

**ENDÜSTRİYEL TAV FIRINLARINDA TERMAL
KAMERA VE PİROMETRE KULLANIMININ
OPTİMUM YANMA PERFORMANSINA
ETKİSİ**

**2014
YÜKSEK LİSANS TEZİ
ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ**

Eşref YILMAZ

**ENDÜSTRİYEL TAV FIRINLARINDA TERMAL KAMERA VE
PİROMETRE KULLANIMININ OPTİMUM YANMA
PERFORMANSINA ETKİSİ**

Eşref YILMAZ

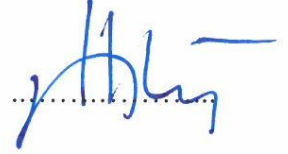
**Karabük Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalında
Yüksek Lisans Tezi
Olarak Hazırlanmıştır**

**KARABÜK
Ocak 2014**

Eşref YILMAZ tarafından hazırlanan “ENDÜSTRİYEL TAV FIRINLARINDA TERMAL KAMERA VE PİROMETRE KULLANIMININ OPTİMUM YANMA PERFORMANSINA 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)

İmzası

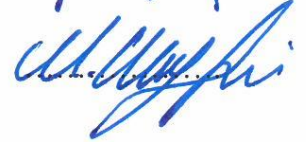
Başkan : Doç.Dr.Kurtuluş BORAN (GÜ)



Üye : Doç.Dr.Mehmet ÖZKAYMAK (KBÜ)



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



...../...../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.”

Eşref YILMAZ

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

ENDÜSTRİYEL TAV FIRINLARINDA TERMAL KAMERA VE PİROMETRE KULLANIMININ OPTİMUM YANMA PERFORMANSINA ETKİSİ

Eşref YILMAZ

Karabük Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı:

Doç. Dr. Mehmet ÖZKAYMAK

Ocak 2014, 49 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 termal kamera ve pirometre kullanımına bağlı olarak optimum yanma çalışması yapılmıştır. Bu amaçla, haddehane tav fırınında tavlama veriminin kontrolü, alev boyunun ve renginin tespiti ve homojen tavlama kontrolü yapılabilmesi için fırının uygun yerlerine 4 adet termal kamera ve 4 adet pirometre monte edilmiştir. Yapılan çalışmada tav fırınında gözlemler yapılmış, yapılan gözlemlerden elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir. Termal kamera ve pirometreden elde edilen bilgiler sayesinde yapılan değişikliklerin üretime sağladığı katkılar hesaplanmış ve geri ödeme süreleri ile birlikte incelenmiştir. Yapılabilecek yedek parça ve üretim tasarrufu yıllık 364 460 \$, geri

ödeme süresi 3 ay olarak belirlenmiştir. Sıcaklığın yüksek olması sebebiyle kontroller sırasında oluşabilecek kaza riski de azaltılarak İSG (İş Sağlığı ve Güvenliği) açısından çalışanların daha güvenli çalışması sağlanmıştır.

Anahtar Sözcükler : Endüstriyel fırınlar, üretim verimliliği, termal kamera, pirometre, iş sağlığı ve güvenliği.

Bilim Kodu : 914.1.038

TEŞEKKÜR

Tez çalışmama verdikleri desteklerden dolayı danışmanım Doç. Dr. Mehmet ÖZKAYMAK' a, ölçümler esnasındaki yardımlarından dolayı KARDEMİR A.Ő. Ray Profil Haddehanesindeki alışma arkadaşlarıma, tezime verdikleri her türlü maddi ve manevi destekten dolayı başta Haddehaneler Müdürü Sn. İbrahim TOZLU' ya, Sn. Semih DOĞAN' a, Sn. Ümit UZUN' a, Sn. Hüseyin ÇITIR' a, Sn. Osman KALAYCIOĞLU' na, Sn. Tünay ODABAŐ' a, Sn. Ergin GÜNEY' e ve Karabük Üniversitesi Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü'nden Arő. Gör. Selçuk SELİMLİ' ye, Makine Mühendisliği Bölümü'nden Arő. Gör. Enes KILINÇ' a ayrıca her zaman manevi desteklerini hissettiğim sevgili Eőim' e ve sevgili oğlum Tarık' a teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL.....	ii
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ	x
ÇİZELGELER DİZİNİ	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xii
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2	7
LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	7
BÖLÜM 3	10
ENDÜSTRİYEL TAV FIRINLARINDA TERMAL KAMERA VE PİROMETRE KULLANIMININ OPTİMUM YANMA VERİMLİLİĞİNE ETKİSİ.....	10
3.1. TERMAL KAMERA VE KULLANIM ALANLARI.....	10
3.1.1. Termal Kamera Yapıları	11
3.1.1.1. Optik Mekanik Birimler.....	11
3.1.1.2. Dedektör ve Soğutucu Birimi	12
3.1.1.3. Elektronik Sinyal İşleme Birimi	12
3.1.1.4. Termal Kameralarda Çözünürlük	13
3.1.1.5. Termal Kameralarda Sıcaklık	14
3.1.2. Termal Kamera Uygulamaları	15
3.1.2.1. Elektrikle İlgili Uygulamalar	15
3.1.2.2. Elektromekanik ve Mekanik Uygulamalar	16

	<u>Sayfa</u>
3.1.2.3. Süreç Uygulamaları	17
3.1.2.4. Bina Tanılaması	17
3.1.2.5. Sağlık Uygulamaları	18
3.1.2.6. Savunma Uygulamaları.....	18
3.1.2.7. Endüstriyel Fırın Uygulamaları	19
3.2. SICAKLIK ÖLÇÜMÜ VE PİROMETRELER	21
3.2.1. Sıcaklık Ölçümünün Önemi ve Gereği.....	21
3.2.2. Pirometreler	22
3.2.2.1. Isı Elektriksel Pirometreler	22
3.2.2.2. Lambalı (Optik) Pirometreler	24
3.2.2.3. Işınmalı (Isı Radyasyonlu) Pirometreler	26
3.3. ENDÜSTRİYEL TAV FIRINLARINDA TERMAL KAMERA VE PİROMETRE KULLANIMININ AMACI.....	28
BÖLÜM 4	32
YÖNTEM, ÖLÇÜM VE HESAPLAMALAR	32
4.1. TERMAL KAMERA VE PİROMETRENİN ÜRETİME ETKİSİ.....	32
4.2. ÖLÇÜM YÖNTEMİ VE ÖLÇÜM CİHAZLARI.....	33
4.2.1. Haddehane Tav Fırını Ölçüm Sonuçları	36
4.2.2. Termal Kamera ve Pirometre Kullanılarak Optimum Yanma Sağlanmasının Üretime Katkısının Hesaplanması	39
4.2.3. Termal Kamera ve Pirometre Kullanılarak Optimum Yanma Sağlanmasının Merdane Ömrüne Katkısının Hesaplanması	40
4.2.4. Termal Kamera ve Pirometre Kullanılarak Optimum Yanma Sağlanmasının Tufal Kayıplarına Etkisinin Hesaplanması.....	43
4.2.5. Haddehane Fırınında Termal Kamera ve Pirometre Yatırımı Geri Ödeme Süreleri.....	45
BÖLÜM 5	46
SONUÇ VE ÖNERİLER.....	46
KAYNAKLAR	47
ÖZGEÇMİŞ	49

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 1.1. Dünyada enerji üretimi.	1
Şekil 1.2. Dünya enerji tüketimi.	2
Şekil 1.3. Dünya enerji üretim ve tüketim değerleri.	2
Şekil 1.4. İnsan kaynaklı global sera gazı emisyonları.	3
Şekil 1.5. Küresel enerji tüketimi ve sektörlere göre dağılımı.	4
Şekil 1.6. Endüstriyel bir tav fırını.	5
Şekil 3.1. Termal kamera.	19
Şekil 3.2. Termal kameranın montaj şeması.	20
Şekil 3.3. Termal kamera uygulaması.	21
Şekil 3.4. Termokupol uçlarının birleştirilme şekillerine örnekler.	23
Şekil 3.5. Değişik termokupol elemanlarına ait değerler.	23
Şekil 3.6. Basit bir termokupol (termoeleman-ısı çift) devresi.	24
Şekil 3.7. Lambalı pirometrenin basit prensip şeması.	25
Şekil 3.8. Lambalı pirometre.	25
Şekil 3.9. Işınmalı pirometrenin basit prensip şeması.	26
Şekil 3.10. Dijital göstergeli ışınmalı pirometreler.	27
Şekil 3.11. Işınmalı pirometreler.	27
Şekil 3.12. Termal kamera görüntülemeleri.	28
Şekil 3.13. Işınmalı pirometre endüstriyel uygulamaları.	29
Şekil 3.14. Haddeleme prosesi 1.	30
Şekil 3.15. Haddeleme prosesi 2.	30
Şekil 3.16. Kırılan merdaneler.	31
Şekil 3.17. Aşınan merdaneler.	31
Şekil 4.1. Fırın scada ekranı 1.	32
Şekil 4.2. Enerji kütle denkliği.	33
Şekil 4.3. Tav fırını çalışma ve ölçüm sisteminin şematik gösterimi.	34
Şekil 4.4. Fırın scada 2.	35
Şekil 4.5. Fırın scada ekranı 3.	36

ÇİZELGELER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 4.1. Haddehane tav fırınında kullanılan yakıt debileri.	37
Çizelge 4.2. Kok gazı analiz değerleri.	37
Çizelge 4.3. Yüksek fırın gazı analiz değerleri.	37
Çizelge 4.4. Haddehane tav fırını kok gazı yanma ürünleri ve egzoz gazı bileşimi.	38
Çizelge 4.5. Haddehane tav fırını yüksek fırın gazı yanma ürünleri ve egzoz gazı bileşimi.	38
Çizelge 4.6. Haddehane tav fırını egzoz gazı debisi, yakma havası debisi, fazla hava debisi ve hava fazlalık katsayısı.	39
Çizelge 4.7. Haddehane tav fırınında tufal kaybının azaltılması ile yapılacak tasarruf miktarı.	44
Çizelge 4.8. Haddehane tav fırını toplam tasarruf miktarı.	44
Çizelge 4.9. Haddehane tav fırınında yapılacak tasarruflar için yatırım miktarı ve geri ödeme süreleri.	45

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

CH ₄	: metan
C ₂ H ₂	: asetilen
C ₂ H ₄	: etilen
C ₂ H ₆	: etan
d	: dakika
ε	: radyasyon ısı kayıp katsayısı
E	: enerji
t	: ton
H	: alt ısı değer
MTEP	: milyon ton eşdeğer petrol
mmH ₂ O	: milimetre su sütunu
m ²	: metrekare
Nm ³	: normal metre küp
N ₂	: azot
O ₂	: oksijen
SO ₂	: kükürt dioksit
T	: sıcaklık
TEP	: ton eşdeğer petrol
η	: verim
°C	: derece santigrat
%FH	: fazla hava yüzdesi
Δt	: sıcaklık değişimi

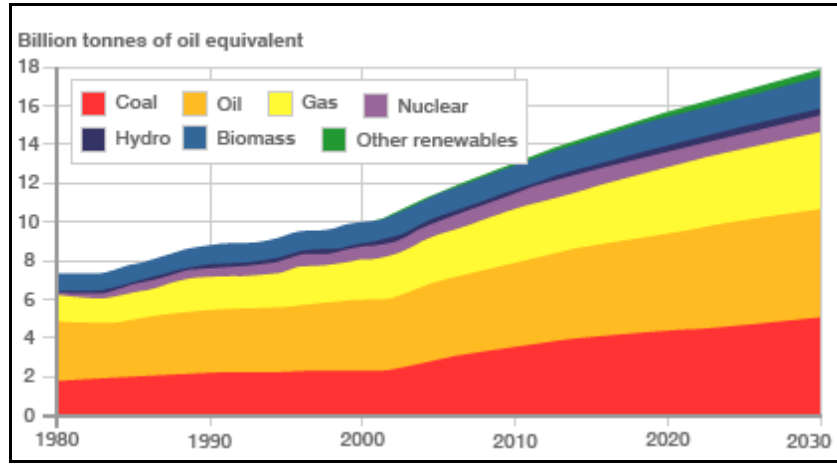
KISALTMALAR

AID	: Alt Isıl Değer
DCS	: Distributed Control System
EIA	: Energy Information and Administration
HMI	: Human Machine Interface
IEA	: International Energy Agency
IISI	: International Iron and Steel Institute
IPCC	: Intergovernmental Panel on Climate Change
ISG	: İş Sağlığı ve Güvenliği
ob	: orijinal baz
OHSAS	: Occupational Health and Safety Management System
PLC	: Programmable Logic Controller
TL	: Türk Lirası
USD	: Amerikan Doları
ÜID	: Üst Isıl Değer
vb	: ve benzeri
vd	: ve diğerleri
vs	: ve saire
YF	: Yüksek Fırın
YFG	: Yüksek Fırın Gazı
BD1	: Break Down 1
BD2	: Break Down 2
UR	: Universal Roughing
E	: Edger
UF	: Universal Finishing

BÖLÜM 1

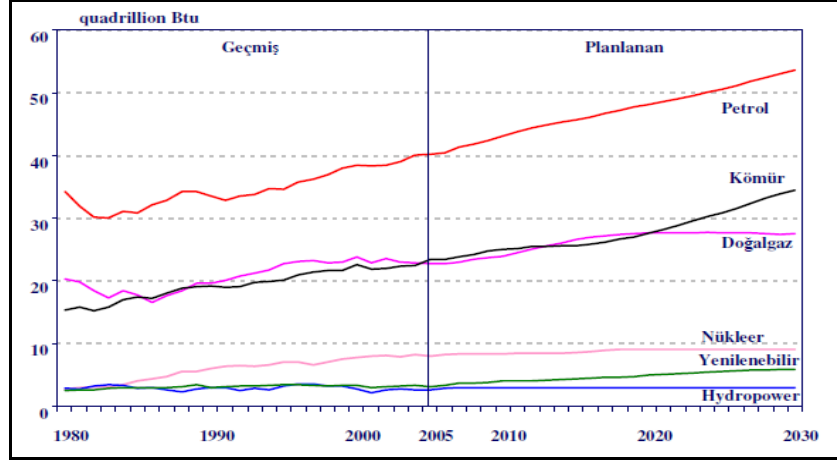
GİRİŞ

Enerji, insanların temel ihtiyaçlarının karşılanması ve hayat standartlarının yükseltilmesinde en önemli derecede bir gereksinimdir. Dünya enerji ihtiyacının büyük bir bölümünü fosil yakıtlar karşılamaktadır ve 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 dünya enerji üretiminin dağılımı görülmektedir.



