

**ENDÜSTRİYEL TAV FIRINLARINDA GAZ
ANALİZÖRÜ KULLANIMININ ENERJİ
VERİMLİLİĞİNE ETKİSİ**

**2014
YÜKSEK LİSANS TEZİ
ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ**

Ahmet GÜNEY

**ENDÜSTRİYEL TAV FIRINLARINDA GAZ ANALİZÖRÜ KULLANIMININ
ENERJİ VERİMLİLİĞİNE ETKİSİ**

Ahmet GÜNEY

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

**KARABÜK
Ocak 2014**

Ahmet GÜNEY tarafından hazırlanan “ENDÜTRİYEL TAV FIRINLARINDA GAZ ANALİZÖR KULLANIMININ ENERJİ VERİMLİLİĞİNE ETKİSİ” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Doç. Dr. Mehmet ÖZKAYMAK

Tez Danışmanı, Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı



Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 14/ 01/ 2014

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

Başkan : Doç. Dr. İlhan CEYLAN (KBÜ)

Üye : Doç. Dr. Mehmet ÖZKAYMAK (KBÜ)

Üye : Doç. Dr. Emrah DENİZ (KBÜ)

İmzası



14/01/2014

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

Prof. Dr. Mustafa BOZ

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.”

Ahmet GÜNEY

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

ENDÜSTRİYEL TAV FIRINLARINDA GAZ ANALİZÖRÜ KULLANIMININ ENERJİ VERİMLİLİĞİNE ETKİSİ

Ahmet GÜNEY

Karabük Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı:

Doç. Dr. Mehmet ÖZKAYMAK

Ocak 2014, 43 Sayfa

Enerji kaynaklarının azalması, enerji ihtiyacının ve enerji maliyetlerinin artması, sanayideki rekabetçi koşullar ve çevresel duyarlılık enerji kaynaklarını verimli kullanmayı gerektirmektedir. Bu çalışmada sanayide enerjinin verimli kullanılması kapsamında bir sanayi kuruluşunun haddehane tav fırınında gaz analizör kullanımına bağlı olarak enerji verimliliği çalışması yapılmıştır. Yapılan çalışmada tav fırınında ölçümler yapılmış, yapılan ölçüm sonuçları değerlendirilmiş, ölçüm sonuçları ve kuruluş verileri ile birlikte kütle ve enerji dengesine yönelik hesaplamalar kullanılarak gaz analizör kullanımının enerji tasarruf imkanları, boyutları ve geri ödeme süreleri ile birlikte belirlenmiştir. Bu tasarruf imkanlarının hangi sistem ve/veya işletme tedbiriyle sağlanabileceği konusunda önerilerde bulunulmuştur. Tav fırınının verim artışı düşük maliyetli gaz analizörü kullanımı ile gerçekleştirilmiştir. Haddehane tav fırınında fırına gelen yanma gazını MRU marka swg 200 model gaz analizör cihazıyla analiz edilerek en uygun ideal hava oranı otomatik olarak tespit

edilip fırında en verimli yanma sağlanmıştır. Mevcut durumda, haddehane tav fırınının verimi % 61.83 olarak hesaplanmıştır. Yapılabilecek enerji tasarrufu ile haddehane tav fırınının veriminin % 69,35 çıktığı belirlenmiştir.

Anahtar Sözcükler : Endüstriyel fırınlar, enerji verimliliği, gaz analizör, enerji tasarrufu.

Bilim Kodu : 914.1.233

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

ENERGY PRODUCTIVITY EFFECT OF GAZ ANALYZSIS SYSTEM IN REHEATING FURNACES

Ahmet GÜNEY

Karabük University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Energy Systems Engineering

Thesis Advisor:

Assoc. Prof. Dr. Mehmet ÖZKAYMAK

January 2014, 43 Pages

Decrease in energy resources, increase in energy requirement and energy costs, competitive conditions in industry and environmental sensitivity have required energy resources to be used efficiently. In this study, within the scope of efficient use of energy in industry, a study on energy efficiency has been done gas analysis system in reheating furnace of rolling mill in an integrated industrial company. Within the study; measurements have been done in reheating furnace, the measurements have been evaluated for reheating furnace, calculations oriented to energy balance have been done by using measurement results and company data and energy saving opportunities have been specified with its amounts and payback periods. Suggestions on how these opportunities will be applied have been made. As a result of the study, operation of the furnaces with assembled gas analysis system has been stated as the energy saving opportunity with small investment. It is aimed that to analysis the combustion gas of reheating furnace with MRU swg 200 gas analysis apparatus, to

determine the most appropriate air-gas ratio and Automatically to realize the most productive combustion in the furnace. Efficiency of reheating furnace of rolling mill has been calculated as % 61.83 for the current situation. It is determined that efficiency of reheating furnace of rolling mill will be % 69,35 with the energy saving applications.

Keywords : Reheating furnaces, energy efficiency, gaz analysis, energy saving.

Science Code : 914.1.233

TEŐEKKÖR

Tez çalışmama verdikleri desteklerden dolayı danışmanım Doç. Dr. Mehmet ÖZKAYMAK'a, tezime verdikleri her tŸrlŸ maddi ve manevi destekten dolayı başta Arř. Gör. Enes KILINÇ olmak Ÿzere KarabŸk Ÿniversitesi Enerji Sistemleri MŸhendislięi BŸlŸmŸ'ndeki ve Kardemir Ray ve Profil Haddehanesindeki arkadaşlarıma, ayrıca her zaman manevi desteklerini hissettiğim sevgili Eřim'e teőekkŸr 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	7
LİTERATÜR ÇALIŞMASI.....	7
BÖLÜM 3	10
ENDÜSTRİYEL TAV FIRINLARINDA GAZ ANALİZÖR KULLANIMININ ENERJİ VERİMLİLİĞİNE ETKİSİ.....	10
3.1 EKSİK YANMA	11
3.2 HAVA YAKIT ORANI	11
3.3. BACA GAZI SICAKLIĞI	12
3.4. TUFAL KAYIPLARI	13
3.5 GAZ ANALİZÖR KULLANMANIN AMACI.....	15
3.5.1. Gaz Analizör Cihazının Genel Özellikleri.....	17
3.5.2. Gaz Analizör Cihazının Çalışma Prensibi.....	18
3.5.3. Gaz Analizör Cihazına Ait Önemli Ekipmanlar.....	19
3.5.3.1. High Dust Probe (Hd)	19
3.5.3.2. Ndir (Multi-Gas İnfrared Bench) Sensörü.....	21

	<u>Sayfa</u>
3.5.3.3. Termal İletkenlik Sensörü.....	22
3.5.3.4. Paramanyetik Hücre.....	23
3.5.3.5 Cooler.....	25
BÖLÜM 4	26
YÖNTEM, ÖLÇÜM VE HESAPLAMALAR	26
4.1. TEORİK TEMEL VE HESAPLAMA YÖNTEMİ.....	26
4.1.1. Yanma.....	26
4.1.2. Enerji Denkliği.....	28
4.1.3. Fırın Verimi	30
4.2. ÖLÇÜM YÖNTEMİ VE ÖLÇÜM CİHAZLARI.....	31
4.2.1. Haddehane Tav Fırını Ölçüm Sonuçları.....	34
4.2.2. Haddehane Tav Fırını Enerji Denkliği	35
4.2.3. Haddehane Tav Fırını Verimi.....	36
4.2.4. Gaz Analizör ile Yapılacak Tasarruf Miktarı	37
4.2.5. Tufal Kaybının Azaltılması ile Yapılacak Tasarruf Miktarı.....	37
4.2.6. Potansiyel Tav Fırını Verimi	38
4.2.7. Geri Ödeme Süresi.....	39
BÖLÜM 5	40
SONUÇ VE ÖNERİLER	40
KAYNAKLAR	41
ÖZGEÇMİŞ	43

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 1.1.	Dünyada enerji üretimi.....	1
Şekil 1.2.	2025 dünya enerji tüketimi.....	2
Şekil 1.3.	Dünyada enerji üretim ve tüketim değerleri.....	3
Şekil 1.4.	İnsan kaynaklı global sera gazı emisyonları	4
Şekil 1.5.	Küresel enerji tüketimi ve sektörlere göre dağılımı.	4
Şekil 1.6.	Endüstriyel bir tav fırını	6
Şekil 3.1.	Tufal oluşumuna hava yakıt oranının etkisi.	13
Şekil 3.2.	Tufal oluşumuna sıcaklığın etkisi	14
Şekil 3.3.	Tufal oluşumuna gaz hızının etkisi	14
Şekil 3.4.	Tufal oluşumuna tavlama zamanının etkisi.....	15
Şekil 3.5.	Gaz analizör cihazı	16
Şekil 3.6.	Gaz analizör cihazının genel yerleşim şekli.....	16
Şekil 3.7.	Gaz analizör cihazının montaj şekli	17
Şekil 3.8.	Hd probe montaj resmi	20
Şekil 3.9.	Hd probe montaj yapılmış hali.....	20
Şekil 3.10.	Ndır sensörü.	21
Şekil 3.11.	Termal iletkenlik (ftc110 – oem) sensörü	22
Şekil 3.12.	Paramanyetik hücrenin çalışma prensibi.....	23
Şekil 3.13.	Paramanyetik oksijen sensörü... ..	24
Şekil 3.14.	Soğutma ünitesi çalışma prensibi	25
Şekil 3.15.	Ecp 1000 soğutucu ünite.	25
Şekil 4.1.	Enerji kütle denkliği.	28
Şekil 4.2.	Tav fırını çalışma ve ölçüm sistemi şematik gösterimi.....	32
Şekil 4.3.	Fırın scada örneği 1.	33
Şekil 4.4.	Fırın scada örneği 2.	33

ÇİZELGELER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 4.1. Haddehane tav fırınında kullanılan karışık yakıtın debisi.....	34
Çizelge 4.2. Karışık yanma gazı analiz yüzdeleri.....	34
Çizelge 4.3. Haddehane tav fırını karışık yanma gazı bileşimi.	34
Çizelge 4.4. Haddehane tav fırını fazla miktarı, toplam hava miktarı ve hava yakıt oranı	35
Çizelge 4.5. Gaz analizör olmadan önceki haddehane tav fırını egzoz gazı debisi, yakma havası debisi, fazla hava debisi ve hava fazlalık katsayısı	35
Çizelge 4.6. Haddehane tav fırını toplam enerji denkliği.....	36
Çizelge 4.7. Haddehane tav fırını gaz analizörsüz verimi	36
Çizelge 4.8. Gaz analizör ile yapılacak tasarruf miktarı.....	37
Çizelge 4.9. Haddehane tav fırınında tufal kaybının azaltılması ile yapılacak tasarruf miktarı..	38
Çizelge 4.10. Haddehane tav fırını toplam tasarruf miktarı.....	38
Çizelge 4.11. Potansiyel tav fırını verimi.....	39
Çizelge 4.12. Haddehane tav fırınında yapılacak tasarruflar için yatırım miktarları ve geri ödeme süreleri.....	39

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

C	: karbon
CH ₄	: metan
CO	: karbon monoksit
CO ₂	: karbondioksit
c _p	: sabit basınçta özgül ısı (kcal/Nm ³ K)
E	: enerji
EJ	: exajoule (10 ¹⁸ joule)
GJ	: giga joule
Gt	: giga ton
h	: saat
H	: alt ısı değer
HY	: hava-yakıt oranı
H ₂	: hidrojen
H ₂ O	: su buharı
kcal	: kilo kalori
kg	: kilogram
m	: kütle
ṁ	: debi
MTEP	: milyon ton eşdeğer petrol
m ²	: metrekare
Nm ³	: normal metre küp
N ₂	: azot
O ₂	: oksijen
Q̇	: ısı miktarı
SO ₂	: kükürt dioksit
t	: ton

T : sıcaklık
TEP : ton eşdeğer petrol
 ϕ : eşdeğerlik oranı
 η : verim
 $^{\circ}\text{C}$: derece santigrat
%FH : fazla hava yüzdesi
 ΔE : enerji değişimi
 μm : mikron
Hz : hertz
V : volt
kmol : kilo Mol
bg : baca gazı
 \dot{c} : çıkan
d : diğer
g : giren
h : hava
k : kütük
KH : kontrol hacmi
s : stokiyometrik
ss : soğutma suyu
y : yakıt
yh : yakma havası

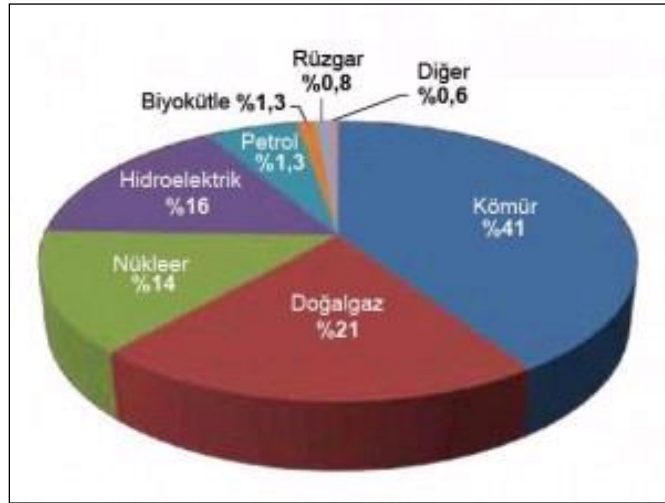
KISALTMALAR

AID	: alt ısıı değer
DRI	: direct reduced iron
et al	: et alii (latince)
ID	: induced draft
IEA	: International energy agency
IISI	: International iron and steel institute
IPCC	: Intergovernmental panel on climate change
ob	: orijinal baz
PHAST	: process heating assessment and survey tool
TL	: Türk lirası
USD	: Amerikan doları
ID	: Üst ısıı değer
vd	: ve dięerleri
YFG	: yüksek fırın gazı
DCS	: distributed control system
HMI	: human machine interface
PLC	: programmable logic controller
HD	: high dust
LCD	: liquid crystal display
ADC	: analog digital converter

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Enerji, insanoğlunun temel ihtiyaçlarının karşılanması ve hayat standartlarının yükseltilmesinde birincil derecede bir gereksinim olarak kabul edilmektedir. Halihazırda dünya enerji ihtiyacının önemli bir bölümünü karşılamakta olan fosil yakıtların rezervleri hızla tükenmektedir. Bu yüzyılın ikinci yarısında petrol ve doğalgaz gibi bazı fosil yakıtların rezervlerinin sonuna gelineceği tahmin edildiğinden, bütün enerji kaynaklarının verimli bir şekilde kullanılması büyük önem taşımaktadır. Şekil 1.1'de de görüldüğü gibi dünya enerji üretiminin önemli bir kısmı fosil kökenli yakıtlardan karşılanmaktadır.



