

**ENDÜSTRİYEL BİR BUHAR KAZANINDA ENERJİ
VERİMLİLİĞİ VE ÇEVRESEL ETKİLERİ**

**2012
YÜKSEK LİSANS TEZİ
ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ**

Fatma TURHAN

**ENDÜSTRİYEL BİR BUHAR KAZANINDA ENERJİ VERİMLİLİĞİ VE
ÇEVRESEL ETKİLERİ**

Fatma TURHAN

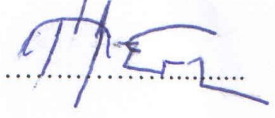
**Karabük Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalında
Yüksek Lisans Tezi
Olarak Hazırlanmıştır.**

**KARABÜK
Haziran 2012**

Fatma TURHAN tarafından hazırlanan “ENDÜSTRİYEL BİR BUHAR KAZANINDA ENERJİ VERİMLİLİĞİ VE ÇEVRESEL ETKİLERİ” 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. 28/06/2012

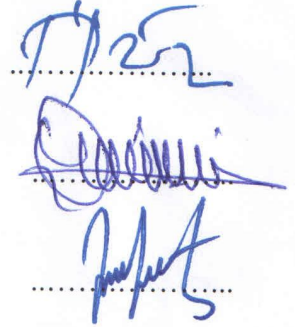
Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Doç. Dr. Mehmet ÖZKAYMAK (KBÜ)

Üye : Prof. Dr. Durmuş KAYA (KBÜ)

Üye : Doç. Dr. Sezayi YILMAZ (KBÜ)

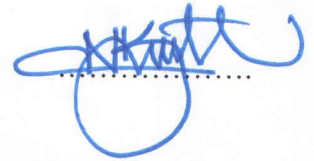


...../...../2012

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

Prof. Dr. Nizamettin KAHRAMAN

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.”

Fatma TURHAN

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

ENDÜSTRİYEL BİR BUHAR KAZANINDA ENERJİ VERİMLİLİĞİ VE ÇEVRESEL ETKİLERİ

Fatma TURHAN

Karabük Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı:

Doç. Dr. Mehmet ÖZKAYMAK

Haziran 2012, 31 sayfa

Bu çalışmada, bir sanayi kuruluşunun 70 bar basınç, 778,15 K sıcaklık ve 100.000 kg/h nominal buhar üretim kapasiteli karışık yakıtlı (yüksek fırın gazı+kok gazı+kömür) kazanda enerji verimliliği çalışması yapılmıştır. Bu kapsamda kazan işletme koşullarında çalışırken sıcaklık, basınç, hız ve yanma gazı ölçümleri yapılmış ve ölçüm verileri kullanılarak kütle ve enerji dengesi kurulmuştur. Başlıca verim kayıpları, kazanın yüksek hava fazlalık katsayısıyla (% 39,78) çalıştırılması, döner hava ısıtıcısındaki sızıntı hava ve yüzey ısı kayıpları olarak belirlenmiştir. Ölçüm verileri kullanılarak yapılan hesaplamalarda; kazan verimi % 85,3 olarak bulunmuştur. Kazanda suya verilen ısı gücü 6743,37 kW iken, hava fazlalık katsayısının azaltılması ile elde edilebilecek enerji tasarrufu miktarı 550,10 kW ve sızıntı havanın önlenmesi ile 1251,60 kW olmak üzere toplam tasarruf miktarı 1801,70 kW kadardır. Bu tasarrufun bir yıllık mali değeri yaklaşık 309.465 \$ olduğu hesaplanmıştır.

Anahtar Kelimeler : Buhar kazanı, enerji tasarrufu, enerji verimliliği, enerji etüdü, ekserji verimliliği, çevresel etki

Bilim Kodu : 916.1.138

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

INDUSTRIAL ENERGY EFFICIENCY AND ENVIRONMENTAL EFFECTS OF A STEAM BOILER

Fatma TURHAN

Karabük University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Energy Systems Engineering

Thesis Advisor:

Doç. Dr. Mehmet ÖZKAYMAK

June 2012, 31 pages

In this paper, an experimental study has been performed for mixed (solid+gas) fuelled boiler operating at 70,0 bar pressure and 778.15 K temperature with a nominal capacity of 100.000 kg/s in order to find improvement in the boiler efficiency and to reduce its environmental emissions. In this scope, while the boiler was working under operating conditions, temperature, pressure, velocity, and combustion gas measurements were performed and the measured datas were used to establish mass and energy balance. Main efficiency loses were identified as operation of the boiler with high excess air factor (39.78%), leakage air in the rotary air hater and surface thermal losses. Calculations, were performed with the use of measured datas, estimated that the boiler and exergetic efficiency were calculated as %85.3. When the injected heat value on water is 6743.37 kW in the boiler, by the reduction of excess air factor is 550,10 kW and by the prevention of leakage air is 1251.6 kW,

including totally saving amount is 1801.7 kW. Financial value of this saving was calculated about 309.465\$.

Key Words : Steam boiler, energy saving, energy efficiency, exergy efficiency, environmental effect

Science Code : 916.1.138

TEŞEKKÜR

Bu tez alıőmasının planlanmasında, araőtırılmasında, yürütülmesinde ve oluşumunda ilgi ve desteğini hiçbir zaman esirgemeyen, engin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, yönlendirme ve bilgilendirmeleriyle çalıőmamı bilimsel temeller ışığında őekillendiren ve hayata bakıő aımı deęiőtiren hocam sayın Prof. Dr. Durmuş KAYA ve sayın Doç. Dr. Mehmet ÖZKAYMAK'a sonsuz teőekkürlerimi sunarım.

Sadece beni bu çalışmada değil, tüm hayatım boyunca bana her konuda destek olan, anlayıőlarını ve sevgilerini esirgemeyen, beni yüreklandiren ve bana güvenen aileme ve eőim Bahadır ÖZTÜRK'e sevgi ve saygılarımı sunarım. Her zaman yanımda oldukları için tüm kalbimle teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL	ii
ÖZET	iv
ABSTRACT	vi
TEŞEKKÜR	viii
İÇİNDEKİLER.....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xiii
BÖLÜM 1.	1
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2.	3
BUHAR KAZANLARI.	3
2.1. KAZAN ÇEŞİTLERİ	4
2.1.1. Alev Borulu Kazanlar.....	4
2.1.2. Su Borulu Kazanlar	5
BÖLÜM 3.	7
KAZAN VERİMİ VE VERİMLİLİĞİ ETKİLEYEN FAKTÖRLER	7
3.1. EKSİK YANMA	9
3.2. HAVA YAKIT ORANI.....	9
3.3. BACA GAZINDAKİ SU BUHARI NEDENİYLE OLAN ISI KAYBI.....	10
3.4. BACA GAZI SICAKLIĞI	10
3.5. YAKIT CİNSİ	10
3.6. BRÜLÖRLER	11
3.7. KAZAN YÜKÜ	11
3.8. KAZAN YÜZEYİNDEN OLAN ISI KAYIPLARI.....	11
3.9. ISITICI YÜZEY KİRLİLİĞİ.....	12

	<u>Sayfa</u>
BÖLÜM 4.	13
ÖLÇÜM YÖNTEMİ VE ÖLÇÜM CİHAZLARI	13
BÖLÜM 5.	15
ÖLÇÜM VE HESAP SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ.....	15
BÖLÜM 6.	21
POTANSİYEL TASARRUF ALANLARI VE YATIRIMLAR.....	21
6.1. POTANSİYEL TASARRUF ALANLARI.....	21
6.1.1. Fazla Havanın Azaltılması.....	21
6.1.2. Kazan Yüzey Kayıplarının Azaltılması.....	22
6.1.3. Fazla Sızıntı Hava Kayıplarının Azaltılması	22
6.2. TOPLAM TASARRUF MİKTARI	23
6.3. YATIRIMLAR VE GERİ ÖDEME SÜRELERİ	23
BÖLÜM 7.	24
ÇEVRESEL BOYUT.....	24
BÖLÜM 8.	27
SONUÇ VE ÖNERİLER.....	27
KAYNAKLAR.....	29
ÖZGEÇMİŞ.....	31