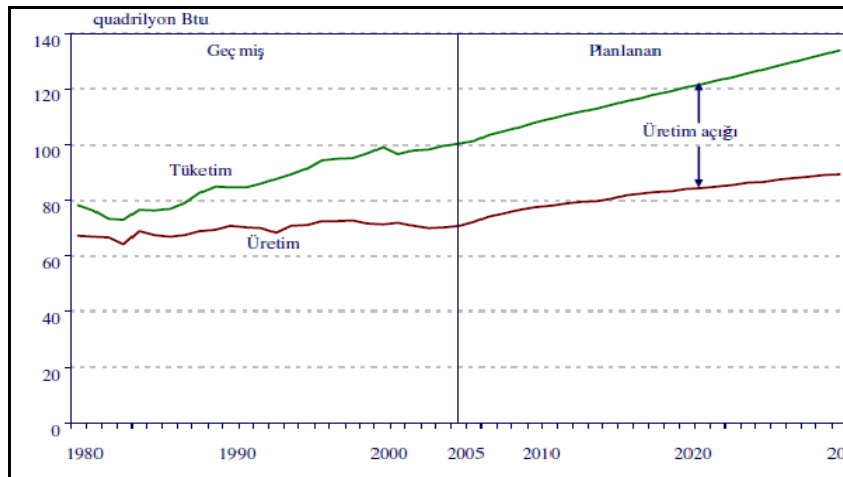
Şekil 1.1. Dünyada enerji üretimi.

Dünyanın enerji tüketimi son yirmi yıl içerisinde beklenenden % 57 daha fazla artmıştır. Şekil 1.2' de dünyada hızla büyüyen küresel enerji ihtiyacına ilişkin bilgiler verilmiştir. Burada geçmiş otuz yılın tüketim bilgileri ve gelecek yirmi yılın tahmin edilen tüketim değerleri verilmiştir. Burada açıkça görülmektedir ki dünya enerji ihtiyacının büyük bir kısmı (yaklaşık % 86) fosil yakıtlardan elde edilmektedir.



Şekil 1.2. Dünya enerji tüketimi.

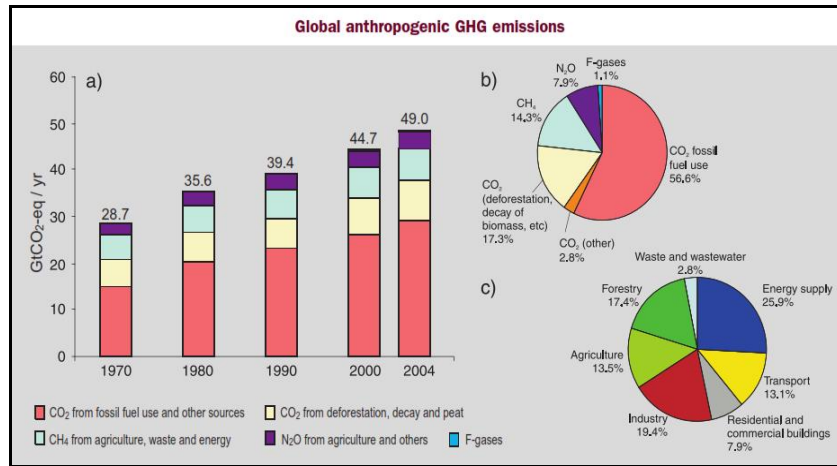
Gelecekte ülkelerin ve küresel ekonomilerin hızla büyüebilmesi için ülkelerin enerji ihtiyaçlarının ve tüketimlerinin de aynı hızda büyümesi gerektiği bilinen bir gerçektir. Fosil yakıtlar dünyanın her bölgesinde bulunmamakla birlikte yakıtların çıkarıldıkları bölgelerdeki siyasi ve ekonomik sıkıntılar 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' te verilmiştir.



Şekil 1.3. Dünya enerji üretim ve tüketim değerleri.

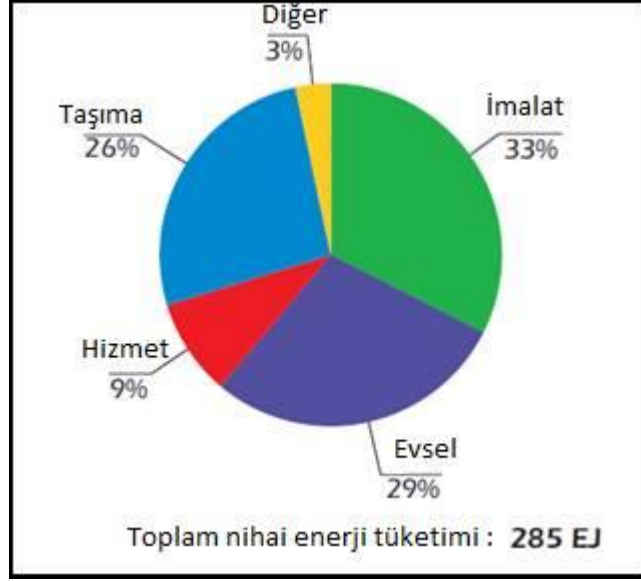
Eğriden de görüldüğü gibi gelecek 20-30 yıl süresinde dünyanın ürettiği enerji talep edilen ve tüketilen enerji miktarını karşılamayacaktır. Ortaya çıkan enerji açığını azaltmak için ya enerji kullanımında kısıtlamalara gidilmeli veya alternatif enerji kaynakları üzerindeki çalışmalar daha da arttırılarak 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' te görüldüğü gibi CO₂, 2004 yılındaki 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.

1990 ve 2005 yılları arasında küresel boyutta toplam enerji tüketimi % 23 oranında artmıştır. Şekil 1.5' de küresel enerji tüketiminin sektörlere göre dağılımı gösterilmiştir. 2005 yılında imalat sanayi % 33'lük pay ile 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 kullanımı başlıkları önemli rol oynamaktadır. Yaşam kalitesinden ve üretimden ödün verilmeden enerji verimliliği ile enerji tasarrufu yapılabilmektedir. Jollands ve arkadaşları, tasarruf edilen enerjiyi dönüştürülebilen, ucuz, yerli ve temiz bir enerji kaynağı olarak tanımlamışlardır [1].

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-elik sekt6ründe 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-elik sektörü ile çalışmaya davet etmiştir [7].

Endüstriyel işletmeler açısından bakıldığında, verimliliği arttırıcı çalışmalar yakıttan tasarruf sağlamakla birlikte kaynakların verimli kullanımına ve evre kirliliğinin azaltılmasına önemli ölçüde katkıda bulunurlar. Enerji verimliliğinin arttırılması, ısıl kayıpların 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 eliklerin 1050-1300 °C sıcaklık aralığında ısıtılmasında kullanılan ve sürekli çalışan fırınlardır [7]. Sanayide kullanılan endüstriyel bir tav fırını şekil 1.6’ da 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 için gerekli hammadde ve enerjinin beslenmesi gerekir [2].

Fırınlar, 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 ARAŞTIRMASI

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].

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 ensturuman kullanılması gerektiğini göstermişlerdir [9].

Ertem vd. yaptıkları çalışmada Ereğli Demir ve Çelik Fabrikaları'nın 3 nolu yassı kütük fırınında kullanılan özgül enerjinin iyileştirilmesi potansiyelini incelemişlerdir. Prosesteki kayıp enerjinin hesaplanması için bir enerji giriş ve çıkış modeli oluşturmuşlar ve yassı kütük fırınının enerji verimliliğini %64,26 olarak hesaplamışlardır. Yapılan çalışmada enerji tasarrufu için iki seçenek belirlenmiştir. Bunlardan birincisi fırına şarj edilen kütüklerin sıcak şarj edilmesi, ikincisi ise reküperatörden sonra atılan baca gazı ısısının geri kazanılmasıdır. Baca gazının enerji potansiyelini 81.590 kcal/TEP olarak hesaplamışlardır [14].

Ignatiev vd. yaptıkları çalışmada malzemelerin sıcaklıklarının gerçek zamanlı gösterilebilmesi için pirometre kullanımının önemini ortaya koymuşlardır. Bu

çalışma sonucu yüzey sıcaklık ölçümleri için pirometrelerin yeterli hassasiyette oldukları sonucuna ulaşmışlardır [15].

Bertrand vd. yaptıkları çalışmada termal plasma uygulamalarında pirometrelerin kullanılabilirliğini göstermişlerdir. Bu çalışmalarda pirometrelerin çok hassas bir şekilde sıcaklık değişimlerini tesbit ettiği görülmüştür [16].

Jamalabadi yaptığı çalışmada infrared kameraların termal yüklerinin deneysel hesaplamalarını yapmışlardır. Karbon-Çelik ince plaka ısı kaynağının üzerine yatay olarak yerleştirilir. Plakanın sıcaklık dağılımı Infrared kamera kullanılarak ölçülür. Bu ölçümlerde Rayleigh sayısı, ısı kaynaklarının sayısı, plaka incelik oranı ve yüzük emüsyonu gibi parametrelerin etkili olduğu görülmüştür [17].

Ignatiev vd. yaptıkları çalışmada lazer uygulamaları içerisinde sıcaklığın gerçek zamanlı gösterimi için iki boyutlu pirometrelerin kullanılabilir olduğunu göstermişlerdir. Yüzey sıcaklık dağılımını kaydetmek esnasında lazer malzeme prosesini realize etmek çok zordur. Bunun sebebi sıcaklık zonlarındaki küçük ebatlardır. Sıcaklık alanları milisaniyeler mertebesi içerisinde lazer hareketinin tetiklenmesi esnasında ölçülür [18].

Shimoda vd. yaptıkları çalışmada yanma alevinin proses tekniği kullanılarak kömür yanmalı boylerler için yanmayan karbonun ön bildirim metodu üzerinde çalışmalar yapmışlardır. Bu metod bir fırın modeli ve bir proses ünitesi içerir. Yanma alevinin sıcaklık dağılımları önceki ilk ünite arasından sağlanabilir. Sonuçlar karbon azalımının dinamiklerini, kullanılan kömür oranının fırın çıkışını, hava çıkış oranını, kömürün kimyasal ve küsel doygunluğunu hesaplar [19].

Baek vd. yaptıkları çalışmada termal güç tesislerinin optimum kömür tutuşması için alev prosesi ve analizi üzerinde çalışmalar yapmışlardır. Bu çalışmada termal kameralar kullanılarak alev yakalama ve yanma şartları arasındaki elde edilen doğruluk için deneysel bir çalışmaya rehberlik etmişlerdir [20].

Brisley vd. yaptıkları çalışmada tek renkli CCD kamera yanma alevinin üç boyutlu sıcaklık ölçümü üzerine çalışma yapmışlardır. İmaj proses tekniğinin ve çift renkli radyasyon termometresinin kombinasyonu, alevin gri skalalı gösterimini yeniden inşa etmekte kullanılır ve daha sonra onun ısı dağılımını hesaplamakta kullanılır [21].

Schönbohm vd. yaptıkları çalışmada yarı katı durumdaki çelik kütüklerin yeniden ısıtılması üzerine çalışmalar yapmışlardır. Bu işlem esnasında sıcaklık değişimleri için pirometre ölçümlerinden yararlanılmıştır [22].

Bu çalışmada ise bir sanayi kuruluşunun haddehane tav fırınında termal kamera ve pirometre kullanarak optimum yanma sağlanmasına ve de dolayısıyla üretim artışı ile ekipman tasarrufuna yönelik çalışmalar yapılmış, çalışma sonuçları kuruluş verileri ile kıyaslanmak suretiyle, verimlilik artışı boyutu geri ödeme süreleriyle birlikte belirlenmiştir.

BÖLÜM 3

ENDÜSTRİYEL TAV FIRINLARINDA TERMAL KAMERA VE PİROMETRE KULLANIMININ OPTİMUM YANMA 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 [11].

Fırınlarda gözlem deliklerinden, açık kalan kapı aralıklarından, ateşleme deliklerinden ve benzer aralıklardan radyasyonla ısı kaybı olur. Ayrıca şarj vedeşarj kapaklarının açılıp kapanması sırasında da önemli ölçüde ısı kaybedilir. Bu durumda sıcak gazlar dışarı çıkarken soğuk hava fırın içerisine girer. Soğuk havanın içeri girmesinden kaynaklanan ısı kaybı sıcak gazınkinden daha fazladır [11].

3.1. TERMAL KAMERA VE KULLANIM ALANLARI

Termal kamera, çeşitli sektörlerde kullanılan, alanların ya da parçaların normalin üzerindeki sıcaklıklarını ya da soğukluklarını ölçebilen çok pahalı tanı cihazıdır. Bu cihazla normalde çıplak gözle göremeyeceğiniz sorunları tespit edebilirsiniz. Bu cihazlar objelerden yayılan termal enerjiyi ölçmeye yarayan lenslerden ve algılayıcılardan oluşur. Termal kamera, kızılötesi dalga boyu spektrumunda, ekipmanla doğrudan temas gerçekleştirmeksizin sıcaklık modellerini algılayan bir cihazdır. Görüntüleme yöntemi olarak gözle görülmeyen IR enerjiyi (ısıyı) esas alan ve görüntünün genel yapısını IR enerjiye göre oluşmuş renkler ve şekillerin belirlendiği görüntüleme sistemidir. Termal kameralar çıplak gözle tespit edilmeyen, ancak ciddi sonuçlara yol açabilen küçük problemleri net olarak görmemizi sağlar.

Termal kamerayla çekilen ısı fotoğrafları çok sıcak noktaları açık renkle, soğuk noktaları ise koyu renkle göstererek problemin kaynağını kolayca bulmada yardımcı olur. Termal kameralar ortamın durumunu siyah - beyaz veya renkli gösterirler. Renkli olarak gösterdiği durumlarda ortam sıcaklığına göre maviden sarıya kırmızı rengi kullanarak geçer. Mavi en soğuk, sarı ise en sıcak bölgeleri gösterir.

3.1.1. Termal Kamera Yapıları

Termal kameralar optik mekanik birimlerden, dedektör soğutucu birimlerinden ve sinyal işleme birimlerinden oluşurlar.