Şekil 1.1. Dünyada enerji üretimi.

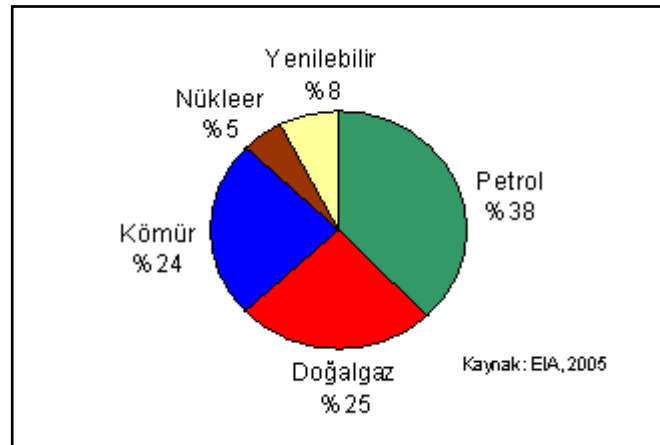
Dünyanın enerji tüketimi son yirmi yıl içerisinde beklenenden daha fazla artmıştır. Şekil 1.2'de dünyada hızla büyüyen küresel enerji ihtiyacına ilişkin 2025 yılına ait öngörülen bilgiler verilmiştir. Dünya enerji ihtiyacının sürekli artması (ABD'nin EIA kuruluşunun en son öngörülerine göre dünya enerji tüketimi 2002-2025 süresinde yılda ortalama %2 büyümeyle %57 oranında artacak), petrol ve doğalgaz rezervlerinin sınırlı olması, ve son yıllarda gittikçe dikkat toplayan çevresel sorunlar,

dünya enerji ihtiyacının karşılanmasında Yenilenebilir Enerji 'ye doğal olarak önem kazandırdı.

Günümüzde hidrolik enerji her ne kadar fosil enerji ile maliyet açısından rekabet edebiliyorsa da, diğer (biyokütle, jeotermal, güneş, rüzgâr, dalga/gelgit) Yenilenebilir Enerji türlerinin genel olarak yüksek maliyette olması, birçoğundan aralıklı sağlanan enerjinin depolanmasındaki güçlük, ve Yenilenebilir Enerji altyapısının sınırlı olması, YE'nin dünyada daha yaygın kullanılmasına engel olmuştur.

2002 yılında Yenilenebilir Enerji dünya toplam enerji tüketiminin %8'ini oluşturdu. EIA'ya göre 2002-2025 döneminde dünya Yenilenebilir Enerji tüketimi yılda ortalama %1.9 artış gösterecek. Bu artışa karşın Yenilenebilir Enerji'nin payı 2025'de yaklaşık %8 düzeyinde olacak. Yıllık büyümeye karşın pay oranının aynı kalması, doğalgaz ve kömür tüketimlerinin daha hızlı artacağı.

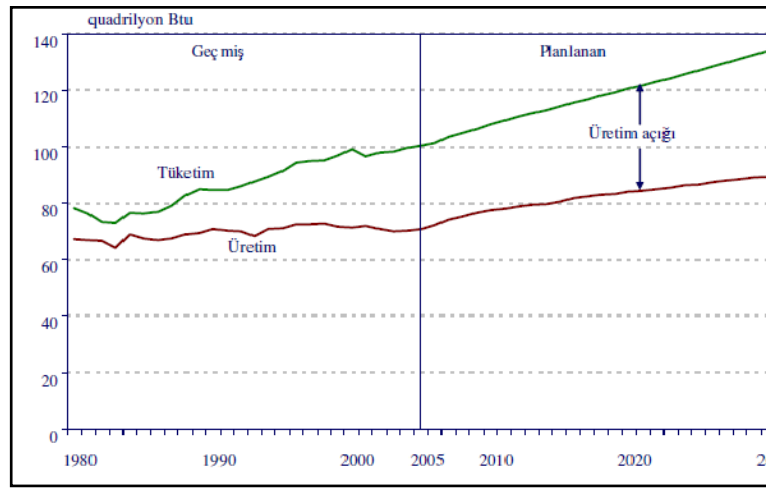
Yüzde 8 oranı düşükse de göz ardı edilemeyecek bir oran. Daha ileriki yıllarda Yenilenebilir Enerji enerji payının daha da yüksek olacağı büyük olasılık. Dünya petrol ve doğalgaz fiyatlarının sürekli artışı, Yenilenebilir Enerji maliyetinin düşürülmesine yönelik teknolojik çalışmalar, ve hükümetlerin Yenilenebilir Enerji'ye olan desteği, bu enerjinin üretim ve tüketimine ivme kazandıracak.



Şekil 1.2. 2025 Dünya enerji tüketimi.

Gelecekte ülkelerin ve küresel ekonomilerin hızla büyüebilmesi için ülkelerin enerji ihtiyaçlarının ve tüketimlerinin de aynı hızda büyümesi gerektiği bilinen bir

gerçektir. Fosil yakıtlar dünyanın her bölgesinde bulunmamakla birlikte yakıtların çıkarıldıkları bölgelerdeki siyasi ve ekonomik sıkıntılar bütün dünyayı etkilemektedir. Ayrıca geleneksel enerji kaynaklarından günümüz teknolojileri ile elektrik üretimi sırasında ciddi çevre kirliliği sorunları meydana gelmektedir. Bu sebeple bütün dünyada yeni ve temiz enerji türlerine olan ilgi ve araştırmalar hızla artmaktadır. EIA (Energy Information and Administration) kurumu tarafından oluşturulan istatistiksel bilgiler doğrultusunda Dünyanın toplam enerji üretim ve tüketimine dair veriler Şekil 1.3'e verilmiştir.

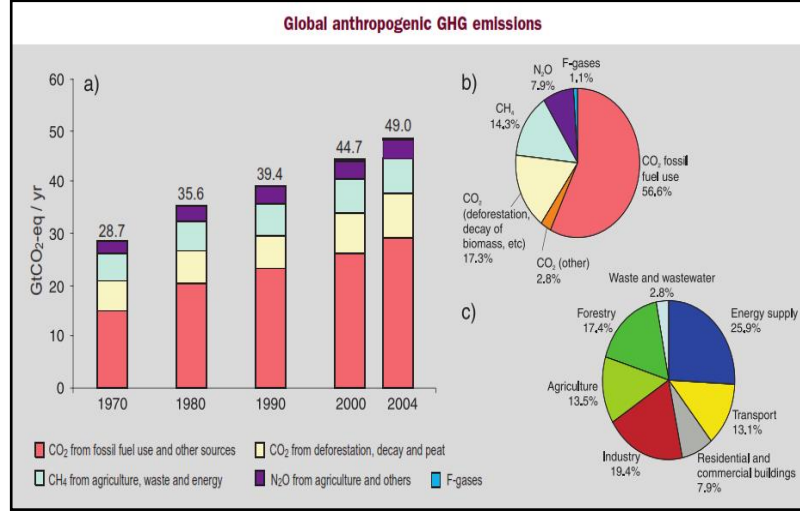


Şekil 1.3. Dünya enerji üretim ve tüketim değerleri.

Eğriden de görüldüğü gibi gelecek 20-30 yıl süresinde dünyanın ürettiği enerji talep edilen ve tüketilen enerji miktarını karşılamayacaktır. Ortaya çıkan enerji açığını azaltmak için ya enerji kullanımında kısıtlamalara gidilmeli veya alternatif enerji kaynakları üzerindeki çalımsalar daha da artırılarak ilerletilmelidir. Günümüzde fosil kökenli enerji kaynakları hazır olarak tüketilmekte ve enerji kullanımında önemli bir artış görülmektedir. Enerjinin kullanımı ile enerji kaynakları arasındaki ilişki, enerji maliyetlerinde dramatik bir artışa neden olmasına rağmen kaynakların uygun miktarda kullanımını gerektirmektedir [1].

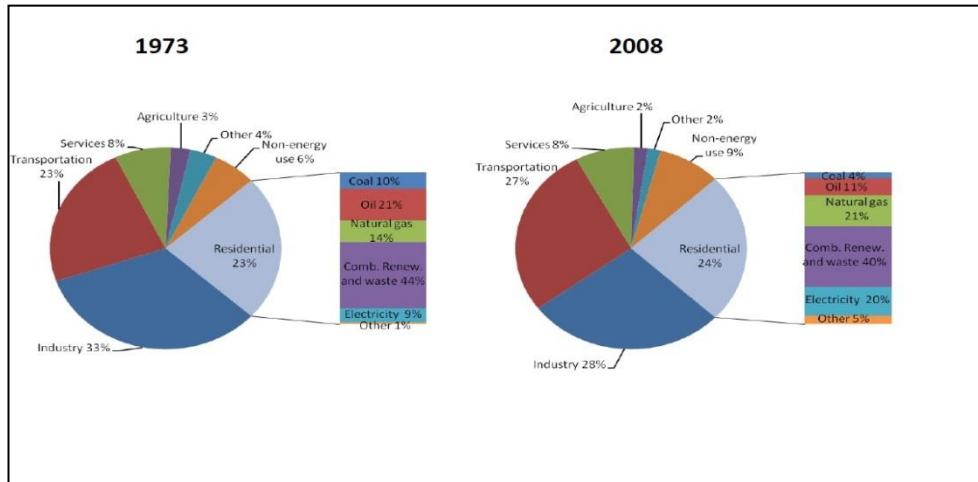
Enerji tüketiminin hızla artması, fosil kökenli yakıtların daha çok kullanılmasına ve atmosfere salınan karbondioksit (CO₂) miktarının artmasına neden olmakta; bunun sonucu oluşan sera etkisi ile iklim değişiklikleri kaçınılmaz hale gelmektedir [2]. CO₂ en önemli insan kökenli sera gazıdır. Şekil 1.4'de görüldüğü gibi CO₂, 2004

yıldaki toplam insan kaynaklı sera gazı salınımlarının %77'sini oluşturmuş ve 1970 ile 2004 yılları arasında yıllık CO₂ salınımı %80 oranında 21 Gt'dan 38 Gt'a yükselmiştir. 1970 ile 2004 yılları arasında sera gazı salınımlarında en büyük artış enerji tedariki, taşımacılık ve sanayi sektörlerinden kaynaklanmıştır [3].



Şekil 1.4. İnsan kaynaklı global sera gazı emisyonları.

Elektrik ve doğal gaz sarfiyatı 1973 'de % 23 iken 2008 yıllarında % 41'e kadar artmıştır.. Şekil 1.5'te küresel enerji tüketiminin sektörlere göre dağılımı gösterilmiştir. 2008 yılında sanayi ve ulaşım enerjiyi küresel olarak en çok tüketen sektör olmuştur [4].



Şekil 1.5. Küresel enerji tüketimi ve sektörlere göre dağılımı.

Tüm dünyada küresel ısınmadan kaynaklanan iklim değişikliği, enerji ve çevre güvenliği, bunun yanında enerjinin verimli ve yararlı kullanımını başlıkları önemli rol oynamaktadır. Yaşam kalitesinden ve üretimden ödün verilmeden enerji verimliliği ile enerji tasarrufu yapılabilmektedir. Jollands ve arkadaşları (2009), tasarruf edilen enerjiyi dönüştürülebilen, ucuz, yerli ve temiz bir enerji kaynağı olarak tanımlamışlardır .

Ülkemizde, sanayide %15, yerleşim yerlerinde %35 ve taşımacılık maliyetlerinde %15 enerji tasarruf potansiyeli mevcuttur. Bu potansiyeller; yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edebilecek enerjiden daha yüksektir. Eğer enerji verimliliğine doğru kararlı ve başarılı adımlar atılabilirse ülkemizdeki enerji talebi 2020 yılında %20 oranında azalacaktır [1].

Demir-çelik sektörü yıllık yaklaşık 24 EJ ($\times 10^{18}$) enerji tüketimi ile en çok enerji tüketen sektörlerden birisidir ve dünyanın toplam enerji tüketiminin %5'ine karşılık gelmektedir [5].

Demir-çelik sektörü kömürü birincil indirgeyici madde olarak kullanmaktadır. Kömürün en büyük bileşeni olan karbon (C), süreç sonucunda çevreye CO₂ olarak bırakılır. Bu yüzden bu sektördeki enerji tüketimi CO₂ salınımına eşittir ve enerji verimliliğini artırmak için çeşitli çalışmalar yapılmaktadır [6].