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1. Su borulu kazan	5
Şekil 2.2. Ölçüm yapılan kazan.....	6
Şekil 4.1. Kazanlarda gerçekleştirilen ölçüm sisteminin şematik gösterimi	13
Şekil 7.2. Küresel ısınma faktörleri	24
Şekil 7.3. Atmosferin sera etkisi.....	25

ÇİZELGELER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 5.1 Buhar kazanı ölçüm sonuçları.....	15
Çizelge 5.2. Kömür numunesi elementel analiz değerleri.....	16
Çizelge 5.3. Yüksek fırın gazı analiz değerleri.....	16
Çizelge 5.4. Kok gazı analiz değerleri.....	16
Çizelge 5.5. Buhar kazanı kaçak durumu	17
Çizelge 5.6. Kazan fazla sızıntı hava kaybının önlenmesi ile elde edilecek tasarruf miktarı	17
Çizelge 5.7. Kömürün elementel analizi, yanma ürünleri analizi ve debileri.....	18
Çizelge 5.8. Yüksek fırın gazı analizi, yanma ürünleri analizi ve debileri.....	18
Çizelge 5.9. Kok gazı analizi, yanma ürünleri analizi ve debileri.....	19
Çizelge 5.10. Kazan yanma gazı debisi, teorik yanma havası, fazla hava debisi ve oranı	19
Çizelge 5.11. Kazan için kurulan kütle ve enerji denklikleri.....	20
Çizelge 5.12. Kazan verim hesabı.....	20
Çizelge 6.1. Fazla havanın azaltılmasıyla yapılacak tasarruf miktarı	21
Çizelge 6.2. Kazan fazla sızıntı hava kaybının önlenmesi ile elde edilecek tasarruf miktarı	22
Çizelge 6.3. Potansiyel tasarruf imkanları sonucunda	23
Çizelge 6.4. Potansiyel tasarruf imkanları sonucunda erişilebilecek verim Değerleri.....	23

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

- η : Kazan verimi
- m_b : Buhar Debisi (kg h^{-1})
- m_s : Su Debisi (kg h^{-1})
- i_b : Buhar entalpisi (kcal kg^{-1})
- i_s : Su besleme entalpisi (kcal kg^{-1})
- B : Yakıt Akış Hızı (kg h^{-1})
- H_u : Yakıt Alt Isıl Değeri (kcal kg^{-1})
- Z : Farklı ısı kayıplarının oranı
- Q_y : Yakıtın toplam ısısı (kg h^{-1})
- Q_s : Suyu verilen ısı (kg h^{-1})
- Ob : Original Değer
- Q : Isı Oranı (kg h^{-1})
- e^- : Özel molar ekserji (kcal kmol^{-1})
- LHV : Alt Isıl değeri (kcal kmol^{-1})
- a_i : i bileşenin molar miktarı
- s^{-0} : Standart basınç altında mutlak entropi ($\text{kcal kmol}^{-1} \text{K}^{-1}$)
- R^- : Evrensel gaz sabiti ($\text{kcal kmol}^{-1} \text{K}^{-1}$)
- $y_i^{\#}$: Referans ortamda i^{th} bileşenin molar oranı
- y_i : Egzos gazındaki i^{th} bileşenin molar oranı
- T_0 : Referans ortamın sıcaklığı
- P_0 : Referans ortamın basıncı

KISALTMALAR

ID : Çekme-Draft Fanı

RTA : Döner tip hava ısıtıcı

ch : Kimyasal

th : Termo-mekanik

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Genel olarak kazanlar, yakıttaki kimyasal enerjiyi ısı enerjisi şeklinde açığa çıkartarak taşıyıcı akışkana ileten ve basınç altında çalışan kapalı kaplar olarak tanımlanır [1]. Buhar kazanı ise istenilen basınç, sıcaklık ve debide buhar üreten cihazlar olarak tanımlanmaktadır [2].

Kazanlarda verimliliği etkileyen başlıca faktörler eksik yanma, fazla hava, baca gazında su buharı nedeniyle olan ısı kaybı, baca gazı sıcaklığı, yakıt cinsi, brülörler, kazan yükü, kazan yüzeyinden olan ısı kayıpları, ısıtıcı yüzey kirliliğidir.

Kullanılan ihtiyaca göre çok değişik türlerde üretilen kazanlar, ilk yatırım ve işletme giderleri bakımından oldukça pahalı enerji üreteçleridir. Bu nedenle, kazan amaca uygun seçilmeli, işletilmesinde ve bakımında gerekli özen gösterilmelidir. Kazan seçiminde;

- Kazanın kullanım maksadı,
- Üretilecek buhar miktarı,
- Basınç ve sıcaklığı,
- Besleme suyunun kazana giriş sıcaklığı,
- Suyun sertlik derecesi,
- Kullanılacak yakıtın cinsi,
- Yakıtın alt ısıl değeri ve analizi,
- Yakıtın fiyatı,

gibi esaslar göz önüne alınarak ayrıntılı bir analiz yapılmalıdır [2,3].

Son zamanlarda kazan enerji verimliliği hakkında bazı yararlı çalışmalar ortaya çıkmıştır. Enerjinin ve ekserjinin faydaları analiz edilerek buhar kazanlarında uygulamaya alındı. Enerjinin ve ekserjinin verimliliği de belirlenebilir. Bir kazanın, enerji ve ekserji verimleri sırasıyla %72,46 ve %24,89 olarak bulunmuştur. İr buhar kazanının enerji ve ekserji verimliliği diğer işlerde de kıyaslanır [3].

Deneysel çalışmalarda su/yağın herhangi bir yüzey aktif madde kullanılmadan başarılı bir şekilde yakıtı dönüştüğü incelenmiştir. Bir deneysel çalışmada buhar kazanlarında, egzoz gazı emisyonları ve kazan ısı verim analiz etmek için yakıtın emisyonunun yanma karakteristiklerini araştırmak için uygulama yapılmıştır [4].

Bu çalışmada, karma yakıt kullanan bir endüstriyel tesiste, kazan çalışma koşullarında çalışırken, kütle ve enerji dengesi kurmak için sıcaklık, basınç, hız ve yanma gazı ölçümleri yapıldı. Bu kapsam da enerji verimliliği çalışması yapıldı. Bu çalışmanın temel amacı kazan için verimliliği düşüren sebepleri araştırmak ve ısı kayıpları, yatırım maliyeti ve geri ödeme süresini tespit ederek yatırım maliyetleri hakkında öneriler vermektir.

BÖLÜM 2

BUHAR KAZANLARI

Buhar üretmekte yararlanılan; kömür, yağyakıt, motorin, doğalgaz ve fosil yakıtları, bazı tesislerde ise artık yakıtın yakılmasıyla ortaya çıkan, ısıyı içindeki suyu ısıtmak için kullanan kazanlara buhar kazanı denir. Genellikle ısıtma ve enerji üretiminde kullanılırlar. Kimi zaman nükleer reaktörlerde de, basınç altında buhar üretmek amacıyla ısı kaynağı olarak yararlanılır. Başka bir deyişle buhar kazanları, istenilen sıcaklık ve miktarda buhar üreten cihazlardır. Buharın, endüstride tercih edilmesinin en önemli sebepleri; çok iyi bir ısı taşıyıcısı olması, ısı transferi özelliklerinin özellikle faz değişiminden dolayı yüksek olması ve iletiminin çok kolay olması ile herhangi bir pompalama sistemine ihtiyaç duymamasıdır. Buhar sadece ısı taşıyıcı özelliğinin dışında bazı proseslerde nemlendirme özellikleri için de kullanılmaktadır [5].

Buhar kazanının elemanları;

- Ocak: Yakacakların yakılarak ısı enerjisinin elde edildiği kısımdır.
- Asıl Isıtma Yüzeyleri: Sıcak duman gazları ile buharlaşmakta olan suyun temasta olduğu yüzeylerdir.
- Kızdırıcı: Doymuş ıslak buharın, sabit basınçta ısıtılarak sıcaklığının arttırıldığı yüzeylerdir.
- Ekonomizör: Besleme suyunun asıl ısıtma yüzeyine girmeden önce bir miktar ısıtıldığı yüzeylerdir.
- Hava Isıtıcılar: Yakma havasının duman gazları ile ısıtıldığı yüzeylerdir.
- Baca: Duman gazlarını kazandan uzaklaştıran ve çekiş sağlayan elemandır.