3.1.1.1. Optik Mekanik Birimler

Tipik termal kameralar merceği, mercek muhafazasını, ekranı, dedektör ve işleme elektronik cihazlarını, kumanda araçlarını, veri depolama cihazlarını, veri işleme ve rapor oluşturma yazılımını içeren çok sayıda ortak bileşenden oluşur. Bu bileşenler termal görüntüleme sisteminin tip ve modeline bağlı olarak değişiklik gösterebilir. Termal kameraların en az bir merceği vardır. Görüntüleyici bir mercek kızılötesi ışınımı alır ve bunu kızılötesi bir dedektör üzerine odaklar. Dedektör cevap verir ve elektronik bir görüntü oluşturur. Termal bir kameranın üzerindeki mercek, gelen kızılötesi ışınımı dedektör üzerine toplamak ve odaklamak için kullanılır. Çoğu uzun dalga boylu termal görüntüleyicinin mercekleri germanyumdan (Ge) yapılmıştır. İnce yansıma önleyici astar tabakaları, merceklerin geçirimini artırır. Termal bir kameranın üzerine konumlandırılmış sıvı kristal görüntülü (LCD) inceleme ekranı üzerinde, termal bir görüntü açığa çıkarılır. Çeşitli saha konumlarında karşı karşıya kalınan farklı aydınlatma koşulları altında kolayca incelenebilmesi için LCD inceleme ekranı, yeterince geniş ve parlak olmalıdır. Bir görüntü sık sık batarya şarjı, tarih, saat, hedef sıcaklığı görülebilir ışıklı görüntü ve sıcaklığa ilişkin bir renk spektrumu anahtarı gibi bilgilerde sağlayacaktır. Dedektör ve işleme elektronik cihazları, kızılötesi enerjiyi işleyerek kullanılabilir bilgiye dönüştürmek için kullanılır. Hedeften gelen termal ışınım, genellikle elektronik yarıiletken bir malzeme olan dedektör üzerine odaklandırılır. Termal ışınım, detektörden gelen ölçülebilir bir tepki üretir. Bu tepki, termal görüntüleyicinin gösterme ekranında

termal bir görüntü oluşturmak üzere, termal görüntüleyici içinde elektronik olarak işlenir. Ekran üzerindeki termal bir görüntüyü düzeltmek için kumanda araçları ile çeşitli elektronik ayarlamalar yapılabilir. Sıcaklık aralığı, termal ölçüm menzili ve seviye, renk paletleri ve görüntü birleştirme gibi değişkenlere elektronik ayarlamalar yapılabilir. Ayarlamalar aynı zamanda yayma kuvvetine ve yansıtılan arka plan sıcaklığını da yapılabilir. Termal görüntüleri ve ilişkin verileri içeren elektronik dijital dosyalar, farklı tiplerde elektronik hafıza kartları veya depolama ve transfer cihazlarında depolanır. Pek çok kızılötesi görüntüleme sistemi tümleşik, görülebilir ışıklı bir kamera ile elde edilmiş bir görsel imajın yanında tamamlayıcı ses veya metin verilerinin depolanmasına da izin verir.

3.1.1.2. Dedektör ve Soğutucu Birim

Normal kameralar görüntüyü ışık sayesinde oluştururken termal kameralar görüntüyü ısı sayesinde oluştururlar. Benzer şekilde insan beyni ve gözü görüntüyü oluşturmada renkleri ve ışığı kullanırken renk farklılıkları önemlidir. Beyaz bir duvar önünde bulunan beyaz bir objenin fark edilmesi son derece zor olduğu gibi ortam sıcaklığına eşit bir sıcaklıktaki bir objenin termal kamera ile görüntülenmesi de son derece zordur. Bu tür kameralarda kullanılan dedektörler çok küçük sıcaklık farklarını yakalayabilen (0.01 °C gibi) ve bu farklılıktan görüntü oluşturabilen özelliklerdedir. Ayrıca görüntü oluşturabildikleri belli bir sıcaklık aralığına sahiptirler. Her sıcaklık değerinde farklı IR yayımları olduğu ve her IR yayılımının farklı dalga boyuna sahip olmasından dolayı da bu dedektörler belli sıcaklık aralıklarında görüntü verebilirler.

3.1.1.3. Elektronik Sinyal İşleme Birimi

Termal kamerayı diğer görüntüleme cihazlarından ayıran en büyük özelliklerinden biriside sahip olduğu analiz yazılımlarıdır. Analiz yazılımı sayesinde bilgisayar ortamında çekimi yapılan objelere ait problemlerin tespiti yapılabilir. Ortama göre farklılıkları veya eşdeğer noktaların birbirlerine göre farklılıkları tespit edilebilir. Bunlar belli formatlarda raporlar haline getirilerek bakım ekibi tarafından anlaşılır raporlar haline çevrilebilir. Analiz sırasında çekimi yapılan materyalin tipinin ne olduğu doğru girilir ise sonuçlar son derece hassas bir şekilde alınabilir. Bacada

kullanılan topraktan imal edilmiş bir tuğla ile paslı bir metal gövdenin veya parlak bakır bir elektrik sistemi barasının infrared yayılımları bir olmadığı için çekimi yapılan materyalin yayılım oranı doğru girilmelidir. Her materyalin infrared yayılımını bilmemiz bazen mümkün olmayabilir. Bu durumda analiz yazılımı sayesinde doğada bulunan hemen hemen tüm materyal tiplerinin infraed yayılımları bulunabilir. Objelerin kızılötesi spektrumda ışınma oranı yani ısı yayım katsayısına emissivity denir. Her obje farklı ısı yayım oranına sahiptir. Bu değer 0.0 iletimsiz, 1.0 iletimli arasında değerlendirilmektedir. Siyah bir nesnenin emissivity değeri 1.0' dır. Diğer bütün nesnelere için ise emissivity değeri 1.0' ın altındadır [10].

3.1.1.4. Termal Kameralarda Çözünürlük

Modern termal kameraların görüntüleri ve kullanımları normal kameralarla benzerlikler taşımaktadır. Normal kameralarda kullanılan CCD ve CMOS imaj sensörleri görünebilir ışıkları alabilecek şekilde tasarlanmışlardır, infrared ışığa karşı duyarlı değildirler. Bu yüzden birçok termal görüntüleme kamerası özellikle bu iş için üretilmiş focal plane arrays (FPA) imaj sensörler kullanmaktadırlar. FPA'lar daha uzun dalga boylarına cevap verebilmektedirler. Termal kameralarda yapısal farklılıkları olmasına rağmen sonuçta normal kameralar gibi görüntü oluşturdıkları için oluşturulan görüntünün çözünürlüğü analiz açısından önemlidir. Teknolojinin gelişimi ile beraber 160x120 piksel çözünürlükte görüntü oluşturabilenlerin yanı sıra 320x240 piksel boyutta görüntü oluşturabilen kameralar pazarda yer almaktadır. Termal kamera konusunda 1950'den bu yana yapılan çalışmalar da 640x480 çözünürlüklü kameraların üretimine ulaşılmıştır. 640x480 pixel çözünürlük şuan en iyi termal kamera çözünürlüğüdür. $640 \times 480 = 307\ 200$ piksel ile daha uzaktan daha fazla detay görmeyi sağlar. Çözünürlükleri normal optik kameralardan düşüktür.

En sık kullanılan çözünürlük değerleri;

160×120

320×240

640×512' dir.

Çözünürlük arttıkça maliyet oldukça artmaktadır. Termografik kameralar görünür spektrumu gösteren kameralara göre oldukça pahalıdır ve en son modelleri genellikle ithalat sınırlamalıdır. Eski nesil ışınmölçerler (Bolometre) veya daha duyarlı modeller (InSb gibi) kriyojenik soğutma isteyebilmektedirler. Bu işlem minyatür stirling döngülü buzdolapları veya sıvı nitrojen ile yapılabilmektedir.

3.1.1.5. Termal Kameralarda Sıcaklık

Termal kameralar görüntü oluşturabildikleri belli bir sıcaklık aralığına sahiptirler. Her sıcaklık değerinde farklı IR yayılımlar olduğu ve her IR yayılımının farklı dalga boyuna sahip olmasından dolayı da bu objektifler belli sıcaklık aralıklarında görüntü verebilirler. Bu kameralarda kullanılan objektifler çok küçük sıcaklık farklarını yakalayabilen (0.01 °C gibi) ve bu farklılıktan görüntü oluşturabilen özelliklerdedir. Isıl kızılötesi görüntüleyiciler kızılötesi dalga boyundaki enerjiyi görünür ışık video ekranına dönüştürürler. 0° Kelvin'in üzerindeki tüm cisimler ısıl kızılötesi enerji yayarlar bu yüzden pasif olarak tüm objeleri ortam ışığından bağımsız olarak görebilirler. Bununla beraber, birçok ısıl görüntüleyici sadece -50°C' den daha sıcak cisimleri görebilirler. Isıl ışınımın spektrumu ve miktarı cismin yüzey sıcaklığına güçlü şekilde bağlıdır. Buda bir ısıl kameranın bir cismin yüzey sıcaklığını görüntülemesini mümkün kılar. Bununla birlikte, diğer etkiler, bu tekniğin doğruluğunu kısıtlayan ışınımı etkiler. Örneğin ışınım sadece cismin sıcaklığına bağlı değildir, aynı zamanda cismin salım gücünün de bir fonksiyonudur. Ayrıca ışınım etraftaki cisimlerden gelir, cisimden yansır ve cismin ışınımıyla yansıyan ışınım atmosferin soğurmasından da etkilenir. Infrared ışın (IR) -273°C'nin üzerindeki her nesnenin yaydığı sıcaklığı alabilir. Infrared ışını insan gözü göremez ama termal bir kamera görebilir. Yaydıkları sıcaklığın miktarını göstermek için nesnelerin fotoğraflarını çekebilir. Bu tür resimler nesnenin sıcaklık düzeyini harita renkleriyle gösterir. Kask üzerinde kullanılmak üzere dizayn edilmiş olan termal kameralar daha yüksek sıcaklıklarda da çalışabilir. İtfaiyeciler için üretilmiş olup, yoğun dumanlı ve kapalı ortamlarda yangın kaynağına kolayca ulaşma imkanı sağlar.

3.1.2. Termal Kamera Uygulamaları

Termografi ve termal görüntüleme elektrikli ekipmanları ve süreç ekipmanlarını denetlemek, sağlık, savunma ve bina tanılamaları için kullanılabilir. Elektrikli ekipmanlar motorları, dağıtım ekipmanlarını ve trafo merkezlerini içerir. Süreç ekipmanları otomatize üretim ve montaj ekipmanlarını kapsar. Bina tanılamaları, çatıdaki rutubeti kontrol etmeyi, hava sızıntısına yönelik olarak bina yalıtımı incelemelerini ve nem algılamasını için alır. Yalıtım ise duvarların, çatıların ve döşemelerin içine yerleştirilmiş bina termal çevre kaplama malzemelerini kapsar.

3.1.2.1. Elektrikle İlgili Uygulamalar

Termal görüntüleyiciler en yaygın olarak elektrikli sistemlerin sağlamlığını incelemek için kullanılır çünkü test prosedürleri temassızdır ve çabucak uygulanabilir. Elektrikle ilgili termografi çalışmalarının çoğu benzer bileşenlerin termal imzalarını basitçe kıyaslayan şekilde niteliklidir. Termal imza, bir nesnenin dışarı verilen veya yayılan ısının zaman aralığının tek bir noktasındaki anlık bir durum görüntüsüdür. Üç fazlı elektrikli sistemlerde bu açıktır, çünkü normal koşullar altında fazlar hemen hemen her zaman kolayca anlaşılabilir termal imzalara sahiptirler. Ekipman arızalarının sık sık açık tanınabilir termal imzaları olması nedeniyle termografi özellikleri etkilidir. Dahası şayet bir şeyler gösteriyorsa gözle görülebilir denetlemenin çok az şey anlattığı yerlerde bile termal sıradışı durumlar ortaya çıkar. Termal sıradışı durum ekipmanda mevcut anormal veya şüpheli bir durumdur. Termal sıradışı durumların her zaman algılanabilir olmamasına veya ana nedenin her zaman iyi anlaşılmasına karşın, yüksek elektriksel dirençten kaynaklanan ısının tipik olarak elektriksel arızalardan önce yükü bulduğuna hiç kuşku yoktur. Elektrik iletimi sırasında akım geçişi ile direnç üzerinde enerji ısı olarak harcanır. Bu durumda elektrik iletim hatlarında özellikle kontak noktalarındaki ısı artışları o nokta için bir direnç olduğunun göstergesidir. Kabloların birleşme noktalarında, kontak noktalarında, baraların vidalarında, sigorta yuvalarında termik şalterlerin vidalarında bu korozyonlar ısınmalara sebep olurlar. Bu ısınmalar termal kamera ile gözlenerek noktasal tespitler yapılabilir. Ve yapılan bu kestirimci bakım sonrası planlı zamanlarda probleme sebep olan olumsuz durum ortadan kaldırılabilir. Normal yük

dengesiyle ilişkili olmayan meselelere bağılı biçimde bir veya daha fazla faz veya parça farklı bir sıcaklığa sahip olduğu zaman termal sıradışı bir durum mevcut olabilir. Örneğin anormal biçimde yüksek direnç bir bağlantı noktasında ısınma olarak sonuçlanır. Bununla birlikte arızalı ve bu nedenle güç verilmemiş bir durumdayken bileşenler daha soğuk görünebilir. Açık bir elektrik kutusu bir termografi uzmanını çeşitli risklere maruz bırakabilir. Elektrik çarpmasından dolayı ölüm genellikle mesele değildir çünkü termografi temas gerektirmemektedir.