Demir-çelik sektöründe enerji verimliliğinin artırılması sera gazı salınımlarının azaltılmasında etkili ve kısa vadeli bir yaklaşımdır. Brüksel'de bulunan International Iron and Steel Institute (IISI) Kyoto süreci sonrasında iklim değişikliğine yeni ve küresel bir yaklaşım geliştirmek için devletleri demir-çelik sektörü ile çalışmaya davet etmiştir [5].

Endüstriyel işletmeler açısından bakıldığında, verimliliği artırıcı 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 [2].

İçerisine yerleştirilen ya da sürekli olarak şarj edilen malzemeleri ekonomik bir şekilde ısıtmak suretiyle işlem sıcaklığına yükselten ve gerektiğinde bu sıcaklıkta gerekli süre kadar tutan teknik ünitelere ocak ya da fırın adı verilmektedir. Tav fırınları; çeliklerin haddelenmesinde, hadde bandı üzerine yerleştirilen ve çeliklerin 1050-1300°C sıcaklık aralığında ısıtılmasında kullanılan ve sürekli çalışan fırınlardır [7]. Sanayide kullanılan endüstriyel bir tav fırını Şekil 1.6’te gösterilmiştir.



Şekil 1.6. Endüstriyel bir tav fırını.

Endüstriyel tesislerde enerjiyi en yoğun kullanan ünitelerin başında fırınlar gelmektedir. Endüstriyel fırınlar ergitme, ısıl işlem, pişirme, kurutma, temperleme, vb. süreçleri gerçekleştirmektedir. Fırınlara, tasarlandıkları süreçlerin gerçekleştirilebilmesi için gerekli hammadde ve enerjinin beslenmesi gerekir [2].

Fırınlara, özellikle yüksek sıcaklıklarda çalışan tavlama fırınları, endüstriyel işletmelerde gerek yakıt tüketimi açısından gerekse çevreye verdiği atık gazların oluşturduğu kirlilik açısından mümkün olduğunca verimli çalıştırılması gereken sistemlerdir [8].

BÖLÜM 2

LİTERATÜR ÇALIŞMASI

Siitonen vd. yaptıkları çalışmada bir haddehanenin enerji verilerini analiz ederek çelik üretiminde enerji verimliliğinin geliştirilmesi ve CO₂ emisyonunun azaltılması üzerine çalışmışlardır. Öncelikle özgül enerji tüketimleri hesaplanmış, daha sonra haddehanedeki enerji verimliliğinin değerlendirilmesi için bir enerji verimliliği indeksi geliştirilmiştir. Çalışmada ham çelik üretim miktarının ve geri dönüştürülmüş çeliğin değerlendirilmesinin enerji verimliliği üzerine etkileri gösterilmiştir [9].

Ertem vd. yaptıkları çalışmada endüstriyel tav fırınlarında enerji kaybının görüldüğü başlıca kısımları incelemiş, enerji verimlilik analizi yapmış, ısı verimi bulmuş ve kayıpları tespit etmişlerdir. Tavlanan malzemeye aktarılan enerji bulunmuş, birim zamanda tüketilen yakıt ve tavlanan ürün miktarı belirlenerek buradan toplam yakıt tüketimi giren enerji olarak elde edilmiştir. Giren enerji ile ürüne aktarılan enerji arasındaki farkın hangi tür kayıplar olduğu ve miktarları belirlenmiştir. Çalışma sonucunda ısı verim %38,3 olarak bulunmuştur. Kayıplar ise %31,6 ile baca gazı kayıpları, %10,4 ile yüzey kayıpları, %13 ile açıklık kayıpları ve %6,7 ile diğer kayıplar olarak belirlenmiştir [8].

Peter Mullinger vd. yaptıkları çalışmada iyi bir fırın kontrolü ve proses kontrol (PLC veya DCS) sistemi ile fırının verimli ve sağlıklı çalışacağını, bunun için çok iyi ve hassas enstrüman kullanılması gerektiğini göstermişlerdir [10].

İmproving Process Heating System Performance yaptıkları çalışmada fırın içindeki basıncın pozitif değerde tutulduğunda, bunun enerji tasarrufu sağlayacağını ve kaliteli ürün üretimine katkıda bulunacağını göstermişlerdir [11].

Robert Jorgensen yaptıkları çalışmada fırın içindeki sızıntıları, ısı kaybını azaltarak ve fırın basıncını kontrol ederek, soğuk havanın fırın içine girmesinin engellenerek fırında enerji tüketiminin azalacağını göstermiştir [12].

Fırınlarda yanma sistemi, yanma problemlerine neden olmayacak minimum hava-yakıt oranı ayarlanarak en uygun hale getirilmelidir. Fazla hava miktarı, gerektiğinden fazla olursa baca gazı miktarı artar. Artış miktarı kadar hava, baca gazı sıcaklığına kadar ısınır enerji alacağından bu enerjinin bacadan atılmasına neden olur. Ayrıca baca gazı miktarının artması gaz debisinin, dolayısıyla hızının artmasına ve ısı transfer oranının düşmesine neden olmaktadır. Fazla hava (dolayısıyla O₂) aynı zamanda fırında tufal kaybı artışına da neden olmaktadır. Bundan dolayı fazla hava miktarı mümkün olan en düşük seviyede tutulmalıdır. Bunun sağlanması için baca gazındaki O₂ seviyesi kontrol edilmeli, hava ayarı yapılarak oksijen miktarı mümkün olan en düşük seviyeye getirilmelidir [13].

Si vd. yaptıkları çalışmada Kanada, Manitoba'da bulunan bir çelik fabrikasının enerji verimliliğini değerlendirmiş ve atık ısı geri kazanımının olabilirliğini analiz etmişlerdir. Proses ısıtma değerlendirmesi ve gözden geçirme aracı (PHAST) ile yapılan çalışmada tav fırını verimi %60 olarak hesaplanmıştır. Çalışmada baca gazı kayıpları toplam enerji kayıplarının %29,5'i ile tav fırınındaki en büyük enerji kaybını oluşturmuştur. Çalışma sonucunda enerji verimliliğinin artırılması için kütüklerin 315°C'ye ön ısıtılması gerektiği belirtilmiştir [14].

Chen vd. yaptıkları çalışmada bir sıcak haddehanenin tav fırınlarının performansını ve enerji tüketimini hem sayısal tahminler hem de pratik ölçümler ile analiz etmişlerdir. Sayısal tahminlerde fırınların artan üretim hızının yakıtı daha verimli olarak kullandığını göstermiştir. Pratik çalışma ise fırın içerisindeki ısının %80'inin yakıtın yanması, %15,7'sinin ise sıcak baca gazı ile sağlandığını göstermiştir. Ayrıca pratik ölçümler ısı geri kazanımı bölgesindeki ısı değişimi ve ısı geri kazanımı verimlerinin sırasıyla %86,66 ve %47,76 olduğunu göstermiştir [15].

Karimi and Saidi yaptıkları çalışmada yakma havasının oksijen ile zenginleştirildiği itmeli tip sürekli bir tav fırınında sıcaklık dağılımını ve kütüklere olan ısı transferini

belirlemek için sayısal bir metot sunmuşlardır. Yapılan çalışmada ton çelik başına enerji tüketimi, üretim hızı, fırının ısı verimi ve NO_x salımı oksijen zenginleştirme yapılmayan fırınlarla karşılaştırılmıştır. Sonuçlar en iyi oksijen ile zenginleştirme aralığının hacimce %21 ile %45 arasında olduğunu göstermiştir. Hacimce %60'lık bir oksijen zenginleştirme ile ton çelik başına enerji tüketiminde %18'e kadar bir azalma sağlanabileceğini belirtmişlerdir [16].

Bu çalışmada ise bir sanayi kuruluşunun haddehane tav fırınında gaz analizör kullanarak enerji tasarrufuna yönelik çalışmalar yapılmış, çalışma sonuçları ve kuruluş verileri kullanılarak enerji dengesine yönelik hesaplamalarla birlikte, enerji tasarruf imkanları ve boyutları geri ödeme süreleriyle birlikte belirlenmiştir.

BÖLÜM 3

ENDÜSTRİYEL TAV FIRINLARINDA GAZ ANALİZÖRÜ KULLANIMININ ENERJİ VERİMLİLİĞİNE ETKİSİ

Endüstriyel fırınlar, ısının fırına farklı işlemlere tabi tutulmak üzere şarj edilen yüklere aktarıldığı izole edilmiş kapalı alanlardır. İçerisindeki sıcaklığın 650°C'nin altında olan fırınlara *ocak* adı verilmekte olup ancak fırın ile ocak arasında kesin bir çizgi yoktur. Örneğin kok fırınlarındaki sıcaklık 1478°C'nin üzerindedir.

Birçok endüstriyel ısıtma işlemlerinde yakıt, üretim maliyetinin büyük bir kısmını kapsar. Yakıt ve elektrik enerjisi maliyetleri sürekli artmaktadır, bu yüzden ısı tasarrufu bir zorunluluk haline gelmiştir. Yakıt tasarrufu aynı zamanda daha iyi ürün kalitesi, artırılmış güvenlik, yüksek verimlilik, düşük kirlenme, daha iyi personel ve halkla ilişkiler ve yakıt tedarikinin uzaması manalarına gelmektedir [17].

Haddehane tav fırınında fırına gelen karışık yanma gazını MRU marka SWG 200 model gaz analizör cihazımızla analiz ederek en uygun ideal gaz hava oranını otomatik olarak ayarlayarak fırında en verimli şekilde yanma gerçekleştirilmiştir.

Ayrıca ideal karışık YF , kok gazı ve hava karışımı sonucunda daha verimli yanmanın kazanımları söz konusudur. Bununla birlikte fırın atmosferinin korozif olmayan yanma şartlarına sahip olması fırın refrakter ömrünü arttıracaktır.

Homojen ve daha verimli bir yanma ile birlikte, kalite ve maliyetteki iyileşmeler sonucu ekonomik kazanımlar mümkün olacaktır. Bunlardan tufal kaybının azalması sonucu elde edilecek direkt kazanımlar ile daha iyi tavlamanın sonucu olarak elde edilecek kalite kazanımları ve merdane ömründeki artışlar ekonomik kazanımlar olarak zikredilebilir. Ayrıca daha iyi ve verimli yanmanın sonucunda elde edilecek yakıt tasarrufu ve emisyonadaki azalma sonucu ciddi kazanımlar sağlanacaktır.

Sürekli fırınlar, yığın fırınlarına göre yakıt açısından daha verimlidirler. Çünkü her yükleme yapıldığında soğuyup tekrar ısıtılmazlar [17]. Endüstriyel tav fırınlarında gaz analizörü kullanımının enerji verimliliğini etkileyen başlıca faktörler şunlardır:

- Eksik yanma
- Hava yakıt oranı
- Baca gazı sıcaklığı
- Tufal kayıpları

3.1. EKSİK YANMA

Eksik yanma, gaz yakıt içerisinde bulunan yanabilir maddelerin yanmayarak baca gazında yanmamış hidrokarbon ve karbon monoksit (CO) olarak atılması durumunda meydana gelmektedir. Eksik yanma yakıt kaybına neden olduğu için, tam yanmayı sağlamak amacıyla hava-yakıt oranının tam yanmayı sağlayacak şekilde ayarlanması gerekmektedir. Bu nedenle baca gazındaki oksijen (O_2) miktarı uygun seviyede tutulmalıdır.

3.2. HAVA-YAKIT ORANI

Fırınlarda yanma sistemi, yanma problemlerine neden olmayacak minimum hava-yakıt oranı ayarlanarak en uygun hale getirilmelidir. Fazla hava miktarı, gerektiğinden fazla olursa baca gazı miktarı artar. Artış miktarı kadar hava, baca gazı sıcaklığına kadar ısınıp enerji alacağından bu enerjinin bacadan atılmasına neden olur. Ayrıca baca gazı miktarının artması gaz debisinin, dolayısıyla hızının artmasına ve ısı transfer oranının düşmesine neden olmaktadır. Fazla hava (dolayısıyla O_2) aynı zamanda fırında tufal kaybı artışına da neden olmaktadır. Bundan dolayı fazla hava miktarı mümkün olan en düşük seviyede tutulmalıdır. Bunun sağlanması için baca gazındaki O_2 seviyesi kontrol edilmeli, hava ayarı yapılarak oksijen miktarı mümkün olan en düşük seviyeye getirilmelidir [13].

İyi hava-yakıt oranı kontrolünün faydaları şunlardır [17].

- Alev ve patlamalara karşı güvenlik sağlar.
- Yakıt tüketimini azaltır.
- Ürün kalitesini artırır. Çünkü hava-yakıt oranı düşük olduğunda malzemenin yüzeyi oksitlenir, yüksek olduğunda ise karbürize olur veya hidrojen emilimi yapar.
- Tufal oluşumunu azaltır.
- Hurda kayıplarını azaltır.

3.3. BACA GAZI SICAKLIĞI

Fırın verimini etkileyen önemli faktörlerden birisi de baca gazı sıcaklığıdır. Baca gazı sıcaklığının kabul edilen değerlerin üzerinde olması halinde bacadan atmosfere fazla enerji atılmış olacaktır. Bu da fırın veriminin düşmesine neden olmaktadır.

Baca gazı sıcaklığına etki eden faktörler şunlardır [17].

- Reküperatördeki ısı transfer oranının yetersiz olması baca gazı sıcaklığını artırır.
- Yakma havasının istenen değerden çok olması baca gazı debisini artırır ve fazla hava ile birlikte ısının atılmasına yol açar.
- Fırın içerisinde alev boyunun çok yüksek olması baca gazı sıcaklığını artırır.