2.1. KAZAN ÇEŞİTLERİ

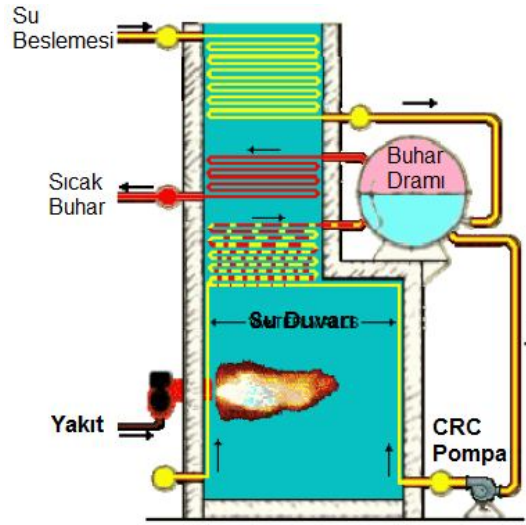
2.1.1. Alev Borulu Kazanlar

Yakıtın yanmasıyla oluşan kızgın gazlar, borular içinden geçer ve buharlaştırılacak su borularının dışında bulunursa böyle kazanlara alev borulu kazanlar denir. Değişken olmakla birlikte kazanın 2/3'ü su, 1/3'ü ise buhar hacmi olarak düzenlenir. Alev borulu kazanların başlıca özellikleri şunlardır:

- Su hacminin büyük oluşu nedeniyle önemli miktarda suyu depo ederler.
- Tüm buhar kazanlarında en önemli kontrol ve denetim noktası su seviyesidir.
- Yakıtların yakıldığı külhan veya ocağın bir tarafı dışında tümü suyla çevrili olması nedeniyle ısı kayıpları az ve kazan verimi yüksek olur.
- Her zaman için yumuşatılmış su kullanılması önerilir.
- Isıtma yüzeyleri küçük en fazla 250 m² dolaylarında ve saatte ürettikleri buhar miktarı 7,5 ton civarındadır. Isıtma yüzeyi ocakla baca arasında akan gazların içinde temas ettiği yüzeylerdir. (30 t/h ve 30 bar basınca kadar piyasada mevcuttur.)
- Buhar tutma süreleri çok uzundur, buhar rezerv haznesi fazla olduğu için ani çekişlerde ve ara duruşlarda tekrar tam yüke girme süreleri kısadır. (Buhar tutma süresi: kazana su alınıp fayrap edildikten sonra, işletme basıncında buhar elde edilinceye kadar geçen süre).
- Ürettikleri buharın basınç ve sıcaklığı düşüktür. Bu basınç maksimum 30 bar işletme basıncına kadar üretilebilmektedirler.
- Çalışma prensipleri: Katı veya sıvı yakıtlar külhan ya da ocak adı verilen bölümde yakılır. Oluşan kızgın gazlar yanmamış karbon partikülleri ile beraber cehennemlik veya yanma odasına gelirler. Burada karbon parçacıkları da yanar. Bu bakımdan cehennemlik külhandan sonra kazanın en sıcak yeridir. Külhan ve cehennemlik etrafı tamamen suyla çevrilidir. Isısını suya veren gazlar alev ve payanda borularından geçerek duman sandığına gelirler. Daha sonra baca yoluyla atmosfere atılırlar [5].

2.1.2. Su Borulu Kazanlar

Yüksek sıcaklık ve basınçtaki büyük buhar üretimleri ile sanayi tesislerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Su borulu kazanda, yanma ürünü alev ve duman, içinde su bulunan boruların etrafından geçer. Su boruları genel su kanalları (dom) vasıtasıyla birbirine bağlanır. Günümüzde modern kazanlar tek veya iki domlu olarak da yapılırlar. Boru demetleri arasına yanma ürünü gazlara yön verici perdeler yerleştirilir. Perdeler vasıtasıyla yanma ürünü gazlar, su borularına dik veya paralel birkaç geçiş yaparlar. Isıların büyük bir kısmını borularda bırakarak bacadan kazanı terk eder. Isınarak yoğunluğu azalan su ile kaynama sonucunda meydana gelen buhar yükseltici boru demetlerinden üst domaya doğru çıkarken, daha yoğun olan soğuk su aşağı iniş boru demetlerinden çamur domuna iner. Üst dom da su ve buhar karışımını birbirinden ayırır. Buhar içindeki su zerrecikleri de nem tutucularında tutulur. Daha sonra buhar kızdırıcılara geçer. Kızdırıcılardan çıkan buhar istenilen sıcaklığa ayarlanarak prosese gönderilir [6].



Şekil 2.1. Su borulu kazan.

İnceleme yapılan buhar kazan su borulu kazan olup, konverter gazıyla birlikte, Yüksek Fırın gazı ve Kok gazının da yakılabileceği 50 t/h buhar kapasitelidir.



Şekil 2.2. Ölçüm yapılan kazan.

BÖLÜM 3

BUHAR KAZAN VERİMİ VE VERİMLİLİĞİ ETKİLEYEN FAKTÖRLER

Buhar kazanlarının ısı verimleri hesabı direkt ve dolaylı olmak üzere iki yöntem yapılmaktadır [2].

Birinci yöntemde:

- Besi suyu ve buhar miktarları,
- Besi suyu ve ara buharın sıcaklık ve basınçları,
- Yakıt besleme miktarı,
- Yakıt alt ısı değeri

ölçülmelidir. Ölçülen bu değerler yardımıyla kazan verimi:

$$\eta = (m_b \times i_b - m_s \times i_s) / BH_u \quad (3.1)$$

Burada,

- m_b : ölçülen buhar debisi (kg/h)
 m_s : ölçülen su debisi (kg/h)
 i_b : buhar entalpisi (kcal/kg)
 i_s : besi suyu entalpisi (kcal/kg)
 B : ölçülen yakıt debisi (kg /h)
 H_u : yakıtın alt ısı değeri (kcal /kg)

Dolaylı yöntemde ısı verim,

$$\eta : 1 - \sum Z \quad (3.2)$$

ifadesi ile belirlenir. Burada Z (% olarak) çeşitli ısı kayıplardır [2].

Bu yöntemde:

- Baca gazı analizi (baca gazında sıcaklık, hız, basınç, gaz analizi),
- Yakma havası debisi ve sıcaklığı ölçülür,
- Kazan dış cidar sıcaklıkları ölçülür,
- Blöf miktarı belirlenir,
- Yakıtın alt ısı değeri ve elementel analizi belirlenir,

Bu ölçüm sonuçlarına göre önce özgül hava miktarı ve özgül baca gazı miktarları belirlenir.

Daha sonra,

- Teorik özgül hava miktarı,
- Teorik özgül duman miktarı,
- Hava fazlalık katsayısı,
- Gerçek özgül hava ve duman miktarı,
- Baca gazı ısı kaybı oranı,
- Eksik yanma kaybı (ısı kaybı, toz emisyonundan faydalanarak bulunacaktır) oranı,
- Yanmamış yakıt kaybı oranı ,
- Blöf kaybı oranı,

belirlenerek bunlara bağlı olarak ısı verim hesaplanır.

Kazanlarda verimliliği etkileyen başlıca faktörleri:

- Eksik yanma,
- Fazla hava,
- Baca gazında su buharı nedeniyle olan ısı kaybı,
- Baca gazı sıcaklığı,
- Yakıt cinsi,
- Brülörler,
- Kazan yükü,
- Kazan yüzeyinden olan ısı kayıpları,
- Isıtıcı yüzey kirliliği

şeklinde sıralamak mümkündür [6,7].

3.1. EKSİK YANMA

Eksik yanma, katı ve sıvı yakıt içerisinde bulunan yanabilir maddelerin yanmayarak kül içinde kalması veya baca gazında yanmamış hidrokarbon ve karbon monoksit olarak atılması durumunda meydana gelmektedir. Eksik yanma; yakıt kaybına neden olduğu için tam yanmayı sağlamak amacıyla hava yakıt oranını tam yanmayı sağlayacak şekilde ayarlamak gerekecektir. Bu nedenle baca gazındaki O₂ miktarını optimum seviyede tutmak gereklidir [7,8].