3.1.2.2. Elektromekanik ve Mekanik Uygulamalar

Elektromekanik ve mekanikle ilgili denetlemeler çeşitli ekipmanları kapsar. Termal görüntülemenin motorlar, döner ekipmanlar ve buhar ayırıcılar gibi ekipmanları denetlemeye yönelik olarak paha biçilmez olduğu kanıtlanmıştır. Bu uygulamaların çoğu nitelikseldir. Mevcut termal görüntü tipik olarak daha öncekiyle kıyaslanır. Daha sonra ise ekipman durumundaki bir değişmeden ortaya çıkan her farklı durum dikkate alınır. Motorlar termal olarak incelenirler çünkü ısıyla ilişkili arızalara çok elverişlidirler. Mesela yanlış motor ayarı veya motor dengesizliği tipik olarak aşırı ısınma şeklinde sonuçlanır. Motor muhafazasının yüzey sıcaklığına bakmak yararlı olmakla birlikte bir motorun iç sıcaklıklarındaki değişmeler her zaman çok kısa bir süre içinde anlaşılabilir. Ya zaman içinde ya da benzer motorlarla kıyaslamalı olarak motorun termal görüntülerini almak faydalı olabilir. Örneğin bu tozla tıkanmış veya tek fazlı ve aşırı derecede ısınan bir motoru açığa çıkarmak için yardımcı olabilir. Denetlemeler için motor yataklarının termal imzası da kullanılabilir. Örneğin motor yatakları motordan çok daha fazla sıcaksa bu, son derece detaylı biçimde araştırılması gereken, olası bir sorunun göstergesidir. Benzer şekilde normal olarak işleyen motor bağlantıları ve mil yatakları ortam hava sıcaklığına çok yakın termal imzalar sergilemelidir. Diğer inceleme yöntemlerinin faydalı veya güvenilir olamayabileceği konveyörler gibi düşük hızlı döner ekipmanları denetlemek adına termografinin özellikle yararlı olduğu kanıtlanmıştır. Türbinler, dişli kutuları ve ısı değiştiriciler gibi daha karmaşık tipte ekipmanlar da bir termal kamera ile incelenebilir.

3.1.2.3. Süreç Uygulamaları

Termal incelemeler ısıya dirençli donanımlar olan yüksek sıcaklıklara dayanma yeteneğine sahip ekipmanları denetlemek için yaygın biçimde kullanılırlar. Örneğin bakım teknisyenleri yalıtımın durumunun uygunluğunu denetlemek veya bir arızaya neden olabilecek yüzey sıcaklıklarını hesaplamak için termal verileri kullanabilir. Dayanak noktası incelemesi normal işleme koşullarını ve iyi bir çalışma düzeninde işleyen ekipmanlardan bir referans noktası tesis etmenin amaç edinildiği incelemedir. Bir eğilim incelemesi kıyaslama amacıyla görüntüler sağlamak için bir dayanak noktası incelemesinden sonra gerçekleştirilen incelemedir. Termografi adına en yaygın uygulamalardan biri depolama tankları ve silolar gibi depolardaki katıların, sıvıların veya gazların seviyelerini tespit etmek veya bunları onaylamaktır. Tipik olarak içindeki malzeme seviyesini göstermek üzere depoların çoğu bir araçlandırmaya sahip olmakla birlikte araçlandırmanın uygun biçimde işlevlerini yerine getirmemesi nedeniyle veriler pek çok defa kesin değildir veya diğer zamanlarda veri hassastır fakat bağımsız olarak onaylanması gerekmektedir. Çoğu buhar kapalı ve vana düzgün biçimde çalışırken böyle cihazlar bir ucundan diğer ucuna kadar sıcaklık farklılıkları sergileyecektir. Tabii ki pek çok tipte buhar kapalı ve vana vardır. Ve her biri biraz farklı bir termal imzaya sahip olabilir. Bu nedenle bunları bir zaman dilimi içinde dikkatli bir biçimde incelemek ve normalde işlevlerini nasıl yerine getirdiklerini anlamak önemlidir.

3.1.2.4. Bina Tanılaması

Termal görüntüleme ikamet için ayrılmış veya ticari amaçlı bina tanılamasıyla ilgili çeşitli uygulamalar adına uzun zamandır kullanılmaktadır. Bina tanılama uygulamaları çatı nemlilik incelemelerini, enerji ve hava sızıntısına yönelik bina yalıtımı denetlemelerini ve nem algılamasını kapsar. Diğer termografi uygulamalarında olduğu gibi başarı için ısı transferi teorisi bilgilerine ve binaların nasıl inşa edildiğine ilişkin bilgilere ihtiyaç duyulur.

Çatı Nem Denetlemeleri

Termal görüntüleyiciyle gerçekleştirilen bir çatı nemi incelemesi hasarsızdır. Islak yalıtkan kuru yalıtkindan daha yüksek bir termal kapasitansa sahiptir. Örneğin sıcak ve güneşli bir günden sonra açık ve rüzgarsız bir akşam sırasında çatı çabucak soğuyabilir. Kuru yalıtkanla kıyaslandığında çatının ani soğuması ıslak yalıtkanı daha sıcak bir hale havale eder. Bir termal görüntüleyici ile çatı nem denetlemeleri hasarsızdır ve kolayca gerçekleştirilir.

Bina Yalıtımı Denetlemeleri

Termografi yalıtımın varlığını ve performansını belirlemek için idealdir. Enerji danışmanları ana müteahhitler ve ev denetmenler tarafından geniş biçimde bundan yararlanılmaktadır. Yalıtım esas olarak bina içinde hem kazanım hem de kayıp olabilen ısı transferini kontrol altına almak için kullanılır. İyi planlanmış bir termal denetleme daha az enerji kullanımını sağlar. Termal görüntüleme bir binada pencereler, saçaklar veya kötü biçimde yalıtılmış duvarlar gibi alanların civarındaki ısı kaybını kontrol etmek için kullanılabilir. Dış duvarlarda yapılması gerekli en ideal ısı yalıtım sistemi dışarıdan yapılan “ Sıvalı Dış Cephe Isı Yalıtım Sistemleri “ olan mantolama sistemidir.

3.1.2.5. Sağlık Uygulamaları

Sağlık sektöründe özellikle domuz gribi gibi yüksek ateşe sebep olan hastalıkların tespiti için kullanılmaya başlanmıştır. Tıpta iç yaralanma, iltihap ve damar tıkanıklarının tespitinde kullanılırlar.

3.1.2.6. Savunma Uygulamaları

Termal kameralar ilk olarak güvenlik amaçlı kullanılmaya başlandı ama zamanla çok çeşitli sektörlerde kullanımı giderek arttı. Özellikle ısıya güdümlü füze, gece görüş sistemleri ve benzeri askeri tekniklerin gelişmesi ile önemi artmıştır. Sınır gözetlemeleri, karargâh, askeri tesis ve karakolların korunması, kıyı-liman

gözetlemeleri, petrol platformu, boru hattı ve baraj gibi sivil tesislerin korunmasında termal kameralar sıklıkla kullanılmaya başlandı.

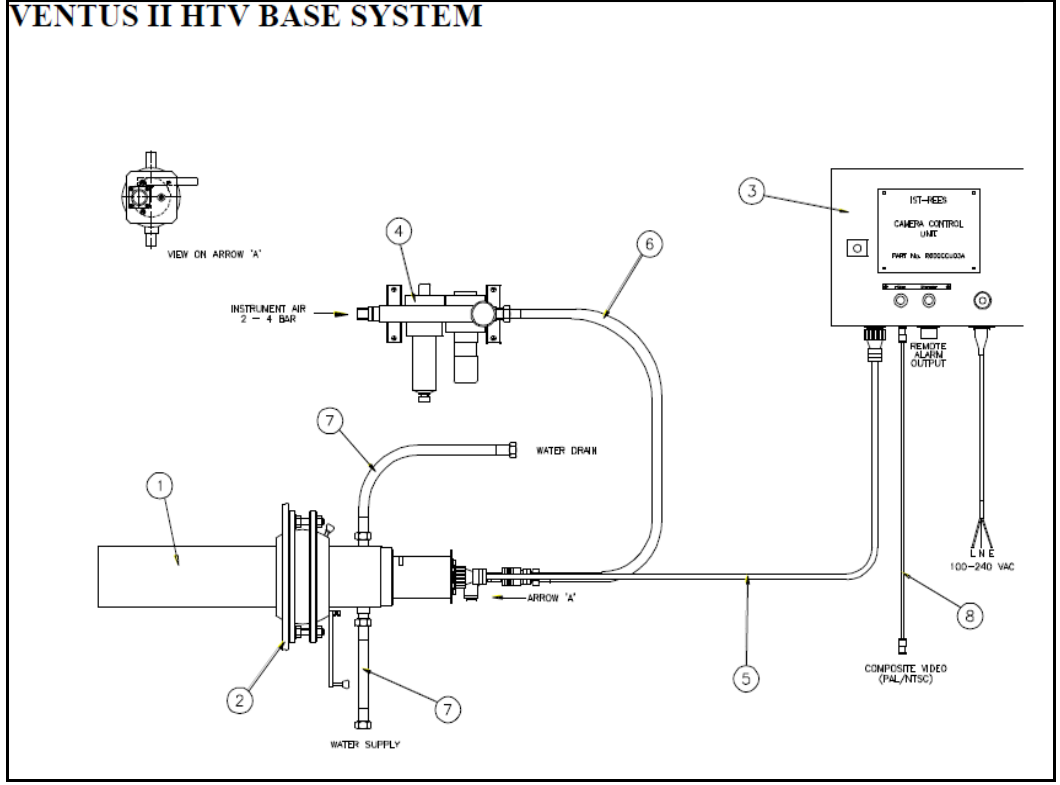
3.1.2.7. Endüstriyel Fırın Uygulamaları

Termal kameralar endüstriyel tavlama fırınlarında da kullanılmaya başlanmış ve malzemenin homojen tavlama için kameradan alınan bilgiler sonrası yapılan düzeltmeler çok faydalı sonuçlar ortaya koymuştur. Bu düzeltmeler bölgelerde hava-yakıt karışımı ile yakılan alevin boyunun ve renginin optimum seviyeye ayarlanması ile olmaktadır. Şekil 3.5' te endüstriyel tav fırınlarında kullanılan termal kamera görünmektedir.



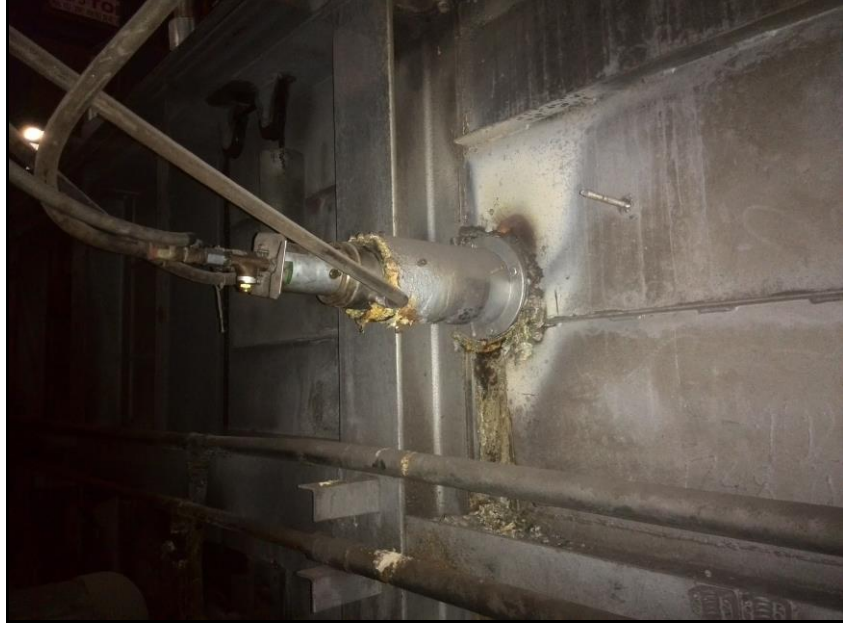
Şekil 3.1. Termal kamera.

Endüstriyel fırınlara montajı yapılacak termal kameralar özel yapılardır. Yüksek sıcaklıklara maruz kaldıkları için bir takım koruma önlemleri geliştirilmiştir. Şekil 3.6' da endüstriyel tav fırınlarında kullanılan termal kameranın montaj şeması görülmektedir.



Şekil 3.2. Termal kameranın montaj şeması.

Şekil 3.6' da da görüleceği üzere termal kamera uygulamaları fırına monte edilen kısım (1), flanş (2), kontrol paneli (3), hava filtrasyon ünitesi (4), aktarım kablosu (5), hava hortumu (6), su hortumu (7) ve görüntü aktarım kablosu (8) gibi bölümlerden oluşmaktadır. Şekil 3.7' de termal kameranın endüstriyel fırına montaj yapılmış hali görülmektedir.



Şekil 3.3. Termal kamera uygulaması.

3.2. SICAKLIK ÖLÇÜMÜ VE PİROMETRELER

Metallerin özelliklerini iyileştirmek için yapılan ısı işlem uygulamalarının başarılı olabilmesi için malzemenin en uygun sıcaklıklarda tavlması gerekir. Gerek fırın içerisinde gerek fırın dışında yapılan tavlama işlemlerinde malzeme sıcaklığının doğru bir şekilde tespit edilebilmesi için kullanılan sıcaklık ölçme araçlarının ısı işlem uygulamalarında önemi çok büyüktür.

3.2.1. Sıcaklık Ölçümünün Önemi ve Gereği

Sıcaklık ölçümleri giderek artan oranda önemli bir konu haline gelmiştir. Çok çeşitli fiziksel özellikleri etkileyen bir parametre olması nedeniyle ölçülmesi gereken önemli bir değişkendir. Özellikle ısı işlem uygulamalarında sağlıklı sonuçlar elde edebilmek için malzemenin sıcaklığının mutlaka doğru olarak ölçülmesi gerekir. Aksi takdirde istenilen özellik değişimleri meydana gelmeyebilir veya istenmeyen özellik değişimleri oluşabilir.

3.2.2. Pirometreler

Pirometreler temassız olarak sıcaklık ölçen cihazlardır. Cisimlerin sıcaklıklarını yaydıkları ısı ışınımından yararlanarak ölçerler. Mutlak sıfır sıcaklığının yukarısındaki sıcaklıkta bulunan bütün cisimler ışınım ile ısı yaydıkları gibi diğer cisimlerden de ışınım enerjisi alırlar. Isıl ışınım gerçekte sıcaklık nedeniyle cisimlerden yayılan elektromanyetik dalgadır.

İş parçasının sıcaklığını bilmek tavlama işlemi yapılırken son derece önemlidir. Çünkü bütün tavlama işlemleri belli sıcaklıklarda yapılmaktadır. İş parçasının istenilen sıcaklıklara ulaştığını bilmemiz işlemin sağlıklı sonuçlanması için gereklidir. Bu nedenlerden dolayı iş parçalarının sıcaklıklarının kontrollerinde sıcaklık ölçme araçlarına ihtiyaç vardır.

