey yayılım katsayısı ve σ Stefan-Boltzman sabitidir. B değeri 5,22 seçilmiştir [23].

Çizelge 3.8. Yüzeysel ısı kayıpları.

Yüzey	Emissitive(ε)	Alan (m^2)	Ortalama Yüzey Sıcaklığı	Ortam Sıcaklığı
Fırın üstü	0,94	14,12	142,88 $^\circ\text{C}$	20 $^\circ\text{C}$
Kokaltı	0,92	14,12	70,03 $^\circ\text{C}$	20 $^\circ\text{C}$
Kok taraf	0,77	4,95	151,02 $^\circ\text{C}$	20 $^\circ\text{C}$
İtici taraf	0,77	4,95	156,26 $^\circ\text{C}$	20 $^\circ\text{C}$

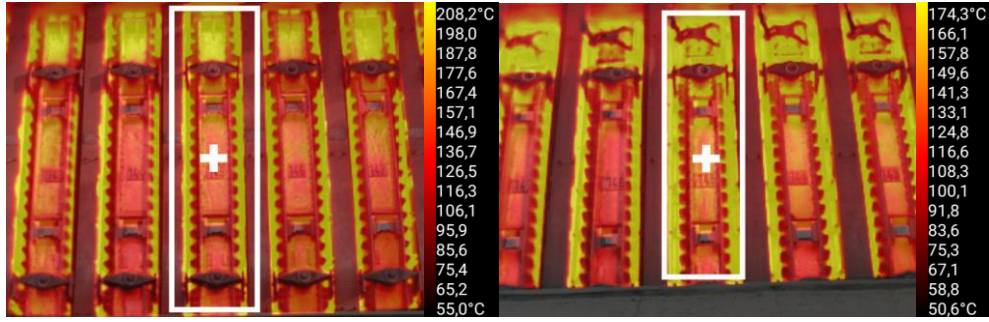
Yüzey	Alan (m^2)	Q_r (kcal/ m^2)	Q_c (kcal/ m^2)	$(Q_r + Q_c) \times A$
Fırın üstü	14,12	1 033,32	2 135,61	44 758,02
Kokaltı	14,12	290,52	694,56	13 913,3
Kok taraf	4,95	937,00	2 313,89	16 091,88
İtici taraf	4,95	998,11	2 430,14	16 969,85

$$Q_{4\zeta} = 91\,733,04 \text{ kcal}$$



(a)

(b)



(c)

(d)

Şekil 3.4. a) Fırın üstü, b) kokaltı, c) kok taraf ve d) itici taraf termal görüntüleri

Toplam çıkan enerji ($Q_{TÇ}$) şeklinde ifade edilebilir.

$$Q_{TÇ} = Q_{1g} + Q_{2g} + Q_{3g} + Q_{4g}$$

$$Q_{TÇ} = 5\,777\,028 + 2\,178\,584 + 793\,213,5 + 91\,733$$

$$Q_{TÇ} = 8\,840\,558,6 \text{ kcal}$$

$$\text{Diğer Kayıplar } Q_{TG} - Q_{TÇ} = 207\,946,1 \text{ kcal}$$

3.3.3. Isıl Verim Hesaplanması

$$\text{Isıl verim} = \frac{\text{Kok duyulur ısısı} + \text{üretilen kok gazı duyulur ısısı}}{\text{Yakıt yolu ile giren ısı}}$$

$$\text{Isıl verim} = \%87,92$$

3.3.4. Atık Isı Geri Kazanımı

$$\text{Atık ısı geri kazanım oranı} = \frac{\text{Yanma havası duyulur ısısı}}{\text{Baca gazlarının duyulur ısısı (rejeneratör girişi)}}$$

Rejeneratör girişi baca gazlarının duyulur ısısı ($Q_{1'}$) şeklinde ifade edilebilir. Baca gazı duyulur ısısı, kuru baca gazlarının duyulur ısısı ($Q_{1d'}$) denklem (3.5) kullanılarak ve baca gazlarında bulunan su buharının duyulur ısısı ($Q_{1w'}$) denklem (3.7) kullanılarak hesap edilir.