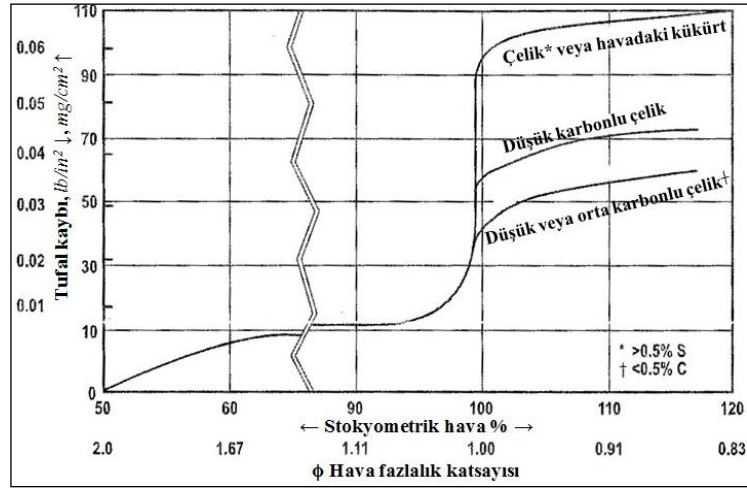
Bu tür olumsuzlukların önlenmesi için yeterli hava ile tam yanma gerçekleştirilmeli ve gaz geçiş yolları ile reküperatörler belirli dönemlerde temizlenmelidir.

Baca gazı sıcaklığının “asit yoğuşma sıcaklığı” olarak belirlenen sınırın altına düşmesi durumunda ise bacada korozyon sorunları ile karşılaşmaktadır. Ayrıca, baca gazı sıcaklığının aşırı azaltılması sonucu baca çekişinde de önemli düşüşler meydana gelebilir. Baca gazı sıcaklığı düşürülürken bu durumların göz önünde bulundurulması gerekmektedir.

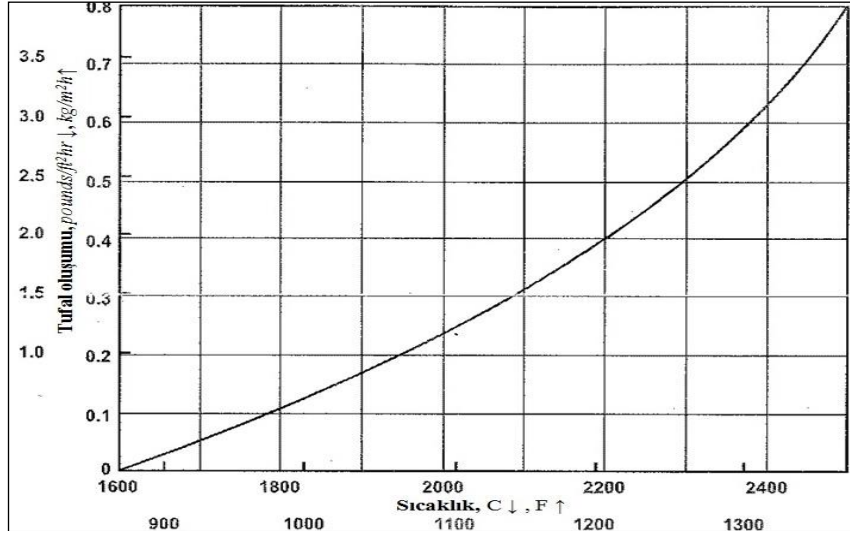
3.4. TUFAL KAYIPLARI

Çelik, haddeleme sıcaklığına kadar ısıtıldığında oksijenin metal yüzeyi ile reaksiyona girmesi sonucu tufal meydana geldiği bilinmektedir. Tufal metal yüzeylerdeki oksitlerdir. Oluşan tufal miktarı ısınma süresine, ısıtılan çeliğin kalitesine, fırın atmosferine, ısıtma ekipmanlarının tip ve kullanılma şekillerine bağlıdır. Genel tavlama pratiğinde yanmış gazların oksidasyon özelliği daima oldukça yüksektir. Çeliğin yüzey sıcaklığı arttıkça meydana gelen tufal miktarı da artar ve artış tavlama süresince artan O₂, CO₂ ve su buharı yüzdelere bağlıdır. Kütüğün oksitlenmesi hava-yakıt oranının kontrolü ile minimum seviyeye indirilerek tufal kaybı azaltılabilir.

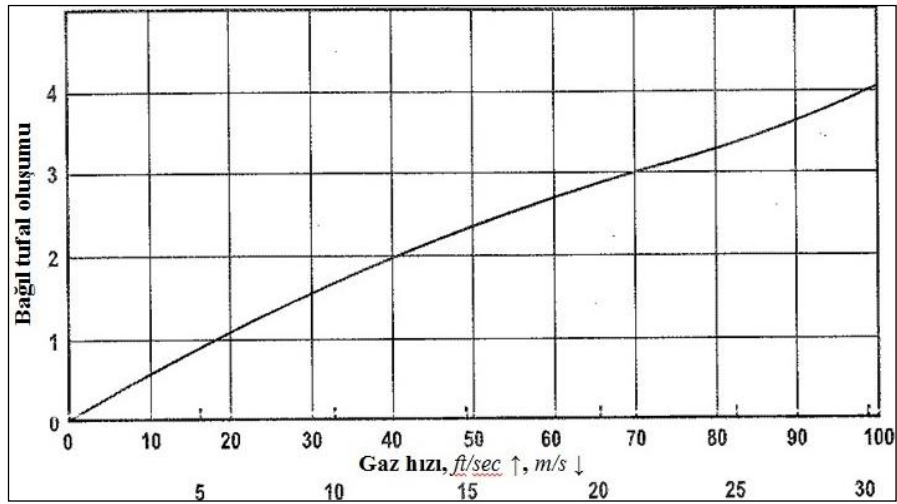
Tufal oluşumuna hava-yakıt oranının etkisi Şekil 3.1.'de, sıcaklığın etkisi Şekil 3.2'de, gaz hızının etkisi Şekil 3.3'de ve tavlama zamanının etkisi ise Şekil 3.4'de verilmiştir.



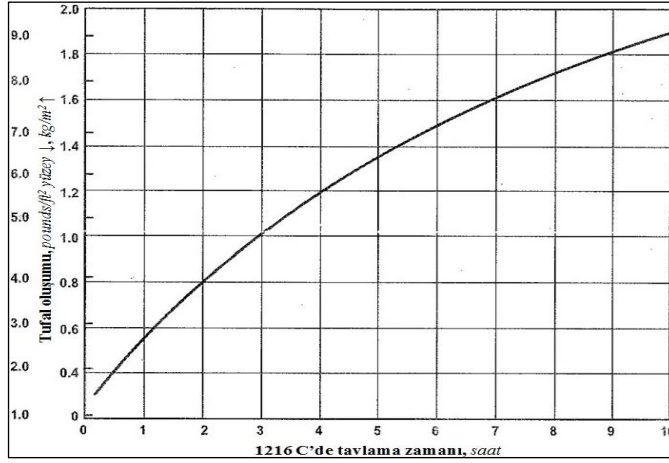
Şekil 3.1. Tufal oluşumuna hava-yakıt oranının etkisi.



Şekil 3.2. Tufal oluşumuna sıcaklığın etkisi.



Şekil 3.3. Tufal oluşumuna gaz hızının etkisi.



Şekil 3.4. Tufal oluşumuna tavlama zamanının etkisi.

3.5. GAZ ANALİZÖRÜ KULLANIMININ AMACI

Kok ve Yüksek Fırın üretim proseslerine bağlı olarak, Yüksek Fırın gazı ve Kok gazının debisi ve içeriği dolayısıyla kalorifik değeri sık sık değişmektedir. Tav fırını mevcut kontrol sisteminde yakıtların içeriği online olarak okunamadığından, hesaplanan hava-yakıt oranı 5.6 dır. . Yüksek Fırın gazı ve Kok gazı debisi ve içeriği değiştiğinde hava miktarının da tam yanmayı sağlayacak şekilde ayarlanması gerekmektedir. Yakma havası miktarı gereğinden fazla olduğunda fırın sıcaklığı düşmektedir. Havanın optimum hava fazlalık katsayısının altında olması durumunda ise eksik yanma (CO oluşumu) meydana gelmektedir. Bu olumsuzlukların önlenmesi amacıyla online sürekli ölçüm yapan bir adet gaz analizörüne ihtiyaç duyulmuştur. Fırın yakma gazı hattına bağlanan gaz analizörünün markası MRU, modeli SWG 200 dür.



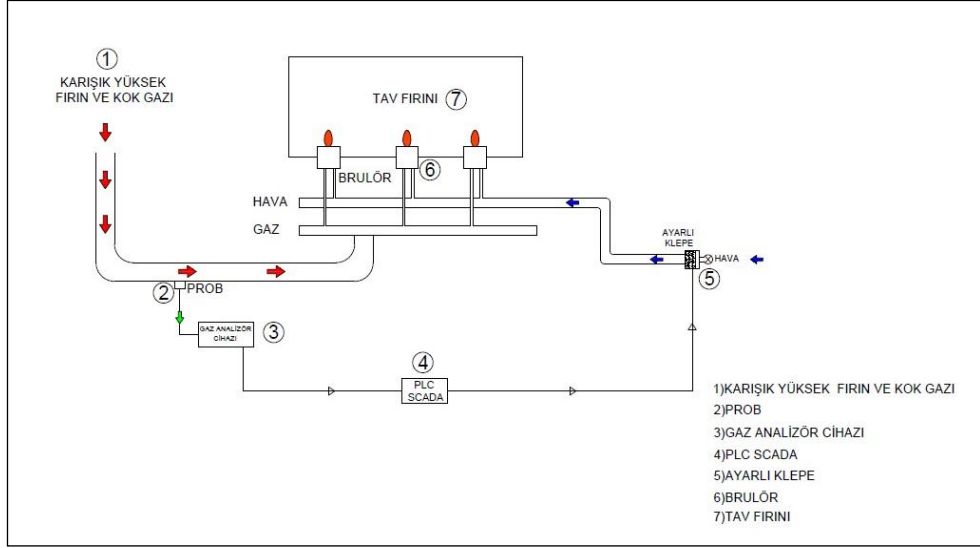
Şekil 3.5. Gaz analizör cihazı (mru swg 200).



Şekil 3.6. Gaz analizör cihazının genel yerleşim şekli.

Gaz analizör sisteminin çalışma prensibi kısaca şöyledir. Tav fırınına gelen karışık yüksek fırın ve kok gazından prob vasıtasıyla numune gaz alınıp gaz analizör cihazımızca analizi yapılır. Bu sonuçlar cihazın analog çıkışları vasıtasıyla tav fırın

plc ve scadasına aktarılır. Plc de bu gaz sonuçlarına göre en uygun hava oranı hesaplanır . Elde edilen bu değere karşılık hava klepelerin açıklık oranı otomatik olarak ayarlanır. Böylece fırına giren hava miktarı istenilen değerde olmuş olur. Bu karışık yakıt ve hava birlikte brülöre girip ideal yanma işlemi gerçekleştirilir.Gaz analizör sisteminin montaj şekli aşağıdaki gibidir.



Şekil 3.7. Gaz analizör cihazının montaj resmi.

3.5.1. Gaz Analizör Cihazının Genel Özellikleri

Gaz analiz cihazının başlıca özellikleri şunlardır;

- Cihaz aşağıdaki gaz bileşiklerini online ve sürekli ölçebilmektedir.
 - H₂, Hidrojen, 0-100%,
 - CO, Karbonmonoksit, 0-30%,
 - CO₂, Karbondioksit, 0-30%,
 - CH₄, Metan, 0-30%,
 - O₂, Oksijen, 0-25%
- Gaz analizörü (CO/CO₂/CH₄) gazlarının analizi için NDIR (multi-gas infrared bench) sensörü, (H₂) Hidrojen gazı içinse termal iletkenlik detektörüne ve (O₂) Oksijen gazı ölçümleri için paramanyetik hücreye sahiptir.
- Analiz sonuçları ve servis uyarıları cihaz ekranından görülebilmektedir.

- Cihaz sürekli ölçüm yapabilecek biçimde dizayn edilmiştir.
- Cihazın kullanıcı ayarlarını değiştirmek için cihaz üzerinde butonlar bulunmakta ve ölçülen değerlerin cihaz üzerinde görülebilmesi için cihaz LCD ekrana sahiptir.
- Cihazın çözünürlüğü: 0,01%.
- Dedeksiyon limiti: 0,1%.
- Tekrarlanabilirliği: $\pm 2\%$,
- Doğruluğu: $\pm 2\%$,
- Isınma süresi: 30 dakika,
- Numune alma şartları;
 - Debi: 0,5 L/dak .
 - Giriş basıncı (max): 0,2 bar.
 - Giriş ve çıkış portları : DN4/6mm fitting.
- Analog çıkış: 8 kanal, 4-20 mA
- Dijital çıkış: RS485
- Muhafaza: Çelik (kilitlenebilir cam kapaklı), IP52
- Boyutları: 480×600×575mm, 50 kg

3.5.2. Gaz Analizör Cihazının Çalışma Prensibi

Numune alıcak olan gaz numune alma probu yoluyla tav fırını girişinden dışarı doğru çekilir ve ısıtılmamış numune alma borusu aracılığıyla analiz birimine aktarılır. Çevre sıcaklığı, kış döneminde $+5^{\circ}\text{C}$ 'nin altına düştüğünde ısıtılmış numune alma borusu gerekir.