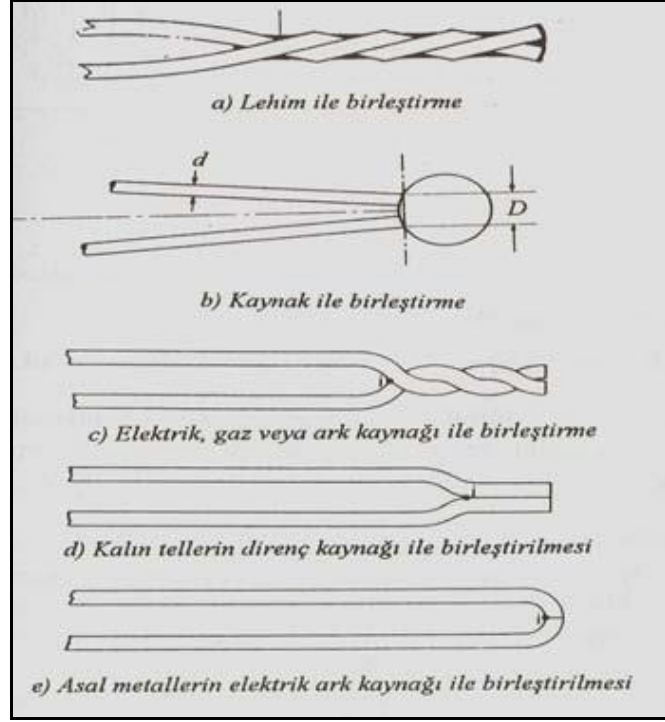
Sıcaklık ölçümünde ve kontrolünde çalışma prensipleri farklı üç çeşit pirometre kullanılır.

- Isı elektriksel pirometreler
- Lambalı(optik) pirometreler
- Işınmalı pirometreler

3.2.2.1. Isı Elektriksel Pirometreler

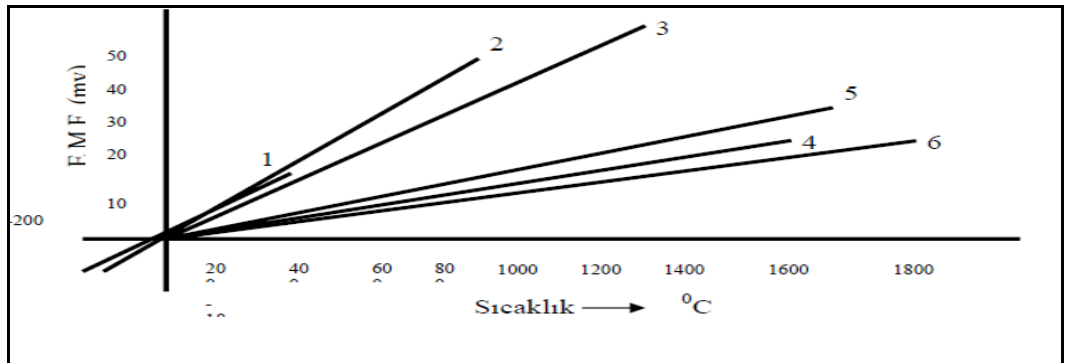
Tel halindeki iki farklı metalin başları birbirine kaynaklı olarak birleştirilir. Daha sonra kaynaklı uç ısıtılırsa serbest uçlar arasında bir termo (ısı)- elektrik akımı meydana gelir. Yapılan bu işlem sonucunda meydana gelen oluşum termokupol olarak adlandırılır.

Termokupollarla -200 °C' den 2320 °C' ye kadar ölçüm yapılabilir. Şekil 3.4' te çeşitli birleştirme şekilleri görülmektedir



Şekil 3.4. Termokupol uçlarının birleştirilme şekillerine örnekler.

Kaynak noktası sıcak nokta, diğer açık iki uç soğuk nokta (veya referans noktası) olarak anılır. Termokupol olayı sıcak nokta ile soğuk nokta arasındaki sıcaklık farkından doğar. Bu sıcaklık farkına orantılı, soğuk nokta uçlarında emf(mv) mertebesinde gerilim üretilir. Termokupolun sıcak noktası ve soğuk noktası arasındaki sıcaklık dağılımı nasıl olursa olsun üretilen gerilim, sıcak ile soğuk nokta arasındaki sıcaklık farkına orandır.

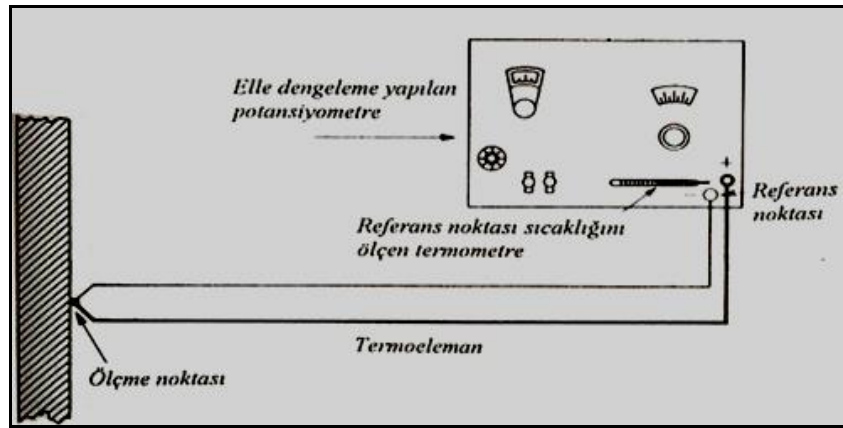


Şekil 3.5. Değişik termokupol elemanlarına ait değerler.

Dolayısı ile soğuk noktanın sıcaklığı önemlidir. Sıcak nokta aynı kalmak kaydı ile soğuk nokta sıcaklığı değiştiği takdirde farklı sıcaklıklar okunacaktır. Örneğin kaynaklı uç 100 °C lik bir ortamda 60 mili amperlik bir değişim gösteriyorsa, 200 °C sıcaklıkta 120 miliamperlik bir değişim göstermektedir. Bu özellik doğru ve hassas ölçüm için şarttır.

Doğru ölçüm yapılabilmesi için soğuk ucun 0 °C tutulabilmesi gerekmektedir. Bunun için son yıllarda 0 °C sıcaklığa sahip elektronik soğutma hücreleri kullanılmaya başlanmıştır.

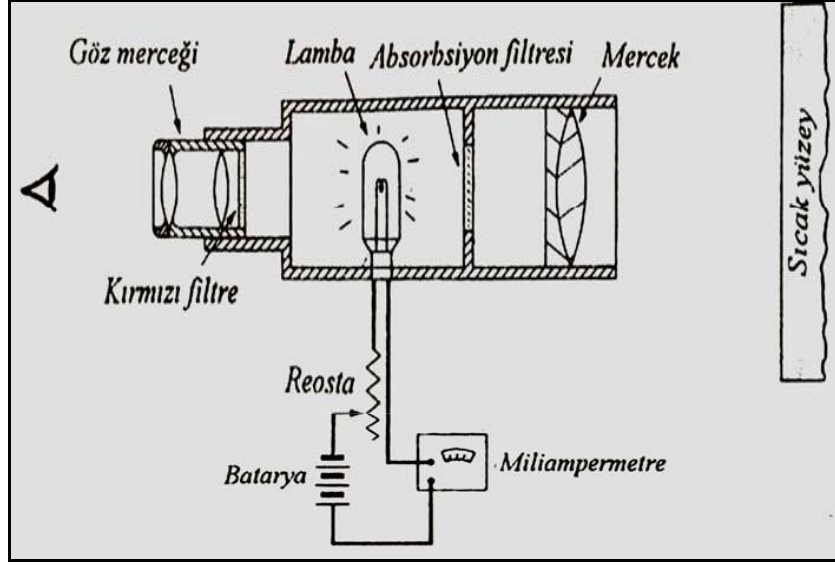
Termokupol devresinde oluşan gerilim bir galvanometre, milivoltmetre veya potansiyometre ile ölçülür. Aşağıda Şekil 3.6' da potansiyometre ile ölçme yapan basit bir termokupol devresi görülmektedir.



Şekil 3.6. Basit termokupol (termoeleman-ısıl çift) devresi.

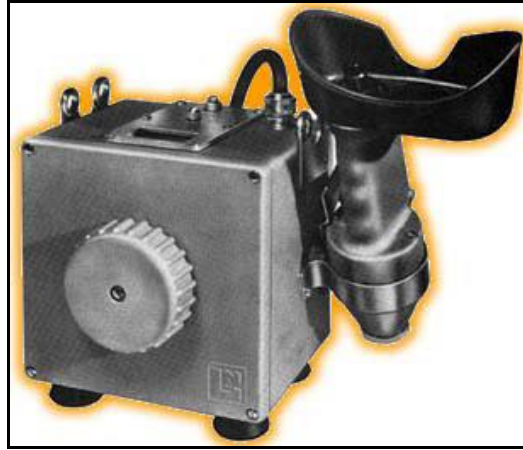
3.2.2.2. Lambalı (optik) Pirometreler

Optik pirometreler, sıcaklığı ölçülecek cisimlerin yaydığı ışınım ile, elektrikle ısıtılmış bir lamba filemanının davranışının karşılaştırılması prensibine dayanır. Bu karşılaştırma sırasında filemana verilen akım şiddeti değiştirilerek sıcaklığı ölçülecek cisimle filemanın aynı renge getirilmesi sağlanır. Filemandan geçen akım, sıcaklığa göre kalibre edilip, cihaz üzerindeki miliampermetrenin sıkalası sıcaklık olarak ölçeklendirilir.



Şekil 3.7. Lambalı pirometrenin basit prensip şeması.

Lambalı pirometrelerde genel olarak kırmızı renkte absorpsiyon filtresi kullanılarak yaklaşık olarak tekdalga boyulu şartlar gerçekleştirir ve flamanın daha düşük akımda çalışması sağlanır. Bu da lambanın ömrünün uzamasını sağlar.



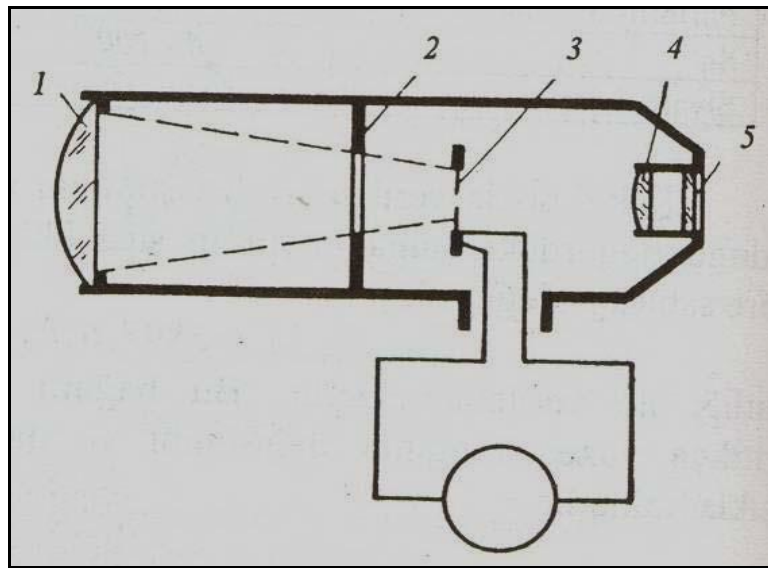
Şekil 3.8. Lambalı pirometre.

3.2.2.3. Işınmalı (Isı Radyasyonlu) Pirometreler

Işınmalı pirometrenin ısı elektrikselden farkı, termokupol elemanın kaynaklı ucunun sıcaklığın ölçüleceği ortandan uzakta olmasıdır. Pirometre, tavlı parçadan veya ergiyik metalden veya fırın sıcaklığının yaydığı radyasyonları (ısı ışınlarını) bir merceğin odak noktasında bulunan karartılmış pilatin levha üzerine toplama prensibine dayanır.

Optik pirometre bir dürbün tarzındadır. İçinde bir ışık kaynağı (ampul filaması) bulunur. Bu ışığın şiddeti, araç üzerinde bulunan reosta ile ayarlanabilir. Devre üzerine bağlanmış olan ampermetre ışık kaynağından geçen akım miktarını gösterir. Ampermetre kadranı izlenen iş parçasının sıcaklığını gösterecek şekilde taksimatlandırılmıştır.

Dürbün tarzındaki pirometre ile sıcaklığı ölçülecek iş parçasına bakılır. Bu esnada ışık kaynağı çalıştırılır. Işık kaynağının verdiği ışık ile iş parçası üzerindeki rengin meydana getirdiği ışık aynı oluncaya kadar reosta çevrilerek ayarlanır. Tam bu sırada ışık kaynağının çalışması için gerekli olan akım, ampermetre üzerindeki kadranı harekete geçireceğinden, kadran üzerinde bulunan sıcaklık değerleri okunarak iş parçasının sıcaklığı tespit edilir.



Şekil 3.9. Işınmalı pirometrenin basit prensip şeması.

Şekil 3.9’ da ışınmalı pirometrenin toplayıcı mercek (1), diyafram (2), sıcaklık algılayıcı yüzey (3), gözleme merceği (4) ve filtre (5) gibi elemanları görülmektedir.

Bu tip sıcaklık ölçerlerle 400 ile 3500 °C arasındaki değerler ölçülebilir. Cihazlarda kullanılan mercekler bu sıcaklıklardaki yayılan ışınımın dalga boyunu geçirecek şekilde olması gerekir. Bu iş için payreks, silika ve kalsiyum florid camları kullanılır.



Şekil 3.10. Dijital göstergeli ışınmalı pirometreler.

Endüstriyel fırınlarda malzemenin homojen tavlانیp tavlانmadığını ölçmek için kullanılan ışınmalı pirometre şekil 3.11’ de görülmektedir.

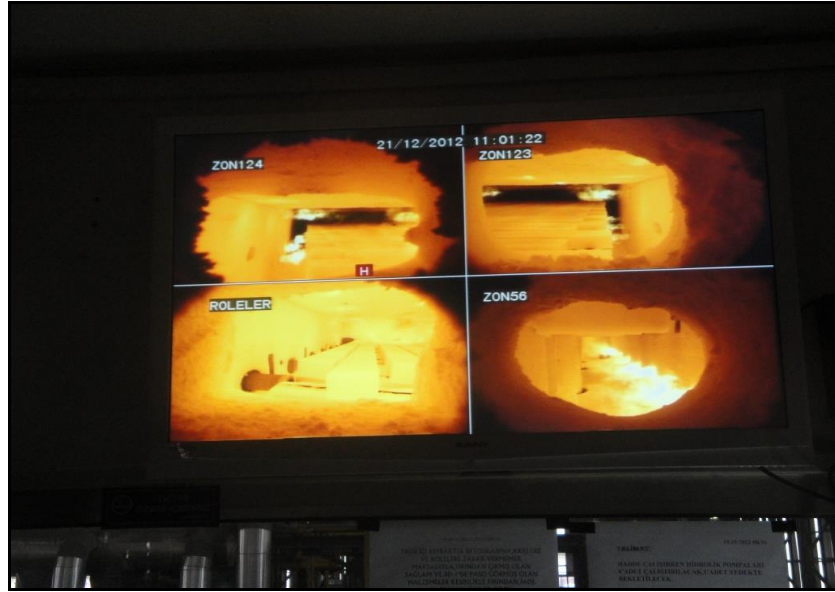


Şekil 3.11. Işınmalı pirometreler.