$$\begin{aligned} Q_{1d'} &= F \times G' \times (C_{P1} \times T_1 - C_{P0} \times T_0) \\ T_0 &= 200 \text{ }^\circ\text{C} \\ T_1 &= 900 \text{ }^\circ\text{C} \\ C_{P0} &= 0,3401 \text{ kcal/Nm}^3\text{K} \\ C_{P1} &= 0,3806 \text{ kcal/Nm}^3\text{K} \\ Q_{1d'} &= 3\,097\,864,8 \text{ kcal} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_{1w'} &= F \times (G_{wf} + G_{wa}) \times (C_{P1} \times T_1 - C_{P0} \times T_0) \\ T_0 &= 200 \text{ }^\circ\text{C} \\ T_1 &= 900 \text{ }^\circ\text{C} \\ C_{P0} &= 0,3471 \text{ kcal/Nm}^3\text{K} \\ C_{P1} &= 0,3870 \text{ kcal/Nm}^3\text{K} \\ Q_{1w'} &= 273\,573,8 \text{ kcal} \\ Q_{1'} = Q_{1d'} + Q_{1w'} &= 3\,371\,438,6 \text{ kcal} \end{aligned}$$

Yanma havasının duyulur ısısı ($Q_{2'}$) şeklinde ifade edilebilir. Yanma havasının duyulur ısısı, kuru yanma havasının duyulur ısısı ($Q_{2d'}$) denklem (3.10) kullanılarak ve yanma havasında bulunan su buharının duyulur ısısı ($Q_{2w'}$) denklem (3.11) kullanılarak hesap edilir.

$$\begin{aligned} Q_{2d'} &= F \times m \times A_0 \times (C_{P1} \times T_1 - C_{P0} \times T_0) \\ T_0 &= 20 \text{ }^\circ\text{C} \\ T_1 &= 300 \text{ }^\circ\text{C} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
C_{P0} &= 0,2934 \text{ kcal/Nm}^3\text{K} \\
C_{P1} &= 0,3075 \text{ kcal/Nm}^3\text{K} \\
Q_{2d'} &= 935\,165,8 \text{ kcal} \\
\\
Q_{2w'} &= F \times G_{wa} \times (C_{P1} \times T_1 - C_{P0} \times T_0) \\
T_0 &= 20 \text{ }^\circ\text{C} \\
T_1 &= 300 \text{ }^\circ\text{C} \\
C_{P0} &= 0,3415 \text{ kcal/Nm}^3\text{K} \\
C_{P1} &= 0,3519 \text{ kcal/Nm}^3\text{K} \\
Q_{2w'} &= 1\,039,2 \text{ kcal} \\
Q_{2'} = Q_{2d'} + Q_{2w'} &= 936\,205,0 \text{ kcal}
\end{aligned}$$

Atık ısı geri kazanım oranı = %27,77

BÖLÜM 4

SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada bir fırın için kütle ve enerji denkliği kurularak gerekli analiz ve hesaplamalar yapılmış ve mevcut sonuçlar paylaşılmıştır. Sisteme giren yakıt olarak karışık gaz (yüksek fırın gazı + kok gazı) kullanılmıştır.

Mevcut çalışma şartlarında 18 saatlik bir tam yüklü koklaşma sürecinde enerji girdisi yükü 9 048 504,6 kcal olarak belirlenmiştir. Girdi enerjinin %63,85'lik bölümü fırından deşarj edilen koklaşmış kömürün ve %24,08'lik bölümü ise koklaşma ürünü olan kok gazının süreç sonunda soğutulması esnasında kayba uğramaktadır. Bunun dışında koklaşma sürecinde enerji girdisinin %8,77'lik kısma tekabül eden 793 213,52 kcal'lik ısı yükü bacadan atılırken fırın yüzey ve sızıntı kayıp kaçakları ise girdi ısı yükünün %3,31'lik kısmı olan 299 679,12 kcal olarak belirlenmiştir.

Burada dikkat edilmesi gereken diğer bir hususta yapılan hesaplamalar sonucunda baca gazlarının rejeneratör bölgesinden geçişi esnasında bünyesinde ki 4 164 652,1 kcal'lik ısı enerjisinin %80,95'ine tekabül eden 3 371 438,6 kcal'lik kısmını bölgedeki rejeneratör tuğlalarına aktarmasıdır. Bu bilgiler ışığında, yarım saatlik ısıtma periyotlarında, baca gazları ile ısınan rejeneratör bölgesinin yanma havasına aktardığı ısı enerjisi 936 205 kcal olarak hesaplanarak atık ısı geri kazanım oranı %27,77 bulunmuştur.