Analitik ölçümler için kesintisiz gaz numune alma işlemi esnasında, HD model gaz numune alma probu ile hassas toz filtrasyonu, numune alma probunda doğrudan numune alma noktasında gerçekleştirilir. Böylelikle, zorunlu bakım çalışmalarının bir kısmı tek noktaya indirgenmiş olur. Bu filtreleme teknolojisinin avantajı sayesinde ince toz ve kumtaşı gibi toz karışımları optimum düzeyde tutulur ve böylece bakım çalışmalarını indirger. Numune alma probu, kolay erişimli ısıtılmış

filtre ile donatılmıştır. Bu filtre, bacanın dışına yerleştirilir ve eğer gerekirse, prob bacadan (kanaldan) ayrılmadan kolaylıkla bakımı yapılabilir.

Kanal veya filtre içinde yoğunlaşmayı engellemek için gaz numune alma borusu ve filtrenin ısıtılması yoluyla numune gaz sıcaklığı, baca gazının çığlaşma noktasının üzerinde tutulur.

Birim içinde ise, numune gaz bir soğutucuya aktarılır. Nemli numune gaz soğutulur ve yoğunlaştırılır; bu sayede sensörler ileride olabilecek numune gaz yoğunlaşmasından zarar görmemiş olurlar.

Daha sonra numune gaz, önce numune gaz toz filtresine ve sonra da gaz pompasına aktarılır. Gaz pompasının yardımıyla gerekli yerlere gönderilen numune gazların değerleri LCD ekrana yansıtılır. Analog çıkışlar vasıtasıyla bu değerler alınıp ray profil haddehanesi fırın plc ve scadasında kullanılır.

3.5.3. Gaz Analizör Cihazına Ait Önemli Ekipmanları

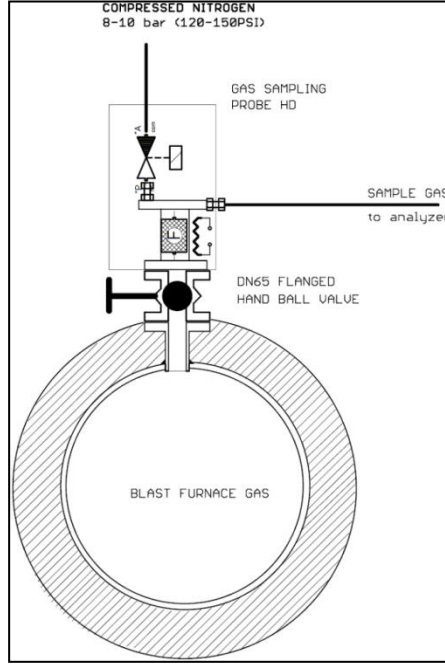
Gaz analizör cihazına ait en önemli ekipmanları şöyle sıralayabiliriz.

- High dust probe (HD)
- NDIR (multi-gas infrared bench) sensörü
- Termal iletkenlik sensörü
- Paramanyetik hücre
- Cooler (soğutucu)

3.5.3.1. High Dust Probe (HD)

HD probe , ray profil haddehanesi tav fırını yanma gazı borusuna monte edilmiştir. Buradan numune gaz alıp filtresinden geçirdikten sonra hortum vasıtasıyla gaz analiz cihazına gazı gönderilmektedir. Üzerindeki 0,3 µm seramik filtre sayesinde yüksek oranda filtre etme özelliğine sahiptir ve bu filtre çok kolay bir şekilde değiştirilebilir. Ayrıca fırın azot hattından bir hat çekilip probun istediğimiz zaman aralıklarında

purchase yapılması sağlanmaktadır. Bu işlem sayesinde probun daha uzun ömürlü olması sağlanmaktadır. Ayrıca probe da meydana gelebilecek tıkanıklıkların önüne geçilmekte, oluşabilecek tıkanmaları azot yardımıyla üfleyip probadan uzaklaştırmaktadır.



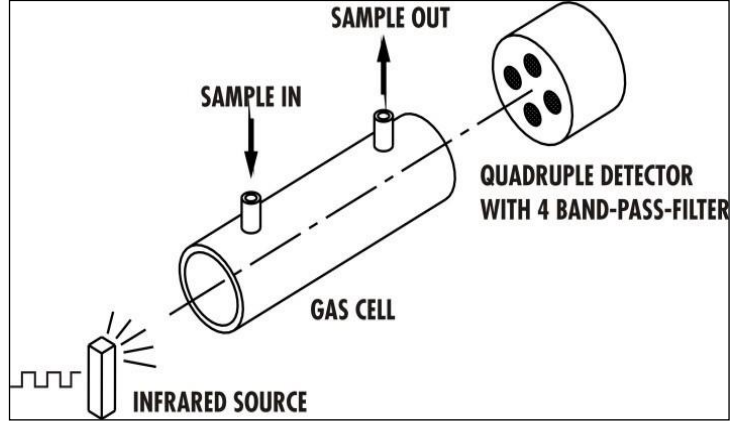
Şekil 3.8. HD probe montaj resmi.



Şekil 3.9. HD probe montaj yapılmış hali.

3.5.3.2. Ndir (Multi-Gas İnfrared Bench) Sensörü

SWG'nin dağılmaz infrared çoklu-gaz düzeneği yoluyla, karbonmonoksit (CO), karbondioksit (CO₂), Metan (CH₄) veya kükürt dioksit (SO₂) ölçümü mümkün olabilmektedir.



Şekil 3.10. NDIR sensörü.

Doğrultulmuş kızılötesi (IR) kaynağı, 2-8 mikron(μm) bandında foton akımı sağlar. Kızılötesi ışık, numune hücrelerinden geçecek şekilde optik algılayıcıya yöneltilmiştir. Kaynak, elektronik olarak 2Hz'e ayarlanmıştır

Gaz numune hücrelerinin her iki ucuna kızılötesi geçirgenliğe sahip kalsiyum florür lensler yerleştirilmiştir. Piro-elektrik algılayıcı, sıcaklık doğrultmalıdır. Ek olarak, numune gaz sıcaklığı ve basınç değişimleri için ölçüm düzeltmeleri de sağlanmıştır.

Artık kızılötesi enerji numune gaz tarafından soğurulmaz, optik algılayıcıya yönlendirilir. Bu enerji, herbiri hedef gazların kızılötesi soğurma spektrumuna göre dizilmiş olan dört optik dar band geçiş filtresinden geçer. (Filtrelerden birisi referans filtresidir; eskime ve kirlenme düzeltmeleri için kullanılır.)

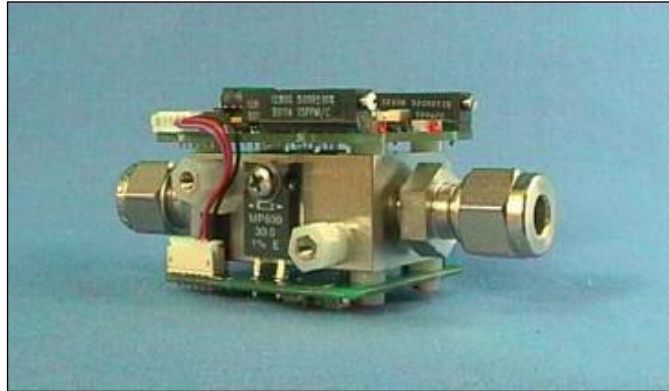
Filtreden geçen kızıl ötesi ışık, aynı gövde içindeki dört piro-elektrik algılayıcı tarafından toplanır. Bu algılayıcılar, ışığın şiddetiyle orantılı bir gerilim üretirler. Algılayıcı, sıcaklık ölçümünü engeller ve doğrultma, IR filtresi ve IR algılayıcı

sıcaklık değişimlerini düzeltmeyi kolaylaştırır. Algılayıcı çıkışı, ön-yükseltmelidir ve çoklayıcı aracılığıyla analog veya dijital çeviriciye(ADC) ve u-kontrolöre gönderilir.

3.5.3.3. Termal İletkenlik Sensörü

Termal iletkenlik (FTC110-OEM) sensörü, ince bir zara sahip mikro-mekanik silikon bir Çip'tir. İki ince film direnci, zarla entegre edilmiştir ve hem zarı ısıtmak için hem de sıcaklığını tespit etmek için kullanılır. İki direnç de, gaz molekülleriyle kimyasal reaksiyondan korunabilsin diye sabit bir kaplamayla korunmuştur. Zarın üst ve alt yüzeyinde, silikona iki oyuk açılmıştır. Ölçülen gaz oyuklar içinde yayılır ve gazın termal iletkenliğine göre, zarın geri kalanına göre daha yüksek sıcaklıkta tutulan zar üzerinde daha fazla yada daha az enerji dağılmış olur. Ölçülen nicelik, zarın sıcaklığını en üst seviyede tutmak için ihtiyaç duyulan gerilimdir.

Bu mikro-mekanik çipler, ölçülen gaz akışının geçtiği paslanmaz çelik bir hazne içine sabitlenirler. Gaz giriş ve çıkışları, 6mm'lik bağlantı elemanları ile yapılır. Sensörün sıcaklık kontrollü operasyon moduna izin verildiği durumlarda, çipin içinde bulunduğu paslanmaz çelik haznenin sıcaklığı, hazneye tutturulmuş olan iki ısıtıcı elemanla ve bir sıcaklık sensörüyle kontrol edilir. Haznenin üzerinde, ilk sırada sinyal işleme elektronikini içeren plaka monte edilmiştir. Sıcaklık kontrol devresi ise, haznenin altına iliştirilen ikinci bir plaka üzerindedir. Buradaki sıcaklık, 10-Turlu potansiyometre ile ayarlanabilir. Başlangıç değeri ise 60°C'dir.



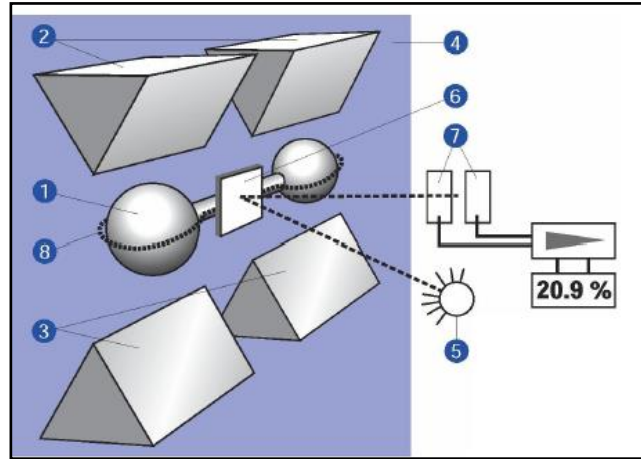
Şekil 3.11. Termal iletkenlik (ftc110-oem) sensörü.

Termal İletkenlik (Ftc110-Oem) Sensörünün Özellikleri

- Hassas ve uzun dönemli kararlı/dengeli termal iletkenlik ölçümü
- Çevre sıcaklığından bağımsız yüksek hassasiyet
- T_{90} zamanı ile 1 saniye civarında hızlı tepki süresi
- Geniş aralıkta gaz akışından ve basınçtan bağımsız ölçüm
- Paslanmaz çelikten yapılmış küçük ve dayanıklı içten-akışlı cihaz
- Sinyal işleme özelliği sayesinde müşterinin elektronik sistemine kolay uyum
- N_2 için 1V'den H_2 için 10V aralığında kalibre edilmiş sinyal çıkışları.

3.5.3.4. Paramanyetik Hücre

Oksijen Analizi, paramanyetik hücreler yoluyla yapılır.



Şekil 3.12. Paramanyetik hücrenin çalışma prensibi.

- | | |
|--------------------------------|--------------------------------|
| 1. Azot doldurulmuş cam dambıl | 5. Işık Kaynağı |
| 2. Üst kutup pabucu | 6. Ayna |
| 3. Alt Kutup Pabucu | 7. Fotosel Çifti |
| 4. Ölçüm Hücresi | 8. Düzeltmeler için Sarmal Tel |



Şekil 3.13. Paramanyetik oksijen sensörü (parox 1200).

Oksijen, güçlü paramanyetik karakteristiğe sahip nadir gazlardan biridir.

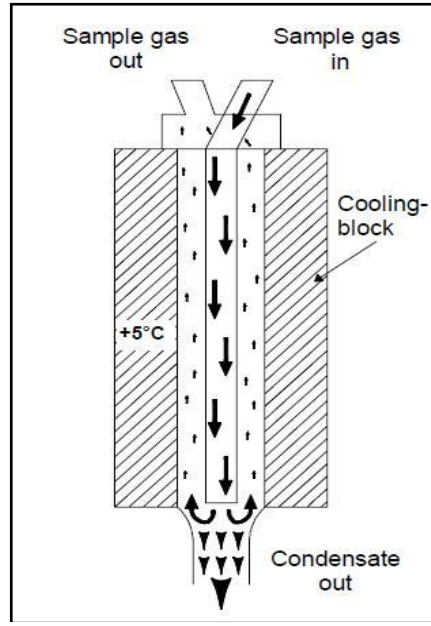
Ölçüm hücresindeki güçlü manyetik alana oksijen molekülleri pompalanır. Moleküller cam dambıl üzerine etki ederken, ölçüm hücresi ve referans hücredeki oksijenin kısmi basıncına bağlı bir açıda döndürürler. Dambıla monte edilmiş, ışık kaynağından salınan ışığı fotosel çiftine yansıtan küçük bir ayna bulunmaktadır.

Ölçüm hücresinde bulunan oksijen, fotosel çiftinin aldığı ışığın açısını değiştirecektir. Bu, fotosel çifti arasında bir gerilimi zorlayacaktır. Bu gerilim ve dambıla monte edilmiş olan sarmal yaya etki eden düzeltme gerilimi yoluyla, dambıl ilk konumuna ulaşmaya kadar oksijenin etkisine karşıt bir kuvvet oluşacaktır.