3.2. HAVA YAKIT ORANI

Kazanlarda yanma sistemi, yanma problemlerine neden olmayacak minimum hava yakıt oranı verecek çalışma seviyesinde ayarlanmalıdır. Fazla hava miktarı gereğinden çok olursa, baca gazı miktarını arttırır ve artan bu miktardaki hava, baca gazı sıcaklığına kadar ısınıp enerji alacağından daha fazla ısınıp bacadan atılmasına neden olur [9]. Ayrıca baca gazı miktarının artması, gaz debisinin, dolayısıyla hızının artmasına ve ısı transferinin dışmesine neden olmaktadır. Bu nedenlerden dolayı fazla hava miktarının mümkün olan en dışük seviyede tutulması gerekmektedir.

Bunu sağlamak için; baca gazındaki O₂ seviyesi kontrol edilmeli, hava ayarı yapılarak oksijen miktarı mümkün olan en düşük seviyeye getirilmelidir [10, 11].

3.3. BACA GAZINDAKİ SU BUHARI NEDENİYLE OLAN ISI KAYBI

Yakıtlar; serbest nem şeklinde ve kimyasal kompozisyonlarından dolayı bünyelerinde nem bulundurlar. Yakıtın içerisinde bulunan nem, yanma esnasında buharlaşarak açığa çıkmaktadır. Su buharı olarak açığa çıkan nem, kazandaki faydalı enerjinin bir kısmının bacadan dışarı atılmasına neden olmaktadır. Yakıttaki serbest nemin yanmadan önce mümkün olduğunca azaltılması enerji tasarrufu açısından gereklidir [1, 6, 12].

3.4. BACA GAZI SICAKLIĞI

Kazan 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 durumda kazan verimi düşer.

Bacadan atılan enerjinin yüksek olmasının iki ana nedeni vardır. Birincisi ısı transfer yüzeylerinin yetersiz olmasıdır. Bu durumda bacaya hava ön ısıtıcısı veya kızdırıcıları yerleştirilerek baca gazının ısısından faydalanma imkânı sağlanır. İkincisi ise ısı transfer yüzeylerinde oluşan kirliliklerdir. Bu durumda kazan boruları belirli periyotlarla temizlenmeli, kazana verilen besi suyunun sertliği kontrol edilmelidir. Baca gazında normal sıcaklığın üzerindeki her 17 °C'lik artış verimde yaklaşık olarak %1'lik bir düşüşe sebep olmaktadır [13, 14].

3.5. YAKIT CİNSİ

Farklı yakıtlar, farklı oranlarda karbon ve hidrojen ihtiva ettikleri için ısı değerleri, yanma sonucu baca gazındaki nem miktarları, kül, cüruf ve kurum miktarları değişmektedir.

3.6. BRÜLÖRLER

Brülörlerde, yakıt basıncının ve sıcaklığının istenen değerde olmaması yakıtın yeterince atomize olmamasına ve dolayısı ile eksik yanmaya neden olmaktadır. Bu durum verimi azaltacak yönde etki etmektedir.

3.7. KAZAN YÜKÜ

Kazanlardan genellikle düşük ve aşırı yükte çalıştırılmadıkları zaman yüksek verim elde edilir. Çekilen yük oranı yüzde 50'nin altına düştüğünde ise verim eğrisi hızla düşmektedir. Bu yük düşüşüne bağlı olarak kazan yüzeyinden olan ısı kayıplarının yüzdesi artacaktır [1, 15]. Kazanlar çalıştırılırken, kazan kapasitesi göz önüne alınarak mümkün olduğunca bunlara uyulmalıdır. Kazan aşırı yüklenmesi durumunda yanma verimi düşecek ve baca gazı sıcaklıkları artacaktır. Öte yandan düşük yüklerdeki kayıplar esas olarak, durma kayıplarından kaynaklanır. Kazan duruşa geçtiğinde hem dış yüzeylerden hem de baca çekişi nedeniyle iç yüzeylerden soğumaktadır [2].

Kazan yükünün değişmesiyle yakılan yakıt miktarı da değişmektedir. Maksimum verimlere genel olarak, kazan tam yükünün yüzde 70'inden yukarı çalıştığı durumlarda ulaşılmaktadır. Bundan dolayı, kazanlar mümkün olduğu kadar tam yüke yakın bir yükte çalıştırılmaları gerekmektedir [1].

3.8. KAZAN YÜZEYİNDEN OLAN ISI KAYIPLARI

Kazan yüzeyinden oluşan ısı kayıpları, radyasyon ve konveksiyon şeklinde gerçekleşmektedir. Modern kazanlarda bu kayıp genel olarak kazan tam yükte çalışıyorsa % 1'den küçüktür. Bununla birlikte eski tip kazanlarda bu kayıplar % 10'a kadar çıkmaktadır. Kazan yüzey sıcaklığını ortam sıcaklığının yaklaşık 30 °C üstündeki bir değere düşürecek şekilde yapılmış bir izolasyon, bu tür kayıpları en aza indirmek açısından yeterli ve uygun olarak görülmektedir.

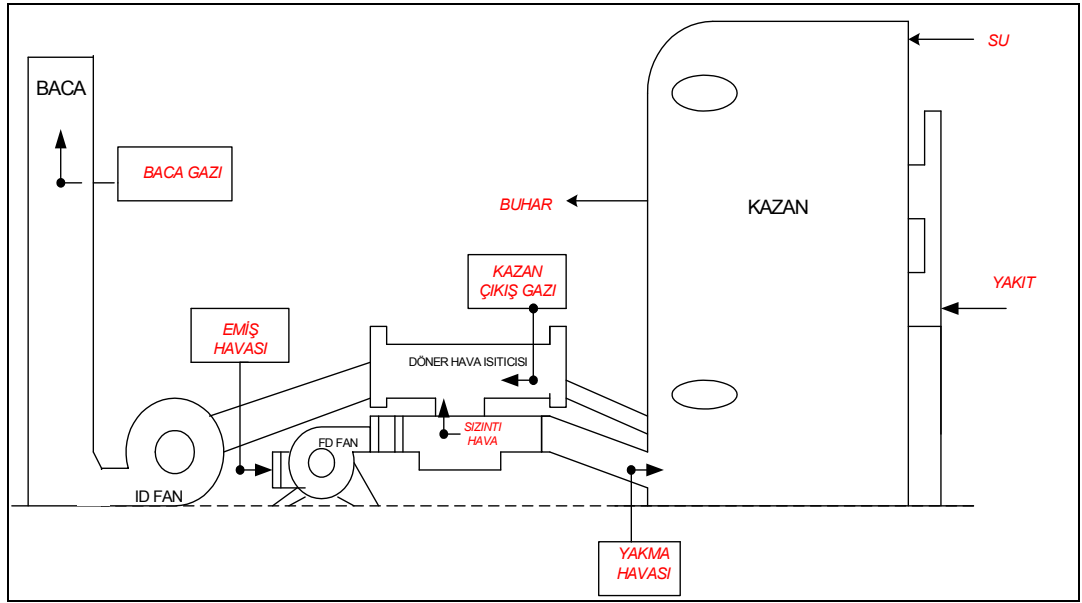
3.9. ISITICI YÜZEY KİRLİLİĞİ

Isıtıcı yüzeylerde kireç taşı ve kurum birikiminin kazan verimi üzerine etkisi büyüktür. Kazanlarda başlangıçta verilen ısı verim değerleri herhangi bir kir tabakasının oluşmadığı, temiz yüzeyli yeni kazanlar içindir. Isı geçişi yüzeylerinin her iki tarafında (su ve duman tarafları) birikecek kirletici tabakalar ısı geçişini önemli ölçüde engeller ve buna bağlı olarak sıcak gazlar ısılarını suya geçirmeden kazanı terk ederler. Böylece artan baca gazı sıcaklığı ile kazan verimi düşer. Duman tarafında özellikle fuel oil ve kömür yakıldığında kurum birikir ve bu kurum tabakasının temizlenmesi zordur.