Koklaşmış kömürün su ile soğutulması süreci yerine kuru soğutma teknoloji yatırımı ile %63,85'lik 5 777 028 kcal'lik ısı yükünün %80 verime sahip bir kuru söndürme ünitesi (CDQ) [25] ile 4 620 622,4 kcal'lik kazanım mümkün olması öngörülmektedir. Muhtemel kazanım ile 88,6 kg CO₂/GJ emisyon [26] değerliği baz alınarak bir tam şarj koklaşma döngüsü için 1 713,52 kg CO₂ emisyonuna eşdeğer enerji kazanımı belirlenmiştir.

CDQ sisteminde kızgın kok azot gazı ile soğutulduğu için sulu soğutma sürecinde kullanılan sudan da tasarruf sağlanabilecektir. Bu sistemde azota aktarılan ısı enerjisi ile türbin jeneratör sistemi kullanılarak elektrik üretimi yapılmaktadır. Sistemdeki potansiyel elektrik üretimi yaklaşık 120 kWh/ton kok'tur. Elektrik üretiminin yanı sıra kok kalite değerlerinden M40 %3-8, CSR'da %1,5-2 artış, nemsiz kok üretiminden kaynaklanan Yüksek Fırımların veriminde %2-3 artış sağlanabilir [27].

Ayrıca kok fırın kapıları için şamot tuğlaları yerine, yalıtkan özelliği yüksek ve blok halinde (minimum derz arası kullanarak) montajı yapılabilen kapı tuğlaları tercih edilerek yüzeysel kayıplar minimize edilebilir.

KAYNAKLAR

- 1- İnternet: International Energy Agency, “Key World Energy Statics 2014” <http://www.iea.org> (2014).
- 2- Core Writing Team, Pachauri, R. K., and Meyer, L. A., “Climate Change 2014”, *IPCC Synthesis Report, Geneva*, 1-5 (2014).
- 3- Muntean, M., Guizzardi, D., Schaaf, E., Crippa, M., Solazzo, E., Olivier, J. G. J., and Vignati, E., “Fossil CO₂ Emissions of All World Countries” *European Commission*, (2018).
- 4- İnternet: Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, “Sektörlere Göre Enerji Tüketimi”, <https://cevreselgostergeler.csb.gov.tr/sektorlere-gore-toplam-enerji-tuketimi-i-85800> (2017).
- 5- Koç, E. ve Şenel, M. C., “Dünyada ve Türkiye’de Enerji Durumu Genel Değerlendirme,” *Mühendis ve Makine*, 54 (639): 40-41, (2013).
- 6- Terzi, U.K. and Baykal, R., “Efficient and Effective Use of Energy: A Case of Study of TOFAS”, *Environmental Research, Engineering and Management*, 1 (55): 29-33 (2011).
- 7- Xu, C. And Cang, D., “A Brief Overview of Low CO₂ Emission Technologies For Iron and Steel Making”, *Journal of Iron and Steel Research, International*, 17 (3): 1-7 (2010).
- 8- Tütünoğlu, Y., Güven, A. ve Öztürk, İ. T., “Cam Temperleme Fırınında Enerji Analizi”, *Mühendis ve Makine*, 53 (629): 55-62, (2012).
- 9- İnternet: T.C Doğu Akdeniz Kalkınma Ajansı, “Demir Çelik Sektör Raporu”, https://www.dogaka.gov.tr/assets/upload/dosyalar/wwwdogakagovtr_523_tn1d55sp_demir-celik-sektor-raporu-2014.pdf (2014)
- 10- İnternet: T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, “Entegre Demir Çelik Üretimi”, https://webdosya.csb.gov.tr/db/sanayihavarehberi/icerikler//13_entegre-dem-r-cel-k-uret-m--20200103075114.pdf (2020).
- 11- Odabaş, M., Çay, Y. ve Kılınç, E., “Yüksek Fırınlarda Enerji Verimliliği Analizi: Kardemir A.Ş. Örneği”, *Akademik Platform*, 1807-1809 (2014)
- 12- Nomura, S., “Use of Waste Plastics in Coke Ovens: A Review”, *Journal of Sustainable Metallurgy*, 1 (1): 85-93, (2015).