Bu karşıt kuvveti oluşturmak için gereken akım, ölçülmek istenen oksijen konsantrasyonuna doğrudan orantılı bir sinyaldir.

3.5.3.5. Cooler

Ray profil haddehanesinde kullanılan gaz analiz cihazına ait gaz soğutma ünitesinin modeli ECP 1000 dir. Bu soğutucu ünitenin içerisinde Duran camdan yapılmış özel bir tüp bulunmaktadır. Bu cam tüp sayesinde numune gaz çok kolay bir şekilde soğutulmaktadır.



Şekil 3.14. Soğutma ünitesi çalışma prensibi.



Şekil 3.15. ECP 1000 soğutucu ünite.

BÖLÜM 4

YÖNTEM, ÖLÇÜM VE HESAPLAMALAR

4.1. TEORİK TEMEL VE HESAPLAMA YÖNTEMİ

4.1.1. Yanma

Bir yakıtın büyük miktarda enerji vererek oksitlenme tepkimesine yanma denir. Yanma işleminde en sık kullanılan oksitleyici havadır. Saf oksijen sadece kesme ve kaynak gibi havanın kullanılmadığı bazı özel uygulamalarda kullanılmaktadır [18].

Yanma sırasında azot inert gaz olarak davranır ve çok az miktarda azot oksit oluşturmasının dışında diğer elementler ile tepkimeye girmez. Bununla beraber azotun varlığı bile yanma sonucunu önemli ölçüde etkiler. Çünkü genellikle azot yanma odasına düşük sıcaklıklarda girer ve yanma sırasında ortaya çıkan kimyasal enerjinin büyük bir kısmını alarak yüksek sıcaklıkta çıkar. Yanma işlemlerinin çoğunda nem ve yanma sırasında oluşan H₂O da azot gibi inert gaz olarak varsayılabilir. Yanma gazları su buharının çiy noktasının altına soğuduğunda bir miktar nem yoğunlaşır. Su damlaları yanma gazları içinde bulunan kükürt dioksit ile birleşerek korozyona neden olan sülfürik asit oluşturduğu için çiy noktasının önceden bilinmesi çok önemlidir [18].

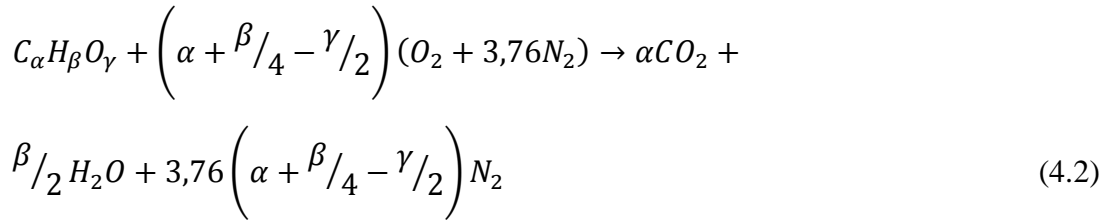
Yanma işlemi sırasında tepkimeden önce bulunan bileşenlere girdiler ve tepkimeden sonra bulunan bileşenlere ürünler denir. Örneğin 1 kmol karbonun 1 kmol saf oksijen ile karbon dioksit oluşturarak yanmasında



C ve O₂ yanmadan önce var olduğu için girdilerdir ve CO₂ yanmadan sonra ortamda olduğu için üründür. Eğer karbon saf oksijen yerine hava ile yanarsa yanma eşitliğinin her iki tarafında da N₂ olacaktır [18].

Kimyasal tepkimeler kütle korunumu ilkesine dayanarak denkleştirilmektedir. Kütle korunumu ilkesi kimyasal tepkime sırasında her bir elementin toplam kütlesi sabit kalır şeklinde ifade edilebilir. Bununla beraber girdilerin toplam mol sayısı ürünlerin toplam mol sayısına eşit olmayabilir. Yani bir kimyasal tepkimede toplam mol sayısı sabit kalmayabilir [18].

Genel hidrokarbon yakıtlar $C_\alpha H_\beta O_\gamma$ için hava ile yanma stokiyometresi şu şekilde ifade edilebilir [19].



Burada α , β ve γ sırasıyla C, H ve O elementlerinin atom sayılarıdır. Bir yakıtın tam yanması için gereken minimum hava miktarına stokiyometrik veya kuramsal hava denir. Gerçek yanma işlemlerinde tam yanmayı sağlamak ve yanma odasının sıcaklığını kontrol etmek için stokiyometrik miktardan daha fazla hava kullanmak genel bir uygulamadır. Stokiyometrik miktardan fazla kullanılan hava miktarına fazla hava denir ve fazla hava miktarı stokiyometrik havaya dayanarak fazla hava yüzdesi olarak ifade edilir ve şu şekilde tanımlanır [18].

$$\%FH = 100x \frac{m_h - m_{hs}}{m_{hs}} \quad (4.3)$$

Yanma işlemlerinin analizinde yakıt ve hava miktarlarını sayısal olarak ifade etmek için kullanılan büyüklük hava-yakıt oranı (HY)'dir. Yanma işlemlerinde *havanın kütlelerinin yakıtın kütlelerine oranı* olarak tanımlanır.

$$HY = m_h/m_y \quad (4.4)$$

Burada m maddenin kütlesi $m=NM$ bağıntısı ile verilir ve N mol sayısına bağlıdır, M mol kütlesidir [18].

Gerçek hava-yakıt oranının stokiyometrik hava-yakıt oranına bölünmesi ϕ eşdeğerlik oranını verir:

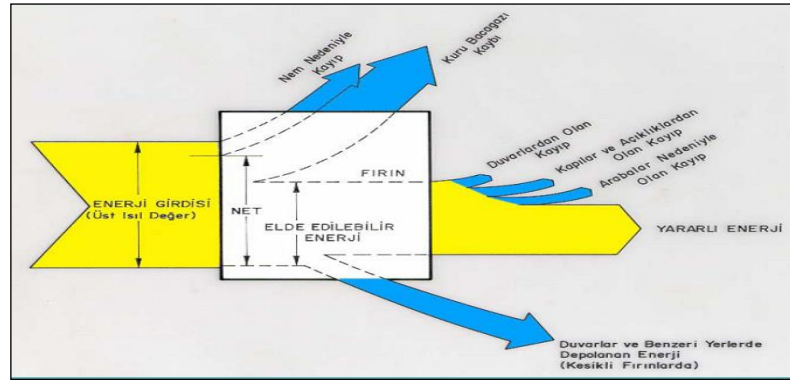
$$\phi = \frac{HY}{HY_s} \quad (4.5)$$

Burada $\phi < 1$ olursa eksik yanma, $\phi = 1$ olursa stokiyometrik yanma, $\phi > 1$ olursa zengin yanma olur [19].

Yakıtların yanması ile bağlantılı olarak kullanılan diğer bir terim yakıtın ısı değeridir ve bir yakıtın tamamen yandığında ve girdiler ürünler haline döndüğünde ortaya çıkan ısı miktarı olarak tanımlanır. Isı değeri ürünlerde bulunan suyun fazına bağlıdır. Ürünlerdeki su sıvı halde olduğunda ısı değerine üst ısı değeri (ÜİD), ürünlerdeki su buhar fazında ise alt ısı değeri (AİD) denir [18].

4.1.2. Enerji Denkliği

Sisteme verilen enerji miktarı ile çıkan enerji miktarı arasında bir denklik kurulması ilkesine dayanır. Şekil 4.1’de bir sistemin enerji kütle denkliği görülmektedir.



Şekil 4.1. Enerji kütle denkliği.

Mühendislikte kullanılan türbin, kompresör, lüle ve benzeri birçok makinanın çalıştıkları sürelerde giriş, çıkış ve diğer çalışma koşulları değişmez. Bu makinalarla ilgili termodinamik çözümlere sürekli akışlı açık sistem adı verilen gerçeğe yakın bir modelle yapılır. Sürekli akışlı açık sistemde akışkanın kontrol hacminden sürekli bir akışı vardır [18].

Sürekli akışlı açık sistemlerde kontrol hacmindeki toplam enerji sabittir ($E_{KH} = \text{sabit}$). Böylece kontrol hacmindeki toplam enerji değişimi sıfır olur ($\Delta E_{KH} = 0$). Bu nedenle tüm biçimlerde kontrol hacmine giren enerji miktarı kontrol hacminden çıkan enerji miktarına eşit olmalıdır. Sürekli akışlı açık sistemler için enerjinin korunumu aşağıdaki gibi yazılabilir [18].

$$\dot{E}_g = \dot{E}_ç \quad (4.6)$$

Haddehane tav fırınları için enerji denkliği şu şekilde yazılabilir:

$$\dot{Q}_y + \dot{Q}_{yh} + \dot{Q}_{kg} + \dot{Q}_{ssg} = \dot{Q}_{kç} + \dot{Q}_{bg} + \dot{Q}_{ssç} + \dot{Q}_d \quad (4.7)$$

Burada \dot{Q}_y yakıt enerjisi, \dot{Q}_{yh} yakma havası enerjisi, \dot{Q}_{kg} kütüğün fırın girişindeki enerjisi, \dot{Q}_{ssg} soğutma suyunun fırın girişindeki enerjisi, $\dot{Q}_{kç}$ kütüğün fırın çıkışındaki enerjisi, \dot{Q}_{bg} baca gazı enerjisi, $\dot{Q}_{ssç}$ soğutma suyunun fırın çıkışındaki enerjisi ve \dot{Q}_d kayıp enerjilerdir.

Yakıtların yanması ile sisteme giren enerji şu şekilde hesaplanır:

$$\dot{Q}_y = \dot{m}_y H \quad (4.8)$$

Burada \dot{m}_y yakıtın debisi ve H yakıtın alt ısıl değeridir.

Yakma havası enerjisi ise şu şekilde hesaplanır:

$$\dot{Q}_{yh} = \dot{m}_{yh} c_{pyh} T_{yh} \quad (4.9)$$

Burada \dot{m}_{yh} yakma havası debisi, c_{pyh} yakma havası özgül ısısı, T_{yh} yakma havası sıcaklığıdır.

Fırında kütüğe aktarılan enerji ise şu şekilde hesaplanır:

$$\dot{Q}_k = \dot{Q}_{k\check{c}} - \dot{Q}_{kg} = \dot{m}_{k\check{c}}c_{pk\check{c}}T_{k\check{c}} - \dot{m}_{kg}c_{pkg}T_{kg} \quad (4.10)$$

Burada $\dot{m}_{k\check{c}}$ fırın çıkışı kütük debisi, \dot{m}_{kg} fırın girişi kütük debisi, $c_{pk\check{c}}$ kütüğün fırın çıkış sıcaklığındaki özgül ısısı, c_{pkg} kütüğün fırın giriş sıcaklığındaki özgül ısısı, $T_{k\check{c}}$ kütüğün fırın çıkış sıcaklığı ve T_{kg} kütüğün fırın giriş sıcaklığıdır.

Fırında soğutma suyuna aktarılan enerji ise şu şekilde hesaplanır:

$$\dot{Q}_{ss} = \dot{Q}_{ss\check{c}} - \dot{Q}_{ssg} = \dot{m}_{ss\check{c}}c_{pss\check{c}}T_{ss\check{c}} - \dot{m}_{ssg}c_{pssg}T_{ssg} \quad (4.11)$$

Burada $\dot{m}_{ss\check{c}}$ fırın çıkışı soğutma suyu debisi, \dot{m}_{ssg} fırın girişi soğutma suyu debisi, $c_{pss\check{c}}$ soğutma suyunun fırın çıkışındaki özgül ısısı, c_{pssg} soğutma suyunun fırın girişindeki özgül ısısı, $T_{ss\check{c}}$ soğutma suyunun fırın çıkış sıcaklığı ve T_{ssg} soğutma suyunun fırın giriş sıcaklığıdır.

Baca gazına aktarılan enerji ise şu şekilde hesaplanır:

$$\dot{Q}_{bg} = \dot{m}_{bg}c_{pbg}T_{bg} \quad (4.12)$$

Burada \dot{m}_{bg} baca gazı debisi, c_{pbg} baca gazı özgül ısısı, T_{bg} baca gazı sıcaklığıdır.

4.1.3. Fırın Verimi

Haddehane tav fırınlarında verim şu şekilde hesaplanır;

$$\eta = \dot{Q}_k / \dot{Q}_y \times 100 \quad (4.13)$$

4.2. ÖLÇÜM YÖNTEMİ VE ÖLÇÜM CİHAZLARI

Bir sanayinin tav fırınında enerji dengliği kullanılarak hesaplamalar yapılmış ve kütüğün tavlama için gerekli enerji de hesaplanarak mevcut durumda fırın verimi hesaplanmıştır. Çalışmalarda fırın giriş ve çıkışı arasında enerji dengesinin kurulabilmesi için akışlara ait hız, basınç, sıcaklık ve yanma gazı ile ilgili değerler, sistem üzerindeki mevcut sayaçlardan ve Scada(HMI) ekranlarından okunmuştur. Alınan değerler kullanılarak enerji dengesi kurulmuştur. Kurulan enerji dengesi ile tav fırının verimi hesaplanmıştır. Tav fırınlarının çalışma sistemi Şekil 4.2'de şematik olarak gösterilmiştir.