BÖLÜM 4

ÖLÇÜM YÖNTEMİ VE ÖLÇÜM CİHAZLARI

Kazanda; kazan giriş ve çıkışıyla, “döner hava ısıtıcı” giriş ve çıkışı arasında kütle enerji dengesi kurabilmek için akışlara ait hız, basınç ve sıcaklık ölçümleri yapılmış, ayrıca sistem üzerindeki mevcut sayaç debi değerleri okunmuştur. Mevcut sayaçlardan alınan değerler (doğruluğundan emin olunduktan sonra) hesaplarda kullanılmıştır. Kazanda gerçekleştirilen ölçüm sistemi şematik olarak Şekil 1’de verilmiştir.



Şekil 4.1. Kazanlarda gerçekleştirilen ölçüm sisteminin şematik gösterimi.

Kazanda yakıt olarak kullanılan kömür, kok gazı, yüksek fırın gazı debisi bilgileri kumanda odasından alınmıştır. Enerji ve kütle dengesini kurabilmek için gerekli olan kömür numunesi elementel analiz değerlerini elde etmek üzere, ölçüm esnasında kazana beslenen kömür numunesi alınmış ve bu kömür numunesinin elementel analizi gerçekleştirilmiştir. Elde edilen analiz sonuçları (kömür, kok gazı ve yüksek fırın gazı) ve debi değerleri kullanılarak

yanma ürünlerinin bileşenleri ve debileri hesap edilmiştir. Hesap edilen bu değerler kazan çıkışı ve baca çıkışında yapılan gaz analizi, basınç, hız ve sıcaklık ölçümleriyle de doğruluğu kontrol edilmiştir.

Sistemde kullanılan buhar debisinin belirlenmesi amacıyla, su debileri “GE-Panometrics PT878” marka transit zaman ultrasonik debimetre yardımı ile ölçülmüştür. Debimetreye ait iki adet transdüser boruya dışarıdan bağlanmış ve akışa paralel şekilde birinci transdüser sinyal üretici ikinci ise sinyal alıcı olarak çalıştırılmıştır. Sinyal ulaşma zamanı ölçülerek ses hızı ile arasındaki fark akışkan hızı olarak belirlenmiştir. Cihaz ayrıca boru çapını da ölçtüğünden geçen debi miktarı da online olarak ölçülmüştür. Cihazın ölçtüğü debi ile kazanda mevcut buhar debi ölçerlerin değerleri zaman zaman karşılaştırılmış ve her iki debi ölçerin birbirine çok yakın değerler verdiği görülmüştür.

Kazana giren havanın debileri ise “TESTO 445” marka hızölçer kullanılarak belirlenmiştir. Baca gazı ve kazan çıkış gaz analizlerinin ölçümleri için ise elektrokimyasal detektör yöntemi ile çalışan “TESTO 350” marka gaz analiz cihazları kullanılmıştır. “TESTO 445” marka cihazla baca gazı hız ve basınç değerleri ölçülmüş ve baca gazı debileri hesaplanmıştır. Baca gazı debilerinin ölçümünden sonra, baca çıkış O₂ yüzdesi ile kazan çıkışta ölçülen O₂ yüzdelerinden faydalanılarak kazan yanma gazı debisi hesaplanmıştır. Baca gazı debisinden, kazan yanma gazı debisi çıkarılarak sızıntı hava miktarı hesaplanmıştır. Fazla sızıntı hava debisi ise; sızıntı hava miktarının, yakma havasının %10’dan çıkarıldıktan sonra bulunmuştur.

BÖLÜM 5

ÖLÇÜM VE HESAP SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Sanayi kuruluşuna ait 1 adet karışık yakıtlı buhar kazanlarında enerji tasarrufu potansiyelini belirlemek amacıyla gaz analizi, hız ve sıcaklık ölçümleri yapılmıştır. Ölçüm verileri (sıcaklık, basınç, hız, gaz analizleri) kullanılarak kütle ve enerji dengesi kurulmuştur. Kütle ve enerji dengelerinden hareketle, her bir kazanda verim, potansiyel tasarruf alanları ve tasarrufun boyutu hesaplanmıştır.

Sonuçta; başlıca verim kayıpları:

- Kazanların yüksek hava fazlalık katsayılarında çalıştırılması (%39,78),
- Kazan yüzeyinden ısı kayıpları olarak belirlenmiştir.

Çizelge 5.1. Buhar kazanı ölçüm sonuçları.

	O ₂ (%)	Sıcaklık (K)
Sol Lüvo Öncesi Egzoz Gazı	4,15	582,55
Sol Lüvo Sonrası Egzoz Gazı	8,06	402,15
Sağ Lüvo Öncesi Egzoz Gazı	4,83	590,85
Sağ Lüvo Sonrası Egzoz Gazı	8,79	398,25
Kömür Debisi (kg/s)	1,52	
Kok Gazı (Nm ³ /s)	1	
Yüksek Fırın Gazı (m ³ /s)	7,78	

Buhar kazanı sağ ve sol hava döner ısıtıcılar gelen sızıntılar tahmin etmek için baca gazı analizi yapılmış ve analizi sırasında yanmış kömür, kazana beslenen yüksek

fırın gazı ve kok gazı için kullanılan yakıtın elementel analiz değerleri Çizelge 5.2, Çizelge 5.3, Çizelge 5.4'te verilmiştir.

Çizelge 5.2. Kömür numunesi elementel analiz değerleri.

Yakıt kompozisyonu (kütlece %)	C	H	N	S	O	Kül	Nem	LHV (kJ/kg)	HHV (kJ/kg)
Kuru baz	74,65	3,91	1,28	0,42	6,79	12,79	-	28252,53	29056,39
Orijinal baz	65,43	3,43	1,12	0,37	5,95	11,35	12,35	24480,22	25468,3

Çizelge 5.3. Yüksek fırın gazı analiz değerleri.

Yakıt kompozisyonu (kütlece %)	CO ₂	CO	H ₂	N ₂	İnert	LHV (kJ/Nm ³)	HHV (kJ/Nm ³)
Orijinal baz	18,64	23,17	2,08	56,11	0	3152,66	3194,53

Çizelge 5.4. Kok gazı analiz değerleri.

Yakıt kompozisyonu (kütlece %)	Orijinal baz
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
İnert	0,69
LHV (kJ/Nm ³)	16747,2
HHV (kJ/Nm ³)	18928,52

Kömürün elementel analiz değerleri, yüksek fırın ve kok gazı analiz değeri ve dönerli hava ısıtıcıları öncesindeki ve sonrasındaki baca gazı kompozisyon değerleri kullanılarak Çizelge 5.5 ve Çizelge 5.6'da verilen değerler hesaplanmıştır.

Çizelge 5.5. Buhar kazanı kaçak durumu.

Buhar kazanı dönerli hava ısıtıcıları hava kaçak durumu		
Sol Lüvo	Baca Oksijen Oranı (%)	8,06*
	Toplam Kazan Çıkış Gaz Debisi (Nm ³ /s)	16,7
	Toplam Döner Isıtıcı Çıkışı Gaz Debisi(Nm ³ /s)	22,27
	Sızıntı Hava Miktarı (Nm ³ /s)	5,3
Sağ Lüvo	Baca Oksijen Oranı (%)	8,79*
	Toplam Kazan Çıkış Gaz Debisi (Nm ³ /s)	17,7
	Toplam Döner Isıtıcı Çıkışı Gaz Debisi(Nm ³ /s)	23,65
	Sızıntı Hava Miktarı (Nm ³ /s)	5,95

*Hesaplanan Değer

Çizelge 5.6. Kazan fazla sızıntı hava kaybının önlenmesi ile elde edilecek tasarruf miktarı.

Sızıntı hava gazı debisi (Nm ³ /s)	11,25
Yakma havası debisi (Nm ³ /s)	26,6
Kabul edilebilir sızıntı debisi (Nm ³ /s)	2,66
Fazla sızıntı hava debisi (Nm ³ /s)	8,6
Baca gazı sıcaklığı (K)	400,2
Ortam sıcaklığı (K)	293,15
Cp (KJ/Nm ³ K)	1,36
Enerji tasarrufu (kW)	1251,6
Yıllık kazan çalışma süresi (Saat)	5840
Yıllık enerji tasarrufu (kJ)	26.313.533.432

Yakıt miktarı, kazan yanma gazı oksijen yüzdesi ve yakıtın elementel analiz değerleri kullanılarak yanma gazı analizleri yapılmış ve sonuçlar Çizelge 5.7, Çizelge 5.8 ve Çizelge 5.9'da verilmiştir.