3.3. ENDÜSTRİYEL TAV FIRINLARINDA TERMAL KAMERA VE PİROMETRE KULLANIMININ AMACI

Endüstriyel tav fırınlarında yarı mamulün homojen bir şekilde tavlanması çok önemlidir. Homojen tavlanma sağlanamadığı durumlarda tavlanmaya çalışılan malzeme şekil değiştirmeye mukavim olacağından, bu da hadde tezgahında haddelene yapım için kullanılan merdanelerin daha kısa sürede aşınmalarına yol açmakta ve üretilen üründe kalite kusurlarına sebep olmaktadır. Ayrıca termal kamera ve pirometre olmadığı durumlarda optimum yanma için fırın içinin kontrolü fırına yaklaşılarak gözle yapılmak durumunda olacağından bu da İşçi Sağlığı Güvenliği (İSG) açısından büyük risk teşkil edecektir.

Şekil 3.12’ de endüstriyel tav fırınında uygulanan termal kamera görüntüleri görülmektedir.



Şekil 3.12. Termal kamera görüntülemeleri.

Fırın içinde bórnerlerde yanma gerçekleşmektedir. Yanma hava yakıt karışımının optimum ayarlanması sonucu istenilen verimde olabilmektedir. Alevin boyu tüm bórnerlerde aynı olarak ayarlandığı takdirde homojen yanmadan söz edilebilir. Alev bórnerlerden çıktığı yönde dik olmalı ve rengi de açık sarı olmalıdır. Tüm bu istenilen durumların farklılaşması kameralarla tespit edilebilir ve hava/yakıt oranı

otomatik kontrol vanalarına yapılacak müdahalelerle optimum yanma için ayarlanabilecektir.

Öte yandan termal kameralara destek olarak pirometre uygulamaları da endüstriyel tav fırınlarında kullanılmaktadır. Tavlanacak yarı mamulün orta bölgelerine iki, baş ve son kısımlarına ise birer tane pirometre ışını yansıtılarak malzemenin tüm yüzeylerinin sıcaklıkları tespit edilebilmektedir. Böylelikle malzemenin her bölgesinin homojen tavlanıp tavlanmadığı tesbiti yapılmış olmakta ve aksi durumda tekrar hava/yakıt oranı ayarlamasına gidilmektedir. Şekil 3.13’ de ise endüstriyel bir tav fırınının tavan kısmından açılan bir deliğe montajı yapılmış ışınmalı pirometreyi görmekteyiz.



Şekil 3.13. Işınmalı pirometre endüstriyel uygulamaları.

Endüstriyel tav fırınında tavlanan malzemenin hadde merdaneleri arasında haddelenmesi Şekil 3.14 ve Şekil 3.15’ te görülmektedir.



Şekil 3.14. Haddelenme prosesi 1.



Şekil 3.15. Haddelenme prosesi 2.

Şekil 3.16' ve Şekil 3.17' de homojen tavlınmamış yarı mamulün yol açtığı merdane hasarları görülmektedir.



Şekil 3.16. Kırılan merdaneler.



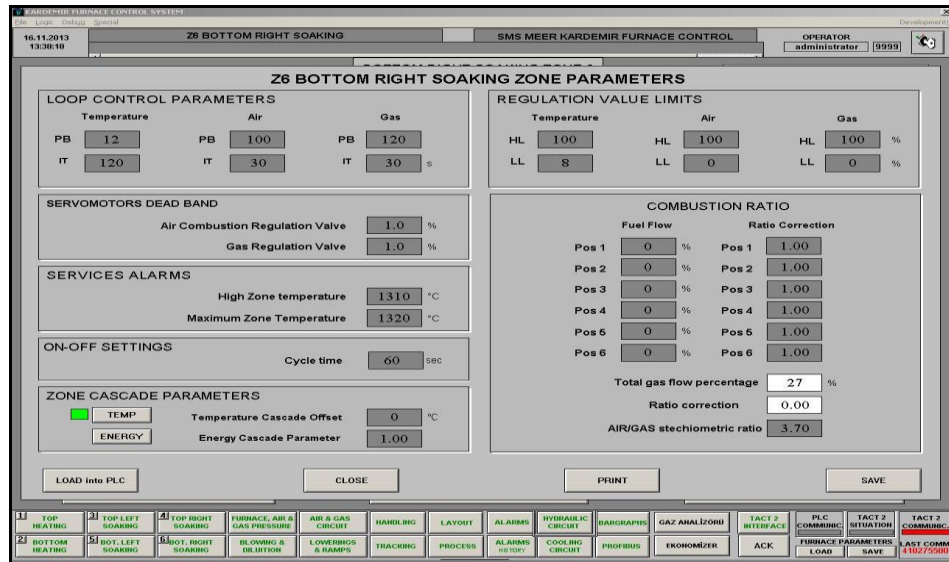
Şekil 3.17. Aşınan merdaneler.

BÖLÜM 4

YÖNTEM, ÖLÇÜM VE HESAPLAMALAR

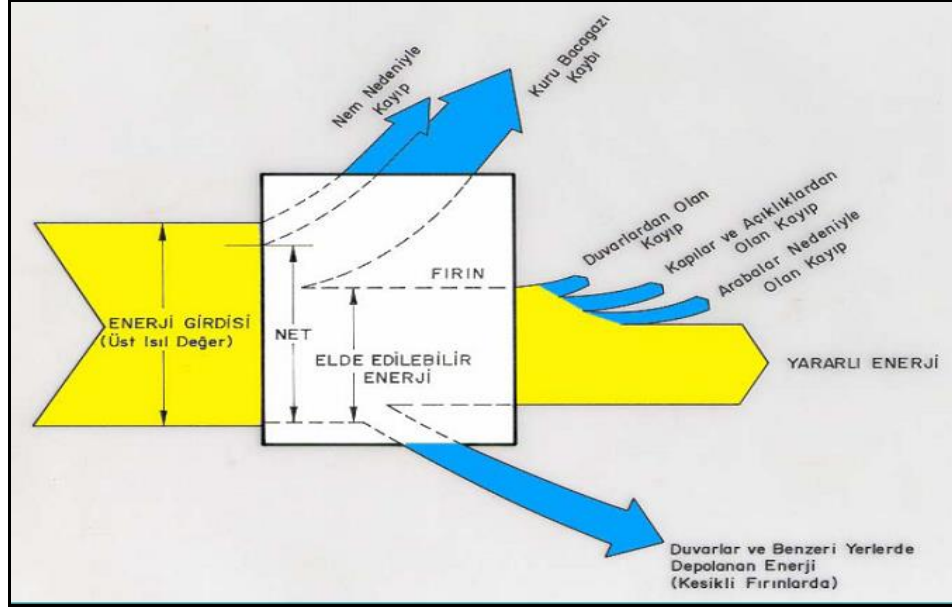
4.1. TERMAL KAMERA VE PİROMETRENİN ÜRETİME ETKİSİ

Termal kamera ve pirometrelerden alınan ölçüm, gözlem ve bilgiler ışığında homojen tavlama yapılabilmesi için hava/gaz oranı ayarlaması yapılır. Şekil 4.1' deki scada ekranından fırının hava/gaz oranı ayarlanabilmektedir.



Şekil 4.1. Fırın scada ekranı 1.

Normal şartlarda işletmedeki fırında hava/gaz oranı 3,7 dir. Kamera ve pirometre sayesinde gazın kalorifik değerindeki değişmeye bağlı olarak yanmadaki aksaklıklar giderilebilmekte ve hava/gaz oranı optimum seviyeye ayarlanabilmektedir. Burada yapılan ayarlamalar enerji kütle denkliği ile izah edilebilir. Enerji kütle denkliği sisteme verilen enerji miktarı ile çıkan enerji miktarı arasında bir denklik kurulması ilkesine dayanır. Şekil 4.2' de bir sistemin enerji kütle denkliği görülmektedir.



Şekil 4.2. Enerji kütle denklığı.

Homojen tavlama yapılmayan kütük, blum vs. nin haddelenmesi esnasında malzemede ölçüsel sıkıntılar, dalgalanmalar olmaktadır. Bu da üretim kaybına yol açmaktadır.

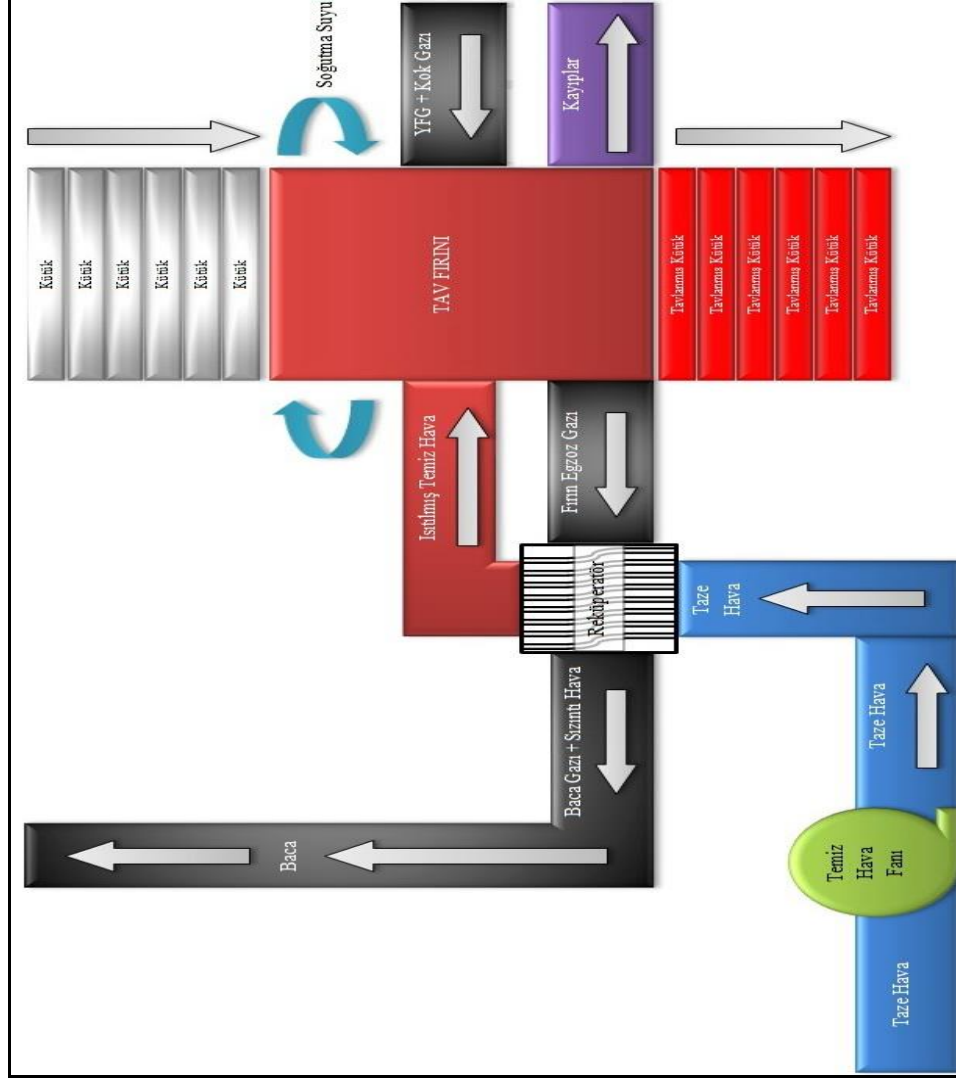
Homojen tavlama yapılmamasının doğurduğu diğer bir sıkıntı da haddeleme merdanelerinin gereğinden daha önce aşınmaya maruz kalmasıdır.

Endüstriyel tav fırınlarında gereğinden fazla tavlanan malzemede tufal kayıpları çok olmakta ve bu da kamera ve pirometrenin önemine başka bir etken olarak karşımıza çıkmaktadır.

4.2. ÖLÇÜM YÖNTEMİ VE ÖLÇÜM CİHAZLARI

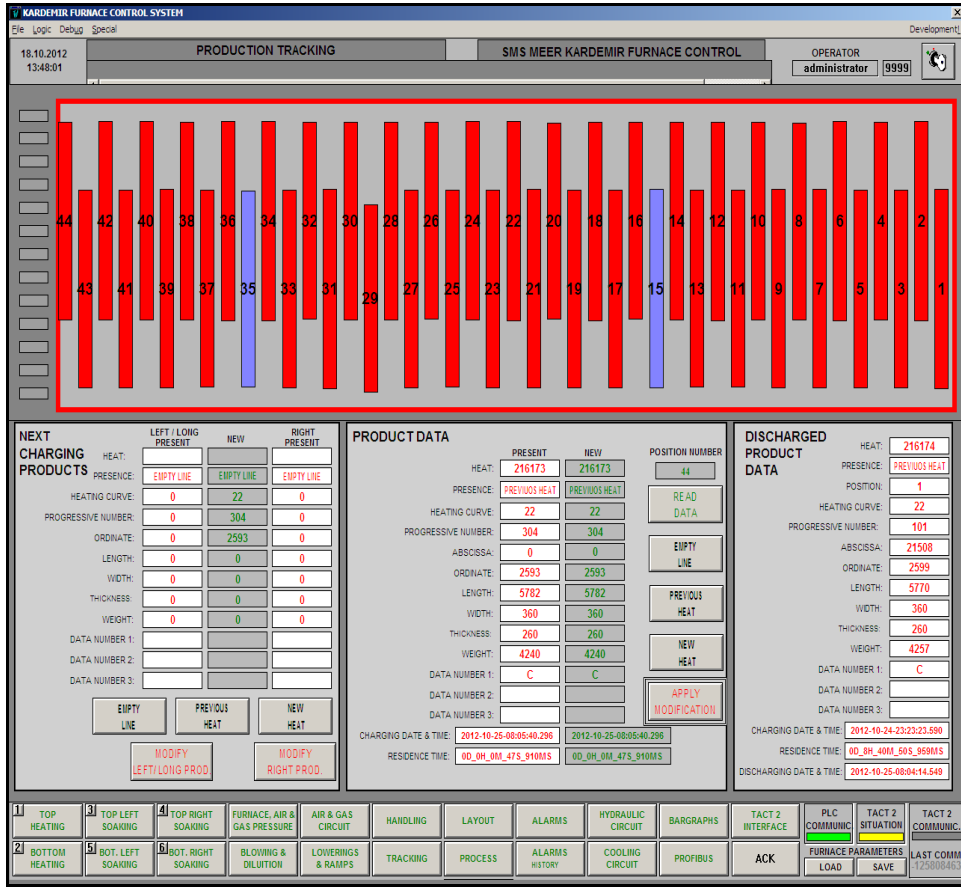
Bir sanayinin tav fırınında termal kamera ve pirometre montajları yapılmış ve kütüğün tavlama için gerekli alev boyu, rengi ile homojen tavlama kontrol altında tutulmuştur. Çalışmalarda termal kamera ve pirometreden alınan bilgiler, akışlara ait hız, basınç, sıcaklığın yanında yanma gazı ile ilgili değerler, sistem üzerindeki mevcut sayaçlardan, Scada (HMI) ekranlarından ve LCD görüntüleme ekranlarından okunmuştur. Alınan değerler kullanılarak optimum yanma ve homojen

tavlanmaya yönelik ayarlamalar yapılmıştır. Tav fırınlarının çalışma sistemi Şekil 4.3' te şematik olarak gösterilmiştir.