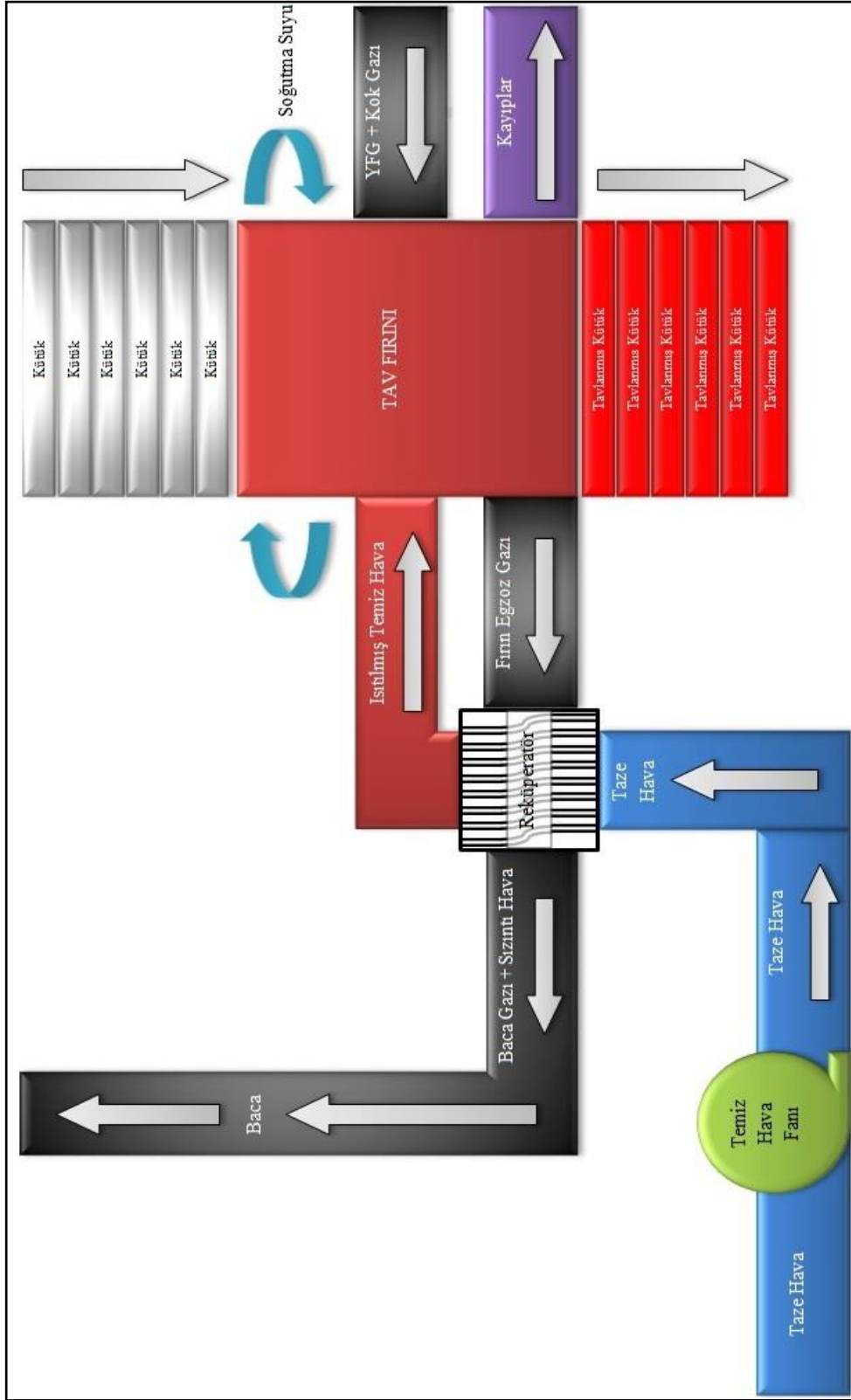
Fırında yakıt olarak kullanılan kok gazı ve yüksek fırın gazı debileri mevcut sayaçlardan okunmuştur. Yüksek fırın gazı ve kok gazının içerikleri kullanılarak yanma ürünlerinin bileşenleri ve debileri hesap edilmiştir.

Haddehane tav fırınında fırına gelen karışık yanma gazını MRU marka SWG 200 model gaz analizör cihazıyla analiz edilmiştir. Bu analiz sonucunda en ideal gaz hava oranını otomatik olarak ayarlayarak fırında en verimli şekilde yanmayı gerçekleştirebilmek hedeflenmiştir.

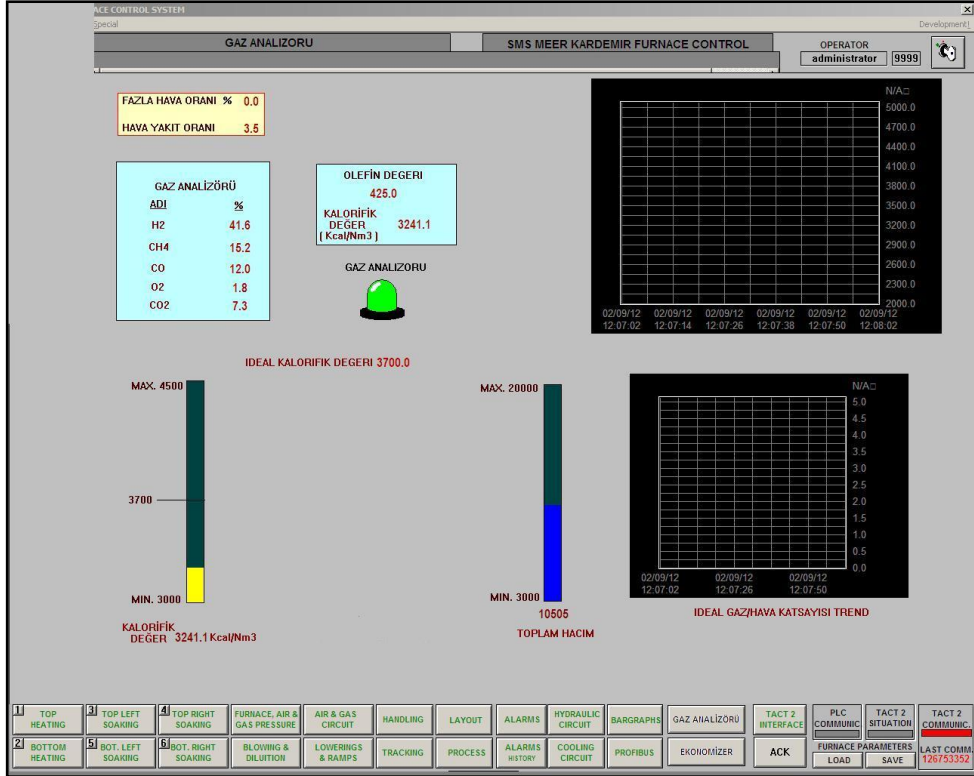
Yine mevcut fırının bacasından oksijen analiz değerleri de sistemde çalışır durumda olan oksijen analizatör cihazından okunmuştur.

Sisteme beslenen kütük ve oluşan tufal miktarı bilgileri ise işletmenin kullanmış olduğu scada ekranlarından ve ilgili işletme personelinden alınmıştır. Ayrıca bunlara ait giriş ve çıkış sıcaklık değerleri sıcaklık ölçüm cihazlarıyla ölçülmüştür. Şekil 4.3 ve Şekil 4.4'de bazı scada ekranları görülmektedir.

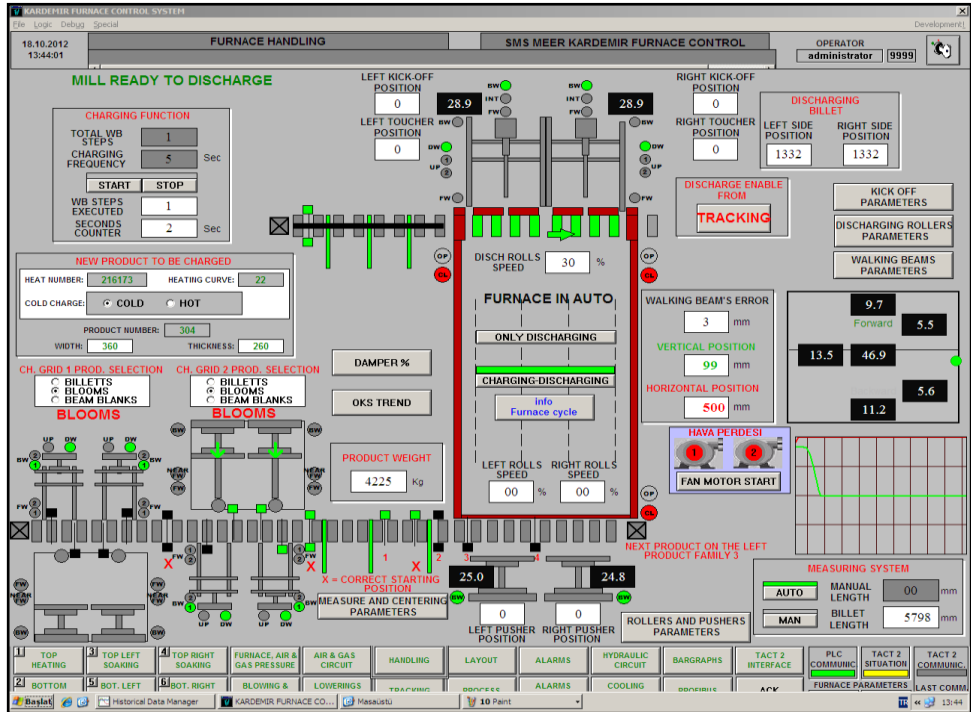
Tav fırının ait bu şekilde yaklaşık 30 adet HMI ekranı vardır. Bu ekranlardan gazlara, suya, hidroliğe, elektriğe ve kütüğe ait ilgili basınç, sıcaklık, debi, adet, ağırlık vs. gibi birçok değere ulaşmak mümkündür.



Şekil 4.2. Tav fırını çalışma ve ölçüm sisteminin şematik gösterimi [20].



Şekil 4.3. Fırın scada örneği 1.



Şekil 4.4. Fırın scada örneği 2.

4.2.1. Haddehane Tav Fırını Ölçüm Sonuçları

Haddehane tav fırınında yakıt olarak kok gazı ve yüksek fırın gazı (YFG) kullanılmaktadır. Bu gazlar fabrikamızın enerji tesislerinde büyük bir oranı kok gazı olacak şekilde karıştırılarak ray profil haddehanesi tav fırınına karıştırılmış halde yani mix halde gönderilmektedir. Kullanılan yakıt debisi Çizelge 4.1’de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Haddehane tav fırınında kullanılan karışık yakıtın debisi.

Karışık Gaz (Nm ³ /h)	4637
----------------------------------	------

Haddehane tav fırınına beslenen karışık yanma gazının analiz yüzdeleri sırasıyla Çizelge 4.2’de verilmiştir.

Çizelge 4.2. Karışık yanma gazı analiz yüzdeleri.

CO	10,81%
H ₂	47,12%
CH ₄	19,39%
O ₂	1,31%
CO ₂	4,69%

Haddehane tav fırını için yanma hesapları yapılmış ve sonuçlar tav fırını yanma gazı için sırasıyla Çizelge 4.3’de verilmiştir.

Çizelge 4.3. Haddehane tav fırını karışık yanma gazı bileşimi.

Yakıt Analizi (%)		Gerekli Stokiyometrik O ₂ (kmol)	O ₂ ile Birlikte Giren N ₂ (kmol)	Stokiyometrik Hava Debisi (Nm ³)	Yakıt Debisi (Nm ³)
CO	10,81%	0,50	1,88	1193,00	501,26
H ₂	47,12%	0,50	1,88	5200,19	2184,95
CH ₄	19,39%	2,00	7,52	8559,57	899,11
O ₂	1,31%	0,00	0,00	-295,27	60,74
CO ₂	4,69%	0,00	0,00	0,00	217,48
Toplam	83,32%	3,00	11,28	14657,49	3863,55

Gaz analizörden edinilen gaz oranlarına istinaden PLC de ve HMİ da kullanılması gereken hava – yakıt oranı Çizelge 4.4 ‘ de gösterilmiştir. Bu değer gaz değerleri anlık değiştiğinden otomatik olarak anlık değişecektir. Böylece sistem fırına ne kadar yakma gazına karşın hava alması gerektiğini anlık bilip , otomatik kendini ayarlayıp çalışmaya başlayacaktır.

Çizelge 4.4. Haddehane tav fırını fazla hava miktarı, toplam hava miktarı ve hava yakıt oranı.

Fazla Hava Oranı	0,00%
Fazla Hava Miktarı (Nm ³ /h)	0,00
Toplam Hava Miktarı (Nm ³ /h)	14657,49
Hava-Yakıt Oranı	3,79

Gaz analizör cihazı olmadan önce fırına alınan fazla havaya ilişkin değerler Çizelge 4.5 de gösterilmiştir.

Çizelge 4.5. Gaz analizör olmadan önceki haddehane tav fırını egzoz gazı debisi, yakma havası debisi, fazla hava debisi ve hava fazlalık katsayısı [20].

Teorik Egzoz Gazı (Nm ³ /h) (ob)	22886
Teorik Yakma Havası (Nm ³ /h) (ob)	19224
Fazla Hava (Nm ³ /h)	9987
Teorik Toplam Egzoz Gazı (Nm ³ /h) (ob)	32873
Teorik Fırına Giren Hava (Nm ³ /h)	29210
Fazla Hava Yüzdesi (%)	51,95
Hava-Yakıt Oranı	5,60

4.2.2. Haddehane Tav Fırını Enerji Denkliği

Gaz analizör olmadan önceki ölçülen ve hesaplanan değerler kullanılarak haddehane tav fırını için enerji denkliği kurulmuş ve sonuçlar sırasıyla Çizelge 4.6.’de verilmiştir

Çizelge 4.6. Haddehane tav fırını toplam enerji denkliği [20].

TAV FIRINI ENERJİ DENGESİ						
Girişler	Debi (Nm ³ /h)	Oksijen (%)	Sıcaklık (°C)	c _p (kcal/Nm ³ K)	Q (kcal/h)	%
Yüksek Fırın Gazı (yanma ısısı)	580			753	436 740	1,94
Yüksek Fırın Gazı (duyulur ısı)	580		35,00	0,329	6 679	0,03
Kok Gazı (yanma ısısı)	4637			4.000	18 548 000	82,51
Kok Gazı (duyulur ısı)	4637		25,00	0,324	37 560	0,17
Yakma Havası (duyulur ısı)	29210	20,57	318,00	0,326	3 030 035	13,48
Soğutma Suyu	503*		24,00	1,0**	12 072	0,05
Kütük	70846*		55,00	0,105**	409 915	1,82
Toplam					22 481 000	100,00
Çıkışlar	Debi (Nm ³ /h)	Oksijen (%)	Sıcaklık (°C)	c _p (kcal/Nm ³ K)	Q (kcal/h)	%
Kütük	69571*		1077,00	0,163**	12 175 755	54,16
Fırın Egzoz Gazı	32873	6,25%	593,00	0,375	7 310 109	32,52
Soğutma Suyu	503*		29,00	1,0**	14 587	0,06
Tufal Kaybı	1275,23*		1077,00	0,163**	223 181	0,99
Diğer Kayıplar (Açıklık kaybı, izolasyon kaybı, vd.)					2 757 369	12,27
Toplam					22 481 000	100,00

*kg/h, **kcal/kg°C

4.2.3. Haddehane Tav Fırını Verimi

Haddehane tav fırını verimi; kütüğe verilen ısı miktarı ve toplam yakıt ısısı kullanılarak hesaplanmış ve sonuçlar Çizelge4.7’de verilmiştir.

Çizelge 4.7.Haddehane tav fırını gaz analizörsüz verimi [20].

Kütüğe verilen ısı Q _k (kcal/h)	11 765 840
Toplam yakıt ısısı Q _y (kcal/h)	19 028 978
Verim(% Q _k /Q _y)	61,83

4.2.4. Gaz Analizör ile Yapılacak Tasarruf Miktarı

Haddehane tav fırınında yapılan ölçümlerde fırının optimum hava fazlalık katsayısının üzerinde çalıştığı tespit edilmiştir. Bu durumda, önemli miktarda hava ısıtılarak atmosfere verilmektedir. Fırının optimum hava fazlalık katsayısı ile çalıştırılması durumunda önemli miktarda enerji tasarrufu sağlamak mümkün olacaktır. Hava fazlalık katsayısının optimum değerine çekilmesi durumunda yapılacak enerji tasarrufu miktarı Çizelge 4.8'da verilmiştir.

Çizelge 4.8. Gaz analizör ile yapılacak tasarruf miktarı.

Fazla hava debisi (Nm ³ /h)	9.987
Fazla hava oranı (%)	51,95%
Hedef fazla hava oranı (%)	0
c _p (kcal/Nm ³ K)	0,3449
Havadaki azalma (Nm ³ /h)	9.987
Hava giriş sıcaklığı (°C)	20
Baca gazı sıcaklığı (°C)	619
Enerji tasarrufu (kcal/h)	2 063 265

4.2.5. Tufal Kaybının Azaltılması ile Yapılacak Tasarruf Miktarı

Çelik, haddeleme sıcaklığına kadar ısıtıldığında oksijenin metal yüzeyi ile reaksiyona girmesi sonucu tufal meydana geldiği bilinmektedir. Meydana gelen tufal miktarının fırındaki hava fazlalık katsayısına, ısıtma süresine, ısıtılan çeliğin kalitesine, fırın atmosferine, ısıtma aparatlarının tip ve kullanım şekillerine bağlı olduğu belirtilmektedir.

Tav fırını prosesinde kullanılan yüksek fırın gazı ve kok gazının debisi ve içeriğinin sürekli değiştiği anlaşılmıştır. Yüksek fırın gazı debisi, kok gazı debisi ve içerikleri değiştiğinde hava miktarının da tam yanmayı sağlayacak şekilde ayarlanması gerekmektedir. Mevcut kontrol sisteminde bu değerler online olarak okunamadığından, hesaplanan hava-yakıt oranı 5.6 dır. Yakma havası miktarı

gereğinden fazla olduğunda, fırın sıcaklığı düşmekte ve hava fazlalığından dolayı tavlancak malzemede tufal oluşup malzeme kaybı meydana gelmektedir. Tesis mühendislerinden alınan bilgiye göre haddehane tav fırını ortalama tufal kaybı %1,8'dir. Yapılan denemelerde bu değerin ortalama % 1,5'e düştüğü gözlenmiştir. Bunun için yüksek fırın gazı ve kok gazı içeriğini online olarak belirleyip gerekli miktarda yakıt ve yakma havasını fırına gönderen bir sistem kurulup mevcut otomasyon sistemine entegre edilmiştir.

Haddehane tav fırınında tufal kaybının azaltılması ile yapılacak tasarruf miktarı Çizelge 4.9'da verilmiştir. Toplam tasarruf Çizelge 4.10 'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.9. Haddehane tav fırınında tufal kaybının azaltılması ile yapılacak tasarruf miktarı.

Haddehane çıkışı ürün birim fiyatı (TL/t)	1280
Yüksek fırına hurda giriş maliyeti (TL/t)	730
Haddehane yıllık üretim miktarı (t)	300000
Yıllık tasarruf miktarı (TL)	495000

Çizelge 4.10. Haddehane tav fırını toplam tasarruf miktarı.

Tasarrufun Adı	Tasarruf Miktarı (kcal/h)	Tasarrufunu Kömür Eşdeğeri (kg/h)	Tasarrufun Yıllık Mali Değeri (USD)
Fazla havanın azaltılması	2 063 265	352,875	618237
Tufal kaybının azaltılması	-	-	247500
TOPLAM	2 063 265	352,875	865737

1 kg kömür = 5847 kcal = 0,20 USD

4.2.6. Potansiyel Tav Fırını Verimi

Gaz analizör montajı ile yapılacak iyileştirme sonucu verimli bir yanma sağlanacağından potansiyel yeni verim Çizelge 4.11'de şu şekilde bulunur.

Çizelge 4.11. Potansiyel tav fırını verimi.

Kütüğe verilen ısı Q_k (kcal/h)	11 765 840
Toplam yakıt ısı Q_y (kcal/h)	16 965 713
Verim(% Q_k/Q_y)	69,35

4.2.7. Geri Ödeme Süresi

Haddehane tav fırını için gaz analizör cihazı kullanılarak verimli bir yanma sağlamak amacıyla sadece gaz analizör cihazının alımı için yatırım gerekmiştir. Bu verimli yanma sonucu tufal kaybının azaltılması ile yapılacak olan tasarruf miktarı için yatırım miktarı ve geri ödeme süresi Çizelge 4.12’de verilmiştir.

Çizelge 4.12. Haddehane tav fırınında yapılacak tasarruflar için yatırım miktarları ve geri ödeme süreleri.

Tasarrufun Adı	Yapılacak Olan Yatırım	Yatırımın Maliyeti (USD)	Tasarruf Miktarı (USD)	Yatırımın Geri Ödeme Süresi(Ay)
Fazla havanın azaltılması	-	-	618237	-
Tufal kaybının azaltılması	Yakıt içeriği online analizi ve PLC ile entegrasyonu	36234	247500	0,5 Ay

1 USD = 2 TL, 1 Avro = 2,7 TL

BÖLÜM 5

SONUÇ VE ÖNERİLER

Bir sanayi kuruluşunun haddehane tav fırınında gaz analiz sistemi ile enerji verimliliği çalışması yapılmıştır. Ölçüm ve kuruluş verileri kullanılarak gerekli hesaplamalar yapılmış, enerji dengeleri kurulmuş ve tasarruf potansiyelleri ortaya konmuştur. Hesaplamalar sonucunda tespit edilen verimin gaz analizörü kullanarak yükseltilebileceği belirlenmiştir.

Buna göre haddehane tav fırını sonuçları şunlardır:

- Haddehane tav fırınının verimi gaz analizörü kullanarak yükseltilmiştir..
- Haddehane tav fırınında gaz analizörü için 36234 USD kadar bir yatırım yapılmıştır. Buna karşılık, haddehanede tav fırınında gaz analizör kullanımı ile oluşan toplam kazanç yıllık 865737 USD dir.
- Haddehane tav fırınında kurulan gaz analiz sistemi sayesinde fırın verimi %69,35'ya ulaşılmıştır.
- Haddehane tav fırınında gaz analizör geri ödeme süresi 0,5 aydır.

KAYNAKLAR

1. Terzi, Ü. K. ve Baykal, R., “Efficient and effective use of energy: a case study of tofas”, *Environmental Research, Engineering and Management*, 1 (55): 29-33 (2011).
2. Tütünoğlu, Y., Güven, A., ve Öztürk, İ. T., “Cam temperleme fırınında enerji analizi”, *III. Enerji Verimliliği Kongresi*, Kocaeli, 153-166 (2011).
3. Intergovernmental Panel on Climate Change, “Fourth assessment report, climate change 2007: Synthesis report”, *IPCC AR4*, Switzerland, 36-40 (2007).
4. International Energy Agency, “Worldwide trends in energy use and efficiency”, *Energy Indicators*, France, 16, 17 (2008).
5. Xu, C. and Cang, D., “A brief overview of low CO₂ emission technologies for iron and steel making”, *Journal of Iran and Steel Research*, 17 (3): 1-7 (2010).
6. Nogami, H., Yagi, J., Kitamura, S. and Austin, P. R., “Analysis on material and energy balances of ironmaking systems on blast furnace operations with metallic charging, top gas recycling and natural gas injection”, *ISIJ International*, 46 (12): 1759-1766 (2006).
7. Topbaş, M. A., “Endüstri Fırınları, Cilt 1”, *Yıldız Teknik Üniversitesi*, İstanbul, 1-16 (1991).
8. Ertem, G., Çelik, B. ve Yeşilyurt, S., “Endüstriyel tav fırınlarında ısı denkliği hesaplamaları ve enerji verimliliğinin belirlenmesi”, *IV. Ege Enerji Sempozyumu*, İzmir, 1-8 (2008).
9. Siitonen, S., Tuomaala, M. and Ahtila, P., “Variables affecting energy efficiency and CO₂ emissions in the steel industry”, *Energy Policy*, 38: 2477–2485 (2010).
10. Mullinger P. and Jenkins B., “Furnace control and safety” *Industrial and Process Furnaces*, 287-333 (2008).
11. Internet: U.S. Department of Energy (DOE) and The Industrial Heating Equipment Association (IHEA), “Improving Process Heating System Performance A Sourcebook for Industry” <http://www.oit.doe.gov/bestpractices/library.shtml> (2005).
12. Robert J., “Fan Engineering, 6th ed”, *Buffalo Forge Company*, New York, 278-292 (1961).

13. Kaya, D. and Eyidogan, M., “Energy conservation opportunities in an industrial boiler system”, *Journal of Energy Engineering*, 136 (1): 18-25 (2010).
14. Si, M., Thompson, S. and Calder, K., “Energy efficiency assessment by process heating assessment and survey tool (PHAST) and feasibility analysis of waste heat recovery in the reheat furnace at a steel company”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15: 2904-2908 (2011).
15. Chen, W. H., Chung, Y. C. and Liu, J. L., “Analysis on energy consumption and performance of reheating furnaces in a hot strip mill”, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 32: 695-706 (2005).
16. Karimi, H. J. and Saidi M. H., “Heat transfer and energy analysis of a pusher type reheating furnace using oxygen enhanced air for combustion”, *Journal of Iron and Steel Research, International*, 17 (4): 12-17 (2010).
17. Trinks, W., Mawhinney, M. H., Shannon, R. A., Reed, R. J. and Garvey, J. R., “Industrial Furnaces, 6th edition”, *John Wiley and Sons*, USA, 1-6 (2004).
18. Çengel, Y. A. ve Boles, M. A., “Termodinamik, Mühendislik Yaklaşımıyla, 5. Baskı”, Çeviri: Pınarbaşı, A., *Güven Bilimsel*, İzmir, 753-757, 764 (2011).
19. McAllister, S., Chen, J. and Fernandez-Pello, A. C., “Fundamentals of Combustion Processes, 1st Edition”, *Springer*, USA, 18-20 (2011).
20. Kılınç, E., “Endüstriyel fırınlarda enerji analizi ve verim artırıcı yöntemler”, Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük, 11-15 (2011).
21. İnternet: Messgeräte für Rauchgase und Umweltschutz GmbH ., “MRU”, <http://www.mru.de/biogasanalysis.aspx?detail=true&product=swg2001biogaskopie&cls=02> (2013).

ÖZGEÇMİŞ

Ahmet GÜNEY 1979 yılında Karabük’te doğdu ; ilk, orta ve lise öğrenimini aynı şehirde tamamladıktan sonra 1997 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü’nü kazandı. 2003-2004 yılları arasında askerlik görevine başladı ve 2004 yılında askerlik görevini tamamladı. 2004 – 2006 yılları arasında çeşitli özel şirketlerde çalıştıktan sonra 2006 yılında Kardemir A.Ş. Ray Profil Haddehanesinde Elektrik-Otomasyon mühendisi olarak görev aldı ve halen devam etmektedir. 2011 yılında Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı’nda yüksek lisans eğitimine başladı. Ahmet GÜNEY, evli ve 3 çocuk babasıdır.

ADRES BİLGİLERİ

Adres : Çamlık sokak Çamlık apt. 22/6 Yenişehir/ KARABÜK
Tel : 0 530 551 0 561
E-posta : aguney@kardemir.com