Çizelge 5.7. Kömürün elementel analizi, yanma ürünleri analizi ve debileri.

Yakıt			Yanma Ürünleri (Nm ³ /h)						
Yakıt Analizi	% (ob)	Stok. O ₂	CO ₂	SO ₂	N ₂	Argon	H ₂ O	O ₂	Diğer
C (%)	65,43	6693,05	6702,64	0,00	24944,80	297,11	585,60	0,00	3,19
H (%)	3,43	1052,60	1,51	0,00	3923,00	46,73	2197,29	0,00	0,50
N (%)	1,12	0,00	0,00	0,00	49,10	0,00	0,00	0,00	0,00
S (%)	0,37	14,19	0,02	14,19	52,90	0,63	1,24	0,00	0,01
O (%)	5,95	-228,24	0,00	0,00	-85,65	-10,13	-19,97	0,00	-0,11
Kül (%)	11,35	0,00	0,00	0,00	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00
Nem (%)	12,35	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	842,22	0,00	0,00
Toplam (%)	100,00	7531,60	6704,16	14,19	28119,15	334,34	3606,38	0,00	3,60
Fazla Hava			3,19	0,00	8301,59	98,88	194,89	2227,44	1,06
Gaz Bileşimi % (ob):			13,52	0,03	73,42	0,87	7,66	4,49	0,01

Çizelge 5.8. Yüksek fırın gazı analizi, yanma ürünleri analizi ve debileri.

Yakıt			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	5219,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
CO (%)	23,17	3243,8	6492,25	0,00	12089,54	144,00	283,81	0,00	1,55
H ₂ (%)	2,08	291,20	0,42	0,00	1085,29	12,93	607,88	0,00	0,14
N ₂ (%)	56,11	0,00	0,00	0,00	15.710,8	0,00	0,00	0,00	0,00
Inert (%)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Toplam (%)	100,00	3535,0	11711,86	0,00	28885,64	156,92	891,69	0,00	1,69
Fazla hava			3,43	0,00	8915,08	106,19	209,29	2392,05	1,14
Gaz Bileşimi % (ob):			21,99	0,00	70,95	0,49	2,07	4,49	0,01

Çizelge 5.9. Kok gazı analizi, yanma ürünleri analizi ve debileri.

Yakıt			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 (%)	3,01	0,00	108,36	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
C ₂ H ₄ (%)	1,62	174,96	116,89	0,00	652,07	7,77	13195	0,00	0,00
O ₂ (%)	0,37	-13,32	0,00	0,00	-49,64	-0,59	-0,59	0,00	0,00
CO(%)	6,68	120,24	240,65	0,00	448,13	5,34	10,52	0,00	0,00
H ₂ (%)	57,75	1039,50	1,49	0,00	3874,18	46,14	2169,95	0,00	0,00
CH ₄ (%)	22,28	1604,16	804,38	0,00	5978,65	71,21	1744,51	0,00	0,00
C ₂ H ₆ (%)	0,62	78,12	44,75	0,00	291,15	3,47	73,80	0,00	0,00
C ₂ H ₂ (%)	0,11	9,90	7,93	0,00	36,90	0,44	4,83	0,00	0,00
N ₂ (%)	6,87	0,00	0,00	0,00	247,32	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	24,84
Toplam (%)	100,00	3013,56	1324,45	0,00	11478,76	133,78	4134,96	0,00	24,84
Fazla hava			1,41	0,00	3660,03	43,59	85,92	982,04	0,00
Gaz Bileşimi % (ob):			6,06	0,00	69,22	0,81	19,30	4,49	0,11

Çizelge 5.10, Çizelge 5.11 ve Çizelge 5.12 bileşenleri kullanılarak toplam stokiyometrik yanma gazı, teorik yanma havası, fazla hava, teorik toplam yanma havası ve kazan çıkış gazı debileri ve fazla hava oranı hesaplanmıştır. (Çizelge 5.13). Hesaplanan debiler, ayrıca baca çıkışında ölçülerek doğruluğu sağlanmıştır.

Çizelge 5.10. Kazan yanma gazı debisi, teorik yanma havası, fazla hava debisi ve oranı.

Sistemin Toplam Yakma Havası ve Kazan Yanma Gazı Debileri	
Teorik Baca Gazı (Nm ³ /s) (ob)	27
Teorik Yanma Havası (ob)	19
Fazla Hava	7,56
Baca Gazı Debisi (Nm ³ /s) (ob)	34,56
Kazana Giren Hava (Nm ³ /s)	26,57
Hava Fazlalık Katsayısı %	39,78

Ölçülen ve hesaplanan değerler kullanılarak kazan için enerji denklıkları kurulmuş sonuçlar Çizelge 5.11’de verilmiştir.

Çizelge 5.11. Kazan için kurulan kütle ve enerji denklıkları.

Girişler	Debi (Nm ³ /h)	Oksijen (%)	Sıcaklık (K)	C _p (kJ/Nm ³ K)	Q (kW)	%
Kömür (yanma ısısı)	1,52*			24.480,22	37.264,33	34,93
Kömür (duyulur ısı)	1,52*		293,15	3,77	114,72	0,11
Yuksek Fırın Gazı (yanma ısısı)	7,78			3.152,66	24.520,69	22,98
Yuksek Fırın Gazı (duyulur ısı)	7,78		308,15	1,38	374,97	0,35
Kok Gazı (yanma ısısı)	1			16.747,2	16.747,2	15,70
Kok Gazı (duyulur ısı)	1		298,15	1,36	33,91	0,03
Yakma havası (duyulur ısı)	26,6	20,57%	546,85	1,35	9.844,9	9,23
Su	25*		433,15	4,18	17.793,9	16,68
Toplam					85.227,55	79,88
Çıkışlar	Debi (Nm ³ /h)	Oksijen (%)	Sıcaklık (K)	C _p (kJ/Nm ³ K)	Q (kW)	%
Buhar	25*				85227,55	
Kazan Egzoz Gazı	34,67	4,49%	586,7	1,49	16230,12	15,21
Kayıplar (yüzey ısı, havadaki nem, blöf vb.)					5236,96	4,91
Toplam					106694,73	100,00

* kg/saat

Kazan verimi, kazanın buhar debisi, buhar ve suyun giriş entalpi değerleri kullanılarak hesaplanmış ve sonuçlar Çizelge 5.12’de verilmiştir.

Çizelge 5.12. Kazan verim hesabı.

Buhar debisi (m _b , kg/s)	25
Buhar giriş entalpisi (i _b , kJ/kg)	3.409,31
Su giriş entalpisi (i _s , kJ/kg)	711,76
Entalpi farkı (i _b -i _s , kJ/kg)	2.697,55
Suya verilen ısı (Q _s =m _b *(i _b -i _s), kW)	67.433,65
Toplam yakıt ısısı (Q _y =m*H _u , kW)	79.089,65
Genel verim (Q_s/Q_y, %)	%85,30

BÖLÜM 6

POTANSİYEL TASARRUF ALANLARI VE YATIRIMLAR

6.1. POTANSİYEL TASARRUF ALANLARI

6.1.1. Fazla Havanın Azaltılması

Kazanlarda yapılan ölçümlerde, kazanların optimum (%20) hava fazlalık katsayısının üzerinde çalıştırıldığı tespit edilmiştir. Bu durumda önemli miktarda hava ısıtılarak atmosfere verilmektedir. Kazanlarda gaz analizörleri ile belirli periyotlarda ölçüm yapılmalı ve kazan uygun hava fazlalık oranıyla işletilmelidir. Fazla havanın neden olduğu enerji kaybı hesaplanarak Çizelge 6.1’de verilmiştir.

Çizelge 6.1. Fazla havanın azaltılmasıyla yapılacak tasarruf miktarı.