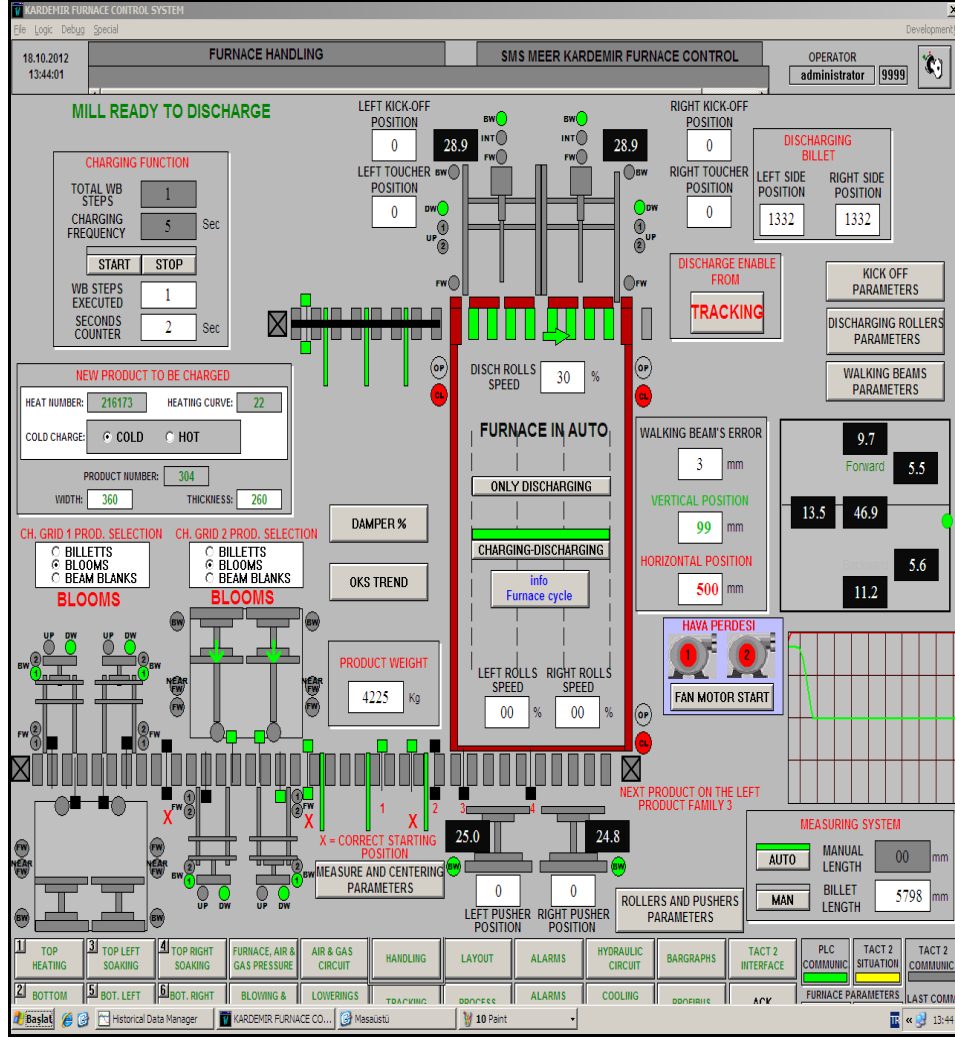


Şekil 4.3. Tav fırını çalışma ve ölçüm sisteminin şematik gösterimi.

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 4.4 ve Şekil 4.5' te bazı scada ekranları görülmektedir.



Şekil 4.4. Fırın scada 2.



Şekil 4.5. Fırın scada 3.

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.

4.2.1. Haddehane Tav Fırını Ölçüm Sonuçları

Haddehane tav fırınında yakıt olarak kok gazı ve yüksek fırın gazı (YFG) kullanılmaktadır. Kullanılan yakıt debileri Çizelge 4.1' de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Haddehane tav fırınında kullanılan yakıt debileri.

Kok Gazı (Nm ³ /h)	4637
Yüksek Fırın Gazı (Nm ³ /h)	580

Haddehane tav fırınına beslenen kok gazı ve yüksek fırın gazı analiz değerleri sırasıyla Çizelge 4.2 ve Çizelge 4.3' de verilmiştir.

Çizelge 4.2. Kok gazı analiz değerleri.

Kok Gazı Analiz Değerleri (kütlece %, orijinal temel)	
CO ₂	3,01
C ₂ H ₄	1,62
O ₂	0,37
CO	6,68
H ₂	57,75
CH ₄	22,28
C ₂ H ₆	0,62
C ₂ H ₂	0,11
N ₂	6,87
Inert	0,69
Alt Isıl Değer (kJ/kg)	16747
Üst Isıl Değer (kJ/kg)	18928

Çizelge 4.3. Yüksek fırın gazı analiz değerleri.

Yüksek Fırın Gazı Analiz Değerleri (kütlece %, orijinal temel)	
CO ₂	18,64
CO	23,17
H ₂	2,08
N ₂	56,11
Alt Isıl Değer (kJ/kg)	3152
Üst Isıl Değer (kJ/kg)	3194

Haddehane tav fırını için yanma hesapları yapılmış ve sonuçlar kok gazı ve yüksek fırın gazı için sırasıyla Çizelge 4.4 ve Çizelge 4.5’ de verilmiştir.

Çizelge 4.4. Haddehane tav fırını kok gazı yanma ürünleri ve egzoz gazı bileşimi.

Kok Gazı			Yanma Ürünleri (Nm ³ /h)							
Yakıt Analizi	% (ob)	Stok. O ₂	CO ₂	SO ₂	N ₂	Argon	H ₂ O	O ₂	Inert	Diğer
CO ₂	3,01	0,00	139,57	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
C ₂ H ₄	1,62	225,36	150,56	0,00	839,90	10,00	169,96	0,00	0,00	0,11
O ₂	0,37	-17,16	0,00	0,00	-63,94	-0,76	-0,76	0,00	0,00	-0,01
CO	6,68	154,88	309,97	0,00	577,22	6,88	13,55	0,00	0,00	0,07
H ₂	57,75	1338,93	1,92	0,00	4990,16	59,44	2795,02	0,00	0,00	0,64
CH ₄	22,28	2066,25	1036,08	0,00	7700,84	91,72	2247,03	0,00	0,00	0,99
C ₂ H ₆	0,62	100,62	57,64	0,00	375,02	4,47	95,05	0,00	0,00	0,05
C ₂ H ₂	0,11	12,75	10,22	0,00	47,53	0,57	6,22	0,00	0,00	0,01
N ₂	6,87	0,00	0,00	0,00	318,56	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Inert	0,69	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	32,00	0,00
Toplam	100	3881,63	1705,97	0,00	14785,3	172,31	5326,06	0,00	32,00	1,85
Fazla hava			2,83	0,00	7368,62	87,77	172,98	1977,11	0,00	0,94
Egzoz Gazı Bileşimi % (ob):			5,40	0,00	70,03	0,82	17,38	6,25	0,10	0,01

Çizelge 4.5. Haddehane tav fırını yüksek fırın gazı yanma ürünleri ve egzoz gazı bileşimi.

Yüksek Fırın Gazı			Yanma Ürünleri (Nm ³ /h)							
Yakıt Analizi	% (ob)	Stok. O ₂	CO ₂	SO ₂	N ₂	Argon	H ₂ O	O ₂	Diğer	
CO ₂	18,64	0,00	108,11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
CO	23,17	67,19	134,48	0,00	250,43	2,98	5,88	0,00	0,03	
H ₂	2,08	6,03	0,01	0,00	22,48	0,27	12,59	0,00	0,00	
N ₂	56,11	0,00	0,00	0,00	325,44	0,00	0,00	0,00	0,00	
Toplam	100	73,23	242,60	0,00	598,35	3,25	18,47	0,00	0,03	
Fazla hava			0,11	0,00	288,64	3,44	6,78	77,45	0,04	
Egzoz Gazı Bileşimi % (ob)			19,59	0,00	71,58	0,54	2,04	6,25	0,01	

Çizelge 4.4 ve Çizelge 4.5’ deki veriler kullanılarak haddehane tav fırınının teorik egzoz gazı, teorik yakma havası, fazla hava, toplam teorik egzoz gazı, teorik fırına giren hava ve hava fazlalık katsayısı hesaplanmış ve sonuçlar Çizelge 4.6’ da verilmiştir.

Çizelge 4.6. Haddehane tav fırını egzoz gazı debisi, yakma havası debisi, fazla hava debisi ve hava fazlalık katsayısı.

Teorik Egzoz Gazı (Nm ³ /t) (ob)	22 886
Teorik Yakma Havası (Nm ³ /t) (ob)	19 224
Fazla Hava (Nm ³ /h)	9 987
Teorik Toplam Egzoz Gazı (Nm ³ /h) (ob)	32 873
Teorik Fırına Giren Hava (Nm ³ /h)	29 210
Fazla Hava Yüzdesi (%)	51,95

4.2.2. Termal Kamera ve Pirometre Kullanılarak Optimum Yanma Sağlanmasının Üretime Katkısının Hesaplanması

İncelediğimiz Ray Profil Haddehanesinde yaklaşık 350 000 ton/yıl üretim yapılmaktadır. Bu üretimin yaklaşık 200.000 ton/yıl ı ray üretimi, 150 000 ton/yıl ı profil üretimidir. Ray üretiminin %5’ i haddehane kaynaklı kusurlardan hurdaya ayrılmaktadır. Bu %5’ in yarısı yüzey kusurları, diğer yarısı da şekil kusurları olarak sınıflandırılır. Tavlamadan kaynaklı kusurlar şekil kusurları içerisinde yer almaktadır. Şekil kusurları asimetri, burukluk, doğrultma eğrisi, tolerans harici şeklinde bölümlere ayrılmaktadır. Tavlama kusurları da tolerans harici içerisinde yer almaktadır. Tolerans harici toplam ray üretiminin %0,6’ sını oluşturmakta ve tavlama kusurları da tolerans haricinin %30’ unu teşkil etmektedir. Bu oran kamera ve pirometre kullanılarak optimum yanma sağlanmak suretiyle %10’ lara düşürülmüştür. Bunun getirisini hesaplarsak;

$$(200\ 000\ t/Yıl \times \%0,6 \times \%30) - (200\ 000\ t/Yıl \times \%0,6 \times \%10)$$

$$= 240\ t/Yıl\ üretim\ kaybı\ engellenmiş\ olur.$$

1 ton rayın kar marjı yaklaşık 748 TL. dir.

Buna göre toplam kazanç: $240 \times 748 = 179\ 520$ TL. lik bir kayıp engellenmiş olmaktadır. Bu da yaklaşık 89 760 USD dir. (1 USD=2 TL)

4.2.3. Termal Kamera ve Pirometre Kullanılarak Optimum Yanma Sağlanmasının Merdane Ömrüne Katkısının Hesaplanması

İncelenen Ray Profil Haddehanesinde 5 adet haddeleme tezgahı bulunmaktadır. Bunlar sırasıyla BD1, BD2, UR, E ve UF hadde tezgahlarıdır. Haddehanedeki yıllık üretim miktarı ise yaklaşık 350 000 tondur.

Termal kamera ve pirometrelerden elde edilen veriler ışığında yapılan ayarlamalar sonucu homojen tavlama yapılarak haddelerde kullanılan merdane ömürlerinde mm başına 150 ton ila 200 ton civarında artışlar sağlanmıştır. Biz hesaplamalarımızda ortalama 175 ton alalım.

Bu artışın maddi karşılığını hesaplarsak;

BD1 Hadde merdanesi, kamera ve pirometreden önce mm. başına yaklaşık 3 760 ton üretim yapabilmektedir. Homojen tavlama sonrası bu üretim mm. başına 3 935 tondur. Bu merdanede kullanılan faydalı merdane yüksekliği 90 mm. dir. Ayrıca BD1 merdanesinin fiyatı yaklaşık 80 000 TL. dir.

BD2 Hadde merdanesi, kamera ve pirometreden önce mm. başına yaklaşık 2 510 ton üretim yapabilmektedir. Homojen tavlama sonrası bu üretim mm. başına 2 685 tondur. Bu merdanede kullanılan faydalı merdane yüksekliği 90 mm. dir. Ayrıca BD2 merdanesinin fiyatı yaklaşık 70 000 TL. dir.

UR Hadde merdanesi, kamera ve pirometreden önce mm. başına yaklaşık 1100 ton üretim yapabilmektedir. Homojen tavlama sonrası bu üretim mm. başına 1 275 tondur. Bu merdanede kullanılan faydalı merdane yüksekliği 160 mm. dir. Ayrıca UR merdanesinin fiyatı yaklaşık 15 000 TL. dir.

E Hadde merdanesi, kamera ve pirometreden önce mm. başına yaklaşık 1 100 ton üretim yapabilmektedir. Homojen tavlama sonrası bu üretim mm. başına 1 275 tondur. Bu merdanede kullanılan faydalı merdane yüksekliği 120 mm. dir. Ayrıca E merdanesinin fiyatı yaklaşık 15 000 TL. dir.

UF Hadde merdanesi, kamera ve pirometreden önce mm. başına yaklaşık 1 100 ton üretim yapabilmektedir. Homojen tavlama sonrası bu üretim mm. başına 1 200 tondur. Bu merdanede kullanılan faydalı merdane yüksekliği 120 mm. dir. Ayrıca UF merdanesinin fiyatı yaklaşık 15 000 TL. dir.

Tüm haddelerde 2'şer adet merdane kullanılmaktadır.

BD1 için yıllık merdane ihtiyacı; $350\ 000\ t/Yıl : 3\ 760\ t/mm = 93\ mm$
Haddede alt üst 2 merdane kullanıldığına göre ; $93\ mm \times 2 = 186\ mm$
BD1 merdanesindeki faydalı çap 90 mm idi; $186\ mm : 90\ mm = 2,07\ Adet/Yıl$ bulunur.

BD2 için yıllık merdane ihtiyacı; $350\ 000\ t/Yıl : 2\ 510\ t/mm = 139\ mm$
Haddede alt üst 2 merdane kullanıldığına göre ; $139\ mm \times 2 = 278\ mm$
BD2 merdanesindeki faydalı çap 90 mm idi; $278\ mm : 90\ mm = 3,09\ Adet/Yıl$ bulunur.

UR için yıllık merdane ihtiyacı; $350\ 000\ t/Yıl : 1\ 100\ t/mm = 318\ mm$
Haddede alt üst 2 merdane kullanıldığına göre ; $318\ mm \times 2 = 636\ mm$
UR merdanesindeki faydalı çap 160 mm idi; $636\ mm : 160\ mm = 3,97\ Adet/Yıl$ bulunur.

E için yıllık merdane ihtiyacı; $350\ 000\ t/Yıl : 1\ 100\ t/mm = 318\ mm$
Haddede alt üst 2 merdane kullanıldığına göre ; $318\ mm \times 2 = 636\ mm$
E merdanesindeki faydalı çap 120 mm idi; $636\ mm : 120\ mm = 5,3\ Adet/Yıl$ bulunur.

UF için yıllık merdane ihtiyacı; $350\ 000\ t/Yıl : 1\ 100\ t/mm = 318\ mm$

Haddede alt üst 2 merdane kullanıldığına göre ; $318 \text{ mm} \times 2 = 636 \text{ mm}$

UF merdanesindeki faydalı çap 120 mm idi; $636 \text{ mm} : 120 \text{ mm} = 5,3 \text{ Adet/Yıl}$ bulunur.

Aynı hesaplamaları termal kamera ve pirometre kullanımı sonucu homojen tavlama yaparak daha verimli merdane ömrü üzerinden yaparsak;

BD1 için yıllık merdane ihtiyacı; $350 \text{ 000 t/Yıl} : 3 \text{ 935 t/mm} = 88,9 \text{ mm}$

Haddede alt üst 2 merdane kullanıldığına göre ; $91,8 \text{ mm} \times 2 = 177,8 \text{ mm}$

BD1 merdanesindeki faydalı çap 90 mm idi; $177,8 \text{ mm} : 90 \text{ mm} = 1,97 \text{ Adet/Yıl}$ bulunur.

BD2 için yıllık merdane ihtiyacı; $350 \text{ 000 t/Yıl} : 2 \text{ 685 t/mm} = 130,3 \text{ mm}$

Haddede alt üst 2 merdane kullanıldığına göre ; $130,3 \text{ mm} \times 2 = 260,6 \text{ mm}$

BD2 merdanesindeki faydalı çap 90 mm idi; $260,6 \text{ mm} : 90 \text{ mm} = 2.89 \text{ Adet/Yıl}$ bulunur.

UR için yıllık merdane ihtiyacı; $350 \text{ 000 t/Yıl} : 1 \text{ 275 t/mm} = 274,5 \text{ mm}$

Haddede alt üst 2 merdane kullanıldığına göre ; $274,5 \text{ mm} \times 2 = 549 \text{ mm}$

UR merdanesindeki faydalı çap 160 mm idi; $549 \text{ mm} : 160 \text{ mm} = 3,43 \text{ Adet/Yıl}$ bulunur.

E için yıllık merdane ihtiyacı; $350 \text{ 000 t/Yıl} : 1 \text{ 275 t/mm} = 274,5 \text{ mm}$

Haddede alt üst 2 merdane kullanıldığına göre ; $274,5 \text{ mm} \times 2 = 549 \text{ mm}$

E merdanesindeki faydalı çap 120 mm idi; $549 \text{ mm} : 120 \text{ mm} = 4,57 \text{ Adet/Yıl}$ bulunur.

UF için yıllık merdane ihtiyacı; $350 \text{ 000 t/Yıl} : 1 \text{ 275 t/mm} = 274,5 \text{ mm}$

Haddede alt üst 2 merdane kullanıldığına göre ; $274,5 \text{ mm} \times 2 = 549 \text{ mm}$

UF merdanesindeki faydalı çap 120 mm idi; $549 \text{ mm} : 120 \text{ mm} = 4,57 \text{ Adet/Yıl}$ bulunur.

Sonuç olarak maddi kazancı hesaplamak için eski merdane adetlerini yeni durumdaki merdane adetlerinden çıkarıp merdane fiyatları ile çarpmalıyız.

Kazanç= (2,07-1,97)x80 000 + (3,09-2,89)x70 000 + (3,97-3,43)x15 000 + 2x(5,3-4,57) x 15 000 ise;

Kazanç=52 000 TL=26 000 USD yıllık merdane tasarrufu olarak hesaplanmaktadır.

4.2.4. Termal Kamera ve Pirometre Kullanılarak Optimum Yanma Sağlanmasının Tufal Kayıplarına Etkisinin Hesaplanması

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. Fırın içi termal kamera ve pirometreden alınan bilgilerin ışığında optimum yanma sağlanarak tufal kayıplarını azaltabilmek mümkün olacaktır.

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, hava-yakıt oranı 3,7:1 olarak alınmaktadır. Yakma havası miktarı gereğinden fazla olduğunda, fırın sıcaklığı düşmekte ve hava fazlalığından dolayı tavlanacak malzemede tufal oluşup malzeme kaybı meydana gelmektedir. Ray Profil Haddehanesinde termal kamera ve pirometre öncesi yapılan testlerde tufal kaybı yaklaşık %1,8 civarında olmaktadır. Yapılan araştırmalarda bu değer şu an itibariyle ortalama %1,5'e çekildiği anlaşılmıştır.

Ray üretiminin net karı 748 TL/t, Profil üretimin net karı 108 TL/t

Haddehane yıllık ray üretimi = 200 000 t ise yıllık tufal kazancı %0,3 = 600 t

Haddehane yıllık profil üretimi = 150 000 t ise yıllık tufal kazancı %0,3 = 450 t

Dolayısıyla tufal kaybını azaltmaktan dolayı yapılan tasarrufu hesaplırsak;
 $600 \times 748 + 450 \times 108 = 497\,400$ TL/Yıl = 248 700 USD/Yıl bulunmaktadır.

Haddehane tav fırınında tufal kaybının azaltılması ile yapılacak tasarruf miktarı Çizelge 4.7' de verilmiştir.

Çizelge 4.7. Haddehane tav fırınında tufal kaybının azaltılması ile yapılacak tasarruf miktarı.

Haddehane Ray üretimi net karı (USD/t)	374
Haddehane Profil üretimi net karı(USD/t)	54
Haddehane Yıllık Ray Üretim Miktarı (t)	200 000
Haddehane Yıllık Profil Üretim Miktarı (t)	150 000
Yıllık Tasarruf Miktarı (USD)	248 700

Haddehanede toplam tasarruf miktarı Çizelge 4.8' de verilmiştir.

Çizelge 4.8. Haddehane tav fırını toplam tasarruf miktarı.

Tasarrufun Adı	Tasarrufun Yıllık Mali Değeri (USD)
Üretim Kaybının Azaltılması	89 760
Merdane Sarfiyatının Azaltılması	26 000
Tufal Kaybının Azaltılması	248 700
TOPLAM	364 460

4.2.5. Haddehane Fırınında Termal Kamera ve Pirometre Yatırımı Geri Ödeme Süreleri

Haddehane tav fırını optimum yanma sağlanarak homojen tavlama yapılması için termal kamera ve pirometre yatırımı yapılmış ve yatırım miktarı, sağlanan tasarruf miktarı ve geri ödeme süreleri Çizelge 4.9' da verilmiştir.

Çizelge 4.9. 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
Termal kamera ile izleme	4 adet termal kamera	74 910	364 460	3 Ay
Pirometre ile sıcaklık kontrolü	4 adet pirometre	11 040		

BÖLÜM 5

SONUÇ VE ÖNERİLER

Bir sanayi kuruluşunun haddehane tav fırınında termal kamera ve pirometre kullanımının optimum yanmaya ve homojen tavlamaya olan etkisi incelenmiştir. Ölçüm ve karşılaştırmalar kullanılarak gerekli hesaplamalar yapılmış ve tasarruf potansiyelleri ortaya konmuştur. Tecrübeler sonucunda tespit edilen verimin termal kamera ve pirometre kullanarak yükseltilebileceği belirlenmiştir. Buna göre haddehane tav fırınında termal kamera ve pirometre kullanılarak homojen tavlama yapılmak suretiyle şu sonuçlara ulaşılmıştır:

Haddehane tav fırınında homojen tavlama verimi termal kamera ve pirometre kullanılarak yükseltilmektedir.

Haddehane tav fırınında termal kamera ve pirometre kullanılarak üretim, merdane ömrü ve tufal kaybının azaltılmasından kaynaklanan toplam yıllık kazanç 364 460 USD olarak gerçekleşmektedir. Kullanılan 4 adet termal kamera ve 4 adet pirometrenin yatırım maliyeti ise 85 950 USD dir. Dolayısıyla bu yatırımın geri ödeme süresi 3 aydır.

Haddehane tav fırınında termal kamera kullanılarak daha sağlıklı, işçi sağlığı ve güvenliği (İSG) açısından daha güvenli bir ortamda çalışabilmesi sağlanmıştır.

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”, *Yıldız Teknik Üniversitesi Yayınları*, İstanbul, 1: 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. Mullinger P. and Jenkins B., “Furnace control and safety” *Industrial and Process Furnaces*, 287-333 (2008).
10. İnternet: Fluke, “Termal Görüntüleyiciler” <http://www.fluke.com/fluke/trtr/products/termal-goruntuleyiciler.htm> (2013).
11. 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).
12. Kılınç, E., “Endüstriyel fırınlarda enerji analizi ve verim artırıcı yöntemler”, Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük, 11-15 (2011).

13. Çalışan, M. ve Türkoğlu, İ., “Termal kameralar ve uygulamaları” *Elektrik-Elektronik ve Bilgisayar Sempozyumu*, Fırat Üniversitesi, Elazığ, 46-50 (2011).
14. Ertem, M. E., Şen, S., Akar, G., Pamukçu, C. and Gürgen, S., “Energy balance analysis and energy saving opportunities for erdemir slab furnace #3”, *Energy Sources, Part A*, 32: 979-994 (2010).
15. Ignatiev, M., Smurov, I.Y., Flamant, G. and Senchenko, V., “ Surface temperature measurements during pulsed laser action on metallic and seramic materials”, *Russian Academy of Sciences*, Izhorskaya, Russian Federation, 505-512 (1996).
16. Bertrand, P., Ignatiev, M., Flamant, G. and Smurov, I., “Pyrometry applications in thermal plasma processing”, *Institut des Sciences et Genie des Materiaux et Procedes*, France, 71-76 (2000).
17. Jamalabadi, A., “Experimental investigation of thermal loading of a horizontal thin plate using infrared camera”, *Chabahar Maritime University of Chabahar*, Iran, 1-9 (2013).
18. Ignatiev, M., Smurov, I., Flamant, G., Senchenko, V., and Dozhdikov, V., "Two dimensional resolution pyrometer for real time monitoringof temperature image in laser materials processing”, *Russian Academy of Sciences*, Izhorskaya, Russian Federation, 498-508 (1997).
19. Shimoda, M., Sugano, A., Watanabe, Y., Kimura, T., and Ishiyama, K., “Prediction methot of unburnt carbon for coal fired utility boiler using image processing technique of combustion flame”, *IEEE Transactions on Energy Conversion*, Japan, 5 (4): 640-645 (1990).
20. Baek, W.B., Lee, S.J., Baeg, S.Y., and Cho, C.H., “Flame image processing and analysis for optimal coal firing of thermal power plant”, *Research and Development Center Doosan Heavy Industries and Construction Co., Ltd.,Changwon*, Korea, 928-931 (2001).
21. Brisley, P.M., Lu, G., Yan, Y., and Cornwell, S., “Three dimensional temperature measurement of combustion flames using a single monochromatic CCD camera”, *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 54 (4): 1417-1421 (2005).
22. Schönbohm, A., Gasper, R. and Abel, D., “Inductive reheating of steel billets into the semi-solid state based on pyrometer measurements”, *Solid Stade Phenomena*, 16-17: 734-737 (2006).

ÖZGEÇMİŞ

Eşref YILMAZ, 1976 yılında Karabük'te doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini aynı şehirde tamamladıktan sonra 1997 yılında Harran Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü'nü kazandı. 2001 yılında mezun olduktan sonra askerlik görevini kısa dönem olarak tamamladı. 2003-2006 yılları arasında Mondri Tire Kutsan A.Ş. İzmit Fabrikası'nda vardiya amiri olarak çalıştıktan sonra 2006 yılında Kardemir AŞ Ray Profil Haddehanesinde Mekanik Bakım Mühendisi olarak görev aldı ve halen devam etmektedir. 2012 yılında Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans eğitimine başladı. Eşref YILMAZ, evli ve bir çocuk babasıdır.

ADRES BİLGİLERİ

Adres : Ergenekon cad. 48/6 Yenişehir/ KARABÜK
Tel : 0532 400 38 78
E-Mail : esrefyilmaz78@gmail.com
: esrefyilmaz@kardemir.com