- 13- İnternet: Sun Coke Company, <http://www.suncoke.com/English/our-business/coke-business/advanced-cokemaking-technology/default.aspx>, (2020)
- 14- Bulut, B., “Yüksek Fırınlarda Verim Artırmak Amacıyla Koklaşabilir Yerli ve İthal Kömürlerin Optimum Harmanlama Özelliklerinin Belirlenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Adana, 28-31, (2010).
- 15- Çakır, A., M., “Kok Fırın Gazı Prosesleri ve Ek Tesisleri”, Yüksek Lisans Tezi, *Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Erzurum, 2-10, (2006).
- 16- İnternet: Health and Safety Executive, “Control of Exposure to Fume at Coke Ovens”, https://www.hse.gov.uk/foi/internalops/ocs/400-499/433_4.htm, (2020).
- 17- Yılmaz, İ., “Sıvı Yakıtlı Yakma Sistemlerinde Yanma ve Emisyon Davranışının Deneysel Olarak İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kayseri, (2001).
- 18- Griffiths, J.F.,and Barnard, J.A.,“Flame and Combustion, Third Edition”, *CRC Press*, UK, (1998).
- 19- Jones, J.C., Combustion Science: Principles and Practice, *Millennium Books*, Australia, (1993).
- 20- İlbaş, M., Syred, N., Bowen, P. and Doherty, T.O., “A Study to Characterise an Industrial Oil Burner-Furnace”, *The twenty-sixty International Syposium on Combustion*, Italy, (1996).
- 21- İlbaş, M., Doherty, T.O., Bowen, P. and Syred, N., “Prediction of NOX and Combustion Performance of Cooled Cyclone Combustors”, *3rd European Conference on Industrial Furnaces and Boilers*, Portugal, (1995).
- 22- İlbaş, M. ve Yılmaz, I., “Farklı Isıl Güçlerdeki Kazanlarda Yanma ve Emisyon Davranışının Araştırılması”, *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 18 (1-2): 18-27, (2002).
- 23- Ertem, G., Çelik, B. ve Yeşilyurt, S., “Endüstriyel Tav Fırınlarda Isı Denkliği Hesaplamaları ve Enerji Verimliliğinin Belirlenmesi”, *Sabancı Üniversitesi*, (2008).
- 24- Sundholm, J.L., Valia, H.S., Kiessling, F.J., Richardson, J., Buss, W.E., Worberg, R., Schwarz, U., Baer, H., Calderon, A. and DiNitto, R.G., “Manufacture of Metallurgical Coke and Recovery of Coal Chemicals”, *The AISE Steel Foundation*, Pittsburgh, 468-469, (1999)

- 25- Guo, Z.C. and Fu, Z.X. “Current Situation of Energy Consumption and Measures Taken For Energy Saving in the Iron and Steel Industry in China”, *Energy* 35 (11): 4356–4360, (2010).
- 26- Barcelo, L., Kline, J., Walenta, G. and Gartner, E. “Cement and Carbon Emmisions”, *Materials and Structures*, 47:1055–1065, (2013).
- 27- Uslu, C., “Demir-Çelik Sektöründe Kok Kuru Söndürme Sistemlerinin Tekno-Ekonomik ve Çevresel Analizi”, Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük, (2014).

ÖZGEÇMİŞ

Murat ERGÜL 1988 yılında Karabük'te doğdu. İlk ve orta öğrenimini aynı şehirde tamamladıktan sonra 2008 yılında Selçuk Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü'nü kazandı. Öğrencilik döneminde Ege Linyitleri İşletmesi-Soma, Türkiye Taş Kömürleri-Kozlu ve Kardemir A.Ş.'de staj yaptı. 2014 yılında Çema Mühendislik-Ankara ve Asmer Mermer-Burdur firmalarında çalıştı. 2015 yılında askerlik görevini tamamladı ve Kardemir A.Ş. Kok Fabrikaları Müdürlüğü'nde Bataryalar İşletme Mühendisi olarak göreve başladı ve halen aynı yerde çalışmaya devam etmektedir.

ADRES BİLGİLERİ

Adres : Yenişehir Mah. Göktürkler Cad. 21/4 Merkez / KARABÜK

Tel : 0 551 236 17 33

E-posta : muratergul88@gmail.com