Parametre	Ölçü Sonucu
Fazla hava debisi (Nm ³ /s)	7,58
Fazla hava oranı (%)	39,86
Hedef fazla hava oranı (%)	20
Cp (kJ/Nm ³ K)	1,36
Hava Azaltma Oranı(Nm ³ /s)	3,78
Hava giriş sıcaklığı (K)	293,16
Lüvo çıkış egzoz gazı sıcaklığı (K)	400,2
Enerji tasarrufu (kW)	550,1
Yıllık çalışma süresi (h)	5840
Yıllık enerji tasarrufu (kJ)	11.565.298.906,13

6.1.2. Kazan Yüzey Kayıplarının Azaltılması

Kazanlarda yüzey kayıplarını belirlemek amacıyla termal kamerayla tüm kazan yüzeyi taranmış ve zayıf izolasyonlu bölgeler fotoğraflanarak sanayi kuruluşuna verilmiştir. Termal fotoğraflarda belirlenen zayıf izolasyonlu bölgelerin güçlendirilmesi durumunda belirli oranda enerji tasarrufu sağlamak mümkün olacaktır. Bu çalışma kapsamında toplam kazançtaki payının çok büyük olmadığı öngörüldüğünden yüzey ısı kayıplarının giderilmesi için bir hesaplama yapılmamıştır.

6.1.3. Fazla Sızıntı Hava Kayıplarının Azaltılması

Döner tip hava ısıtıcısına sahip kazanlarda tespit edilen en önemli tasarruf potansiyelinden biri döner hava ısıtıcısındaki sızıntı hava kayıplarıdır. Döner tip hava ısıtıcılarında, sızıntı hava miktarını pratikte tamamen önlemek imkansızdır. Ancak kazan yakma hava debisinin maksimum %10'u kadar bir sızıntı hava kabul edilebilir. Sızıntı hava kaybının miktarı, kazan çıkışında ve baca gazı çıkışında yapılan O₂ ölçümleri ile kolaylıkla belirlenebilir. Fazla sızıntı hava debisi, gazın özgül ısısı, baca gazı ve ortam sıcaklıkları kullanılarak enerji kaybı ve tasarruf potansiyeli hesap edilmiş ve sonuçlar Çizelge 6.2.'de verilmiştir.

Çizelge 6.2. Kazan fazla sızıntı hava kaybının önlenmesi ile elde edilecek tasarruf miktarı.

Parametre	Ölçü Sonucu
Sızıntı hava gazı debisi (Nm ³ /s)	11,25
Yakma havası debisi (Nm ³ /s)	26,59
Kabul edilebilir sızıntı debisi (Nm ³ /s)	2,66
Fazla sızıntı hava debisi (Nm ³ /s)	8,59
Lüvo çıkış egzoz gazı sıcaklığı (K)	400,2
Ortam sıcaklığı (K)	293,15
C _p (kJ/Nm ³ K)	1,36
Enerji tasarrufu (kW)	1251,6
Yıllık kazan çalışma süresi (h)	5840
Yıllık enerji tasarrufu (kJ)	26.313.533.431,98

6.2. TOPLAM TASARRUF MİKTARI

Yukarıda belirtilen tüm tasarruf potansiyellerinin değerlendirilmesi durumunda enerji, kömür eşdeğeri cinsinden yakıt ve bunların mali değerleri Çizelge 6.3’de verilmiştir.

Çizelge 6.3. Potansiyel tasarruf imkanları sonucunda.

TASARRUFUN ADI	Enerji (kW)	Kömür Eşdeğeri (Kg/h)	Yıllık Mali Değeri (USD)
Fazla sızıntı hava kaybının önlenmesi	1251,6	184	214.978
Fazla Havanın azaltılması	550,1	81	94.487
TOPLAM	1801,7	265	309.465

6.3. YATIRIMLAR VE GERİ ÖDEME SÜRELERİ

Yukarıdaki hesaplanan tasarruf potansiyel alanlardan “fazla havanın azaltılması” için her hangi bir yatırım gerekmemektedir.

Yukarıdaki belirtilen tasarruf potansiyelleri sonunda ulaşılabilecek verim değeri hesaplanarak Çizelge 6.4’de verilmiştir.

Çizelge 6.4. Potansiyel tasarruf imkanları sonucunda erişilebilecek verim değerleri.

Parametre	Ölçüm Değeri
Tasarruf edilen enerji (Q_t , kW)	1801,7
Tasarruf sonucu suya verilecek enerji (Q_H+Q_t , kW)	69.235,34
Yakıt ısısı (Q_y)	79.055,83
Genel verim ($(Q_H+Q_t)/Q_y$) (%)	87,6

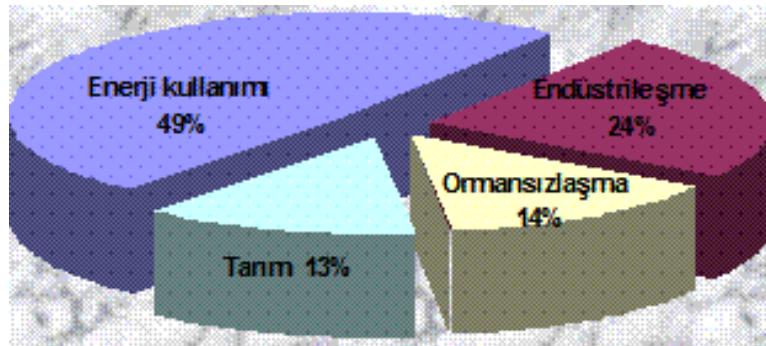
Çizelgeden de görüldüğü gibi tasarruf imkanlarının değerlendirilmesi durumunda başlangıçta %85,3 olan kazan verimi %87,6’a çıkabilecektir.

BÖLÜM 7

ÇEVRESEL BOYUT

Dünya atmosferi çeşitli gazlardan oluşur. Ayrıca küçük miktarlarda bazı asal gazlar bulunmaktadır. Güneşten gelen ışınlar (ısı ışınları/kısa dalgalı ışınlar), atmosferi geçerek yeryüzünü ısıtır. Atmosferdeki gazlar, yeryüzündeki ısının bir kısmını tutar ve yeryüzünün ısı kaybına engel olurlar. Atmosferin, ışığı geçirme ve ısıyı tutma özelliği vardır. Atmosferin ısıyı tutma yeteneği sayesinde suların sıcaklığı dengede kalır. Böylece nehirlerin ve okyanusların donması engellenmiş olur. Bu şekilde oluşan, atmosferin ısıtma ve yalıtma etkisine "Sera etkisi" denir.

Dünya'da başlıca sera etkisine neden olan gazlar %36-70 Su buharı, %9-26 Karbon dioksit, %4-9 Metan ve %3-7 ile Ozon'dur. Sera gazlarının bir kısmı kendi kendine oluşurken, bir kısmı da insanlar tarafından üretilir. Doğal yollarla oluşan sera gazları su buharı, karbondioksit, metan, nitroz oksit ve ozon içerir. İnsan etkinlikleri sonucunda da bu gaz seviyelerine eklemeler olur ve bunun sonucunda da sera etkisi görülür. İnsanlar tarafından yapılan işler dikkate alındığından sera etkisinin dağılımı Şekil.7.2'deki gibidir.



Şekil 7.2. Küresel ısınma faktörleri.

Kömür, doğalgaz ve fuel oil gibi fosil yakıtlar, yüksek basınç altında oluşmuş ve karbondioksit içeriği bakımından çok zengin organik maddelerdir. Bu yakıtların kullanımı sonucunda CO₂ gazı açığa çıkar ve atmosfere karışır.

Normalde karbon döngüsünün bir parçası olan bu olay, fosil yakıtların kullanımının artması ile atmosferdeki CO₂ miktarının normalden yüksek seviyelere çıkmasına neden olur. Havanın başlıca iki bileşeni olan oksijen ve azot gazları, güneşin gözle görülebilen dalga boylu ışınlarını yansıtır ve morötesi ışınmaların bir kısmını da absorblar (soğurur). Dünya yüzeyine ulaşabilen güneş ışınları, yeryüzü tarafından soğurularak ısıya dönüştürülür. Bu ısı, yeryüzündeki atomların titreşimine ve kızılötesi ısıma yapmalarına neden olur. Bu kızılötesi ısınmalar, oksijen veya azot gazı tarafından soğurulmaz. Ancak havada bulunan CO₂ ve CFC (kloroflorokarbon) gazları, kızılötesi ısınmaların bir kısmını soğurarak, atmosferden dışarı çıkmalarını engeller. Bu soğurma olayı, atmosferin ısınmasına yol açar. Bunun sonucunda dünya, güneşin altına park edilmiş bir arabanın içi gibi ısınır. İşte bu etkiye, "sera etkisi" adı verilir; atmosferdeki sera etkisi aşağıdaki Şekil.7.3'deki gibidir;



Şekil 7.3. Atmosferin sera etkisi.

Tesiste kok gazı ve kömür yakıt olarak kullanıldığından çevresel boyutunu incelediğimizde en önemli sera gazı etkisi gösteren gaz CO₂ emisyonudur. CO₂ emisyonunun atmosfere salınımının azaltılması gerekmektedir.

Tasarruf edilecek kömür eşdeğer enerjinin üretilmesi için oluşacak CO₂ salınımı;

$$\begin{aligned} \text{Kömür içerisindeki C oranı} \times \text{tasarruf edilen kömür debisi} \times \text{CO}_2 \text{ mol ağırlığı} / \text{C} \\ \text{mol ağırlığı} &= 0,6543 \times 265 \times 44/12 = 635,76 \text{ kg/h} \\ \text{Yıllık CO}_2 \text{ azaltım miktarı} &= \text{CO}_2 \text{ kütleli debisi} \times \text{yıllık çalışma saati} \\ &= 635,76 \times 5840 / 1000 = 3712,85 \text{ ton} \end{aligned}$$

BÖLÜM 8

SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada bir sanayi kuruluşuna ait buhar kazanında enerji verimliliği çalışmalarına yönelik Sıcaklık, basınç, hız, ve gaz emisyon ölçümleri yapılmış ve enerji, kütle dengeleri ve ekserji analizi ölçümleri yapılmıştır. Ölçüm ve doğruluğundan emin olunan mevcut sayaç değerleri kullanılarak gerekli hesaplamalar yapılmış, kütle ve enerji dengesi kurulmuş ve tasarruf potansiyelleri ortaya konmuştur. Başlıca verim kayıpları; kazanların yüksek hava fazlalık katsayılarında çalıştırılması ve yüzey ısı kayıpları olarak belirlenmiştir.

Buna göre kazana ait bulgular aşağıda maddeler halinde sunulmuştur.

- Kazan tasarım şartlarına yakın çalıştığı, buna rağmen belli oranda tasarruf potansiyeli olduğu tespit edilmiştir.
- Tespit edilen verim kayıpları ise: döner hava ısıtıcılarındaki fazla sızıntı hava kaybı ve kazanın yüksek hava fazlalık katsayısı ile çalıştırılması olarak belirlenmiştir.
- Kazan yanma gazı ölçümlerinde karbon monoksit (CO) değeri sifıra yakın okunmuştur. Bu nedenle bu kazanda eksik yanma açısından bir problem görülmemiştir. Ancak kazanın optimumun üzerinde bir yanma havasıyla çalıştırıldığı tespit edilmiştir.
- Kazanların optimum hava fazlalık katsayılarında çalıştırılması durumunda bir yatırım gerekmemektedir. Fazla sızıntı hava kaybının azaltılması ise yatırımla mümkün olacaktır.

- Normal işletme koşulları için kazan verimi %85,3 toplam tasarruf potansiyeli 1801,7 kW, bu enerjinin kömür eşdeğeri yıllık mali değeri 309.465 USD, tasarruf sonucu kazan verimi ise % 87,6 olarak bulunmuştur.

KAYNAKLAR

1. Kaya, D. ve Eyidogan, M.. “Energy conservation opportunity in boiler systems”, *J. Energy Resources Technology*, 131 (3) : 032401 (2009).
2. Kaya, D. ve Eyidogan, M. “Energy conservation opportunities in an industrial boiler system”, *J. Energy Engineering*, 136 (1) : 18-25 (2010).
3. R. Saidur, J.U. Ahamed, and H.H. Masjuki, “Energy and economic analysis of industrial boilers”, *Energy Policy*, 38 : 2188–2197 (2009).
4. Chelemuge, T., Namioka, K, Yoshikawa M., Takeshita and K. Fujiwara, “Commercial-scale demonstration of pollutant emission reduction and energy saving for industrial boilers by employing water/oil emulsified fuel”, *Applied Energy*, 93: 1-754 (2012).
5. İnternet: İGDAŞ “2000 Buhar Kazanları” <http://www.igdas.com.tr/Docs/Pdf/BuharKazanlari.pdf> (2000)
6. Kaya, D., Sener, T., Sarac, H.I. ve Cankakilic, F. “Energy Conservation Opportunity in Boiler Systems”, *Energy Efficiency Congress*, Kocaeli, 207-222, (2007).
7. Stultz, S. C., and Kitto, J. B. “Steam Its Generation And Use, 40 th Edition”, *Babcock & Wilcox Company*, Barberton, Ohio, USA, 85- 101 (1992).
8. Rosen, M. A., and Dincer, I. “Exergy analysis of waste emissions”. *International Journal of Energy Research*, 23 (13) : 1153-1163 (1999).
9. West, T. From “Mechanical to Electronic Control in Industrial Burners, Technical Bulletin”, *Energy Technology and Control Ltd*, U.K., 152-160 (2002).
10. Saidur R., J.U.Ahamed, and H.H.Masjuki “Energy, exergy and economic analysis of industrial boilers”, *Energy Policy*, 38 : 2188–2197 (2010).
11. Bazooyar B. and A. Ghorbani, A. “Shariati, Combustion performance and emissions of petrodiesel and biodiesels based on various vegetable oils in a semi industrial boiler”, *Fuel*, 90 : 3078–3092 (2011).
12. Sayin, C. and Hosoz, M., Canakci, M., and Kilicaslan, I. “Energy and exergy analyses of a gasoline engine”, *International Journal of Energy Research*, 31: 259–273(2007).

13. Kaya, D. and GÜngör C. “Energy Saving Potential in Industry-I”, *Engineer and Machine*, 514 : 20-30 (2002).
14. Kaya, D. and GÜngör C. “Energy Saving Potential in Industry-II”, *Engineer and Machine*, 515 : 36-44 (2002).
15. Yang M., and R.Dixon, “Investing in efficient industrial boiler systems in China and Vietnam”, *Energy Policy*, 40 : 432–437 (2012).

ÖZGEÇMİŞ

Fatma TURHAN 1983 yılında İstanbul'da doğdu; ilk ve orta öğrenimini Kocaeli'nde tamamladı. 2002 yılında Sakarya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Çevre Mühendisliği öğrenime başlayıp 2006 yılında mezun oldu. 2006 yılında Özel bir Arıtsan Çevre Ölçüm ve Analiz Laboratuvarında Laboratuvar Şefi olarak göreve başladım. Mart, 2008'de Arıtsan laboratuvarındaki görevinden ayrıлып, 2008-2010 yılları arasında Eşçem Enerji Sistemleri ve Çevre Etüt Merkezi'nde Kalite Sorumlusu olarak görev aldı. 2010 yılında Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Enerji Sistemleri Mühendisliği'nde yüksek lisans programına başladı. 2011 yılında SGS Çevre Ölçüm ve Analiz laboratuvarında göreve başladı ve halen aynı yerde çalışmaya devam etmektedir.

ADRES BİLGİLERİ

Adres : Dumlupınar Mah. Aslantaş Sok.
No:1/16 Derince/KOCAELİ
Tel : (0505) 271 31 58
E-posta : fatmatrh@gmail.com

Fatma TURHAN tarafından hazırlanan “ENDÜSTRİYEL BİR BUHAR KAZANINDA ENERJİ VERİMLİLİĞİ VE ÇEVRESEL ETKİLERİ” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarız..

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. 28/06/2012

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Doç. Dr. Mehmet ÖZKAYMAK (KBÜ)

Üye : Prof. Dr. Durmuş KAYA (KBÜ)

Üye : Doç. Dr. Sezayi YILMAZ (KBÜ)

...../...../2012

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

Prof. Dr. Nizamettin KAHRAMAN

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü