

**T.C.
ERCIYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**BİR ENERJİ SİSTEMİNDE YANMA VERİMİ VE ISI İLETİM
HATLARININ İYİLEŞTİRİLMESİ İLE ENERJİ VERİMLİLİĞİNİN
ARTIRILMASI**

**Hazırlayan
Harun BULANIKOĞLU**

**Danışman
Doç. Dr. M. Serdar GENÇ**

Yüksek Lisans Tezi

**Şubat 2014
KAYSERİ**

**T.C.
ERCIYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ENERJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**BİR ENERJİ SİSTEMİNDE YANMA VERİMİ VE ISI İLETİM
HATLARININ İYİLEŞTİRİLMESİ İLE ENERJİ VERİMLİLİĞİNİN
ARTIRILMASI
(Yüksek Lisans Tezi)**

**Hazırlayan
Harun BULANIKOĞLU**

**Danışman
Doç. Dr. M. Serdar GENÇ**

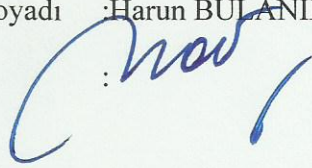
**Şubat 2014
KAYSERİ**

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK

Bu çalışmadaki tüm bilgilerin, akademik ve etik kurallara uygun bir şekilde elde edildiğini beyan ederim. Aynı zamanda bu kural ve davranışların gerektirdiği gibi, bu çalışmanın özünde olmayan tüm materyal ve sonuçları tam olarak aktardığımı ve referans gösterdiğimi belirtirim.

Adı-Soyadı : Harun BULANIKOĞLU

İmza :



YÖNERGEYE UYGUNLUK

“Bir Enerji Sisteminde Yanma Verimi Ve Isı İletim Hatlarının İyileştirilmesi İle Enerji Verimliliğinin Artırılması” adlı Yüksek Lisans tezi, Erciyes Üniversitesi Lisansüstü Tez Önerisi ve Tez Yazma Yönergesi’ne uygun olarak hazırlanmıştır.

Tezi Hazırlayan


Harun BULANIKOĞLU

 Danışman

Doç. Dr. M. Serdar GENÇ

Ana Bilim Dalı Başkanı


Prof. Dr. Hüseyin YAPICI

Doç. Dr. M. Serdar GENÇ danışmanlığında **Harun BULANIKOĞLU** tarafından hazırlanan “**Bir Enerji Sisteminde Yanma Verimi Ve Isı İletim Hatlarının İyileştirilmesi İle Enerji Verimliliğinin Artırılması**” adlı bu çalışma, jürimiz tarafından Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalında **Yüksek Lisans** tezi olarak kabul edilmiştir.

...../11/02/2014

JÜRİ:

Danışman :Doç.Dr. M.Serdar GENÇ

Üye :Prof.Dr. Hüseyin YAPICI

Üye :Doç.Dr. Kemal ATIK

.....
.....
.....

ONAY:

Bu tezin kabulü Enstitü Yönetim Kurulunun 18/02/2014 tarih ve 2014/09-14 sayılı kararı ile onaylanmıştır.

.....18/02/2014
.....
.....

Prof. Dr. Kâzım KEŞLİOĞLU

Enstitü Müdürü

ÖNSÖZ / TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca farklı bakış açıları ve bilimsel katkılarıyla beni aydınlatan, yakın ilgi ve yardımlarını esirgemeyen ve bu günlere gelmemde en büyük katkı sahibi sayın hocam Doç. Dr. M.Serdar GENÇ'e teşekkürü bir borç bilirim.

Ayrıca; çalışmalarım süresince sabır göstererek beni daima destekleyen aileme en içten teşekkürlerimi sunarım.


Harun BULANKOĞLU
Kayseri, Ocak 2014

BİR ENERJİ SİSTEMİNDE YANMA VERİMİ VE ISI İLETİM HATLARININ İYİLEŞTİRİLMESİ İLE ENERJİ VERİMLİLİĞİNİN ARTIRILMASI

Harun BULANIKOĞLU

Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü

Yüksek Lisans Tezi, Ocak 2014

Danışman: Doç. Dr. M.Serdar GENÇ

ÖZET

Enerji verimliliği, binalarda yaşam standardını ve hizmet kalitesini, endüstriyel işletmelerde ise üretim miktarını azaltmadan ve üretim kalitesini düşürmeden üretim miktarı başına tüketilen enerjinin azaltılması anlamına gelmektedir. Hayatın her alanında enerji verimliliği kullanılarak ihtiyaçları kısıtlamaksızın çevrenin korunmasına, aile bütçesine ve ülke ekonomisine katkıda bulunmak mümkün olmaktadır.

Enerji yönetimi, enerji kaynaklarının verimli kullanılması için planlama faaliyetleri, izleme faaliyetleri, araştırma faaliyetleri ve eğitim faaliyetlerinin yürütülmesi olarak tanımlanmıştır. Belirli miktarın üzerinde enerji tüketen kamu kurumlarının, endüstriyel tesislerin ve ticari işletmelerin enerji yönetici atamaları veya enerji yönetim birimi kurmaları zorunludur.

Bu çalışma binden fazla işçi çalıştıran Kayseri'deki bir endüstriyel işletmede gerçekleştirilmiştir. Bu endüstriyel işletmede kurulan enerji yönetim teşkilatının enerji sisteminde ısı transfer hatlarının iyileştirilerek ve yanma verimliliğini artırarak enerji verimliliğinin artırılmasına yönelik gerçekleştirilen faaliyetleri anlatılmıştır.

Enerji sisteminde yanma verimliliği belirlenmesi için baca gazı analiz edilmiş, yanma verimliliğinin en önemli etkenlerinden biri olan hava fazlalık katsayısı ve emisyon dağılımı belirlenmiştir. Yapılan deneysel çalışmaların sonunda CO emisyonu azalırken hava fazlalık katsayısının arttığı, NO_x emisyon değişiminin, hava fazlalık katsayısına ve yakıt içerisinde azot miktarına bağlı olduğu belirlenmiştir. Hava fazlalık katsayısı artarken baca gazı sıcaklığı ve NO_x emisyonu azaldığı, hava fazlalık katsayısı artarken ısı verimliliğinin azaldığı tespit edilmiştir. Bu sonuçlar literatürdeki çalışmalar ile paralel olduğu görülmüştür.

Önceki döneme göre tüketilen yakıt miktarı ve bakım maliyetleri karşılaştırıldığı zaman yıpranmış ve izolasyon özelliğini yitirmiş ısı transfer hatlarının ön izolasyonlu borular ile değiştirilmesi iyileştirme faaliyetlerinin sonucunda aylık bazda bakım maliyetleri düşürüldüğü ve % 6.5 ve % 30 yakıt tasarrufu sağlandığı gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: enerji verimliliği; enerji yönetimi; yanma verimi; ön yalıtımlı borular;

**IMPROVE ENERGY EFFICIENCY BY BOOSTING COMBUSTION
EFFICIENCY AND HEAT TRANSFER LINE IN AN ENERGY SYSTEM**

Harun BULANIKOĞLU

Erciyes University, Graduate School of Natural and Applied Sciences

M.Sc. Thesis, January 2014

Supervisor: Doç. Dr. M. Serdar GENÇ

ABSTRACT

Energy efficiency means to reduce life standard and service quality at the building provided that it means to reduce energy consumption per production quantity and service without cause to reduce production quality and quantity at the industrial enterprises. It's possible to contribute national economy, family budget and saving environment without limit requirement by using energy efficiency every area of life.

Energy management is defined as conducting education, study, monitoring and planning activity to provide to use efficiently energy resource. It's compulsory to establish energy administrative unit or nominate energy manager at all commercial, industrial enterprises or state-owned enterprises which consume energy that over determined quantity.

In this thesis study was performed in an industrial enterprise which employ over one thousand worker in Kayseri. Activities of energy management organization established at this industrial enterprise to improve energy efficiency by boosting combustion efficiency and heat transfer line in an energy system are explained.

Flue gas was analyzed for combustion efficiency in energy system, air excess coefficient which the most important affect of combustion efficiency and variation of emission distribution is determined. At the end of the experimental study, CO emission decreases while air excess coefficient increase, NO_x emission changes depend on air excess coefficient and quantity of nitrogen in fuel is ascertained. Flue gas's heat and NO_x emission decreases while air excess coefficient increase, thermal efficiency decreases while air excess coefficient increase was determined. These results also parallel with studies in the literature that has been seen.

Conclude of improvement activities that heat pipe line which worn and lost its insulation property by replacing pre-insulated pipe is reduced maintenance cost and saved fuel between 6.5 % and 30 % on a monthly basis when compare consumed fuel previous period is observed.

Keywords: Energy efficiency; energy management; combustion efficiency; pre-insulated pipes;

İÇİNDEKİLER

BİR ENERJİ SİSTEMİNDE YANMA VERİMİ VE ISI İLETİM HATLARININ İYİLEŞTİRİLMESİ İLE ENERJİ VERİMLİLİĞİNİN ARTIRILMASI

	<u>Sayfa</u>
BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK SAYFASI.....	ii
YÖNERGEYE UYGUNLUK SAYFASI.....	iii
KABUL VE ONAY SAYFASI.....	iv
TEŞEKKÜR	v
ÖZET	vi
ABSTRACT	viii
İÇİNDEKİLER.....	x
KISALTMA VE SİMGELER	xii
TABLOLAR LİSTESİ.....	xiii
ŞEKİLLER LİSTESİ	xiv
GİRİŞ	1

1. BÖLÜM

GENEL BİLGİLER ve LİTERATÜR ÇALIŞMASI

Literatür Taraması	4
--------------------------	---

2. BÖLÜM

KAZANLARDA YANMA VERİMİNİN ARTIRILMASI VE ISI İLETİM HATLARININ İYİLEŞTİRİLMESİ

2.1. Giriş	13
2.2. Kazanlarda Yanma Veriminin Artırılması	14

2.2.1. Yanma ve Emisyonlar	16
2.2.1.1. Tam Yanma Hali	16
2.2.1.2. Kazanlarda Yanma Verimini Etkileyen Faktörler.....	17
2.3. Yanma Veriminin Artırılması	27
2.3.1. Baca Gazı Bileşenleri ve Emisyonlar.....	28
2.3.2. Yanma Verimi, Kazan Verimi.....	30
2.3.3. Kazan Kapasitesi	31
2.3.4. Yakma Yönetim Sistemleri.....	31
2.4. Isı Geri Kazanım Sistemleri.....	33
2.4.1. Ekonomizerler.....	34
2.4.2. Hava Ön Isıtıcıları	37
2.4.3. Blöften Isı Geri Kazanımı.....	41
2.5. Isı İletim Hatlarının İyileştirilmesi	43
2.5.1. Isı Yalıtım Malzemeleri	43
2.5.2. Boru sisteminde ısı kayıplarının hesaplanması.....	45
2.5.3. Ön Yalıtımlı Borular.....	46

3. BÖLÜM

BULGULAR

3.1. Baca Gazı Analizleri ile Hava Fazlalık Katsayısının Ayarlanması ve Sonuçlarının Karşılaştırılması.....	49
3.2. Ön Yalıtımlı Borular ile Isı İletim Hatlarının İyileştirilmesi ve Sonuçların Karşılaştırılması.....	55

4. BÖLÜM

TARTIŞMA-SONUÇ ve ÖNERİLER

Tartışma Sonuç ve Öneriler	60
KAYNAKLAR.....	64
ÖZGEÇMİŞ	68

KISALTMALAR VE SİMGELER

<u>Sembol</u>	<u>Anlamı</u>	<u>Birimi</u>
DG	Derece Gün	--
XPS	Extrüde Polistren Köpük	--
PE	Polietilen	--
Pur	Poliüretan	--
YDM	Yaşam Döngüsü Maliyet	--
λ	Hava fazlalık katsayısı	--
L_{ideal}	Yakıtı verilmesi gereken ideal hava oranı	--
$L_{gerçek}$	Yakıtı verilen gerçek hava oranı	--
T	Baca gazı sıcaklığı	°C
η_y	Yanma verimi	(%)
η_k	Kazan verimi	(%)
Q_k	Kazan Kapasitesi	(Kcal/h)
B	Yakıt Debisi	(Kg/h, Nm ³ /h)
H_u	Yakıt Alt Isıl Değeri	(Kcal/kg, Kcal/Nm ³)
v_{Hky}	Katı yakıt özgül duman gazı hacmi	(Nm ³ /kg)
v_{Hsy}	Sıvı yakıt özgül duman gazı hacmi	(Nm ³ /kg)
v_{Hgy}	Gaz yakıt özgül duman gazı hacmi	(Nm ³ /kg)
c_v	Özgül ısınma ısısı	(Kcal/Nm ³ °C)
VH	Yanma sonucu oluşan hazın hacmi	(Nm ³ /h)
Qh	Bacadan atılan gazın ısı miktarı	(Kcal/h)
λ_q	Isıl iletkenlik katsayısı	(W/m.K)
Qb	Boru boyunca ısı kaybı	(Kcal)
A	Boru yüzey alanı	(m ²)
T_d	Dış ortam sıcaklığı	(K)
T_{ts}	Boru içerisindeki sıcak suyun ortalama sıcaklığı	(K)
U	Boru sistemi için toplam ısı transfer katsayısı	--
Rb	Boru sistemi ısı direnci	(m ² K/W)
hi, hd	Isı taşınım katsayısı	--

TABLULAR LİSTESİ

Tablo 2.1.	Fuel-oil kazanlarında yüzey kayıpları	24
Tablo 2.2.	Bazı yakıtlar için hava fazlalık katsayıları	28
Tablo 2.3.	Blöf miktarının azaltılması ile sağlanacak yakıt kazanç yüzdesi	42
Tablo 2.4.	Bazı malzemelerin ısı iletkenlik katsayıları	43
Tablo 2.5.	Yüzey sıcaklıklarına göre tavsiye edilen yalıtım kalınlığı	45
Tablo 2.6.	Boru İşletme Sıcaklığına göre tavsiye edilen yalıtım kalınlıkları.....	45
Tablo 3.1.	Yakıt tüketimleri karşılaştırması.....	59

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1.	Yanma havasının ısıtılması ile enerji ekonomisindeki artış	9
Şekil 2.1.	Çalışmanın yapıldığı kazan detayı	14
Şekil 2.2.	O ₂ ve CO ₂ 'ye bağlı fazla hava	18
Şekil 2.3.	Fazla hava ve yakıt kaybı	19
Şekil 2.4.	Motorin için baca gazı kayıpları	20
Şekil 2.5.	Kazandan çekilen yüke bağlı olarak kazan verimindeki değişimler	23
Şekil 2.6.	Kondens geri dönüş oranına ve kondensat sıcaklığına bağlı olarak kazan verimi	26
Şekil 2.7.	Yakma havası ön ısıtma sıcaklığı ve verim artışı	27
Şekil 2.8.	Bacadan çıkan duman gazlarında CO ₂ , O ₂ , CO ilişkisi	29
Şekil 2.9.	Yakma yönetim sistemi ana kontrol modülü ..	32
Şekil 2.10	Baca gazlarının 50°C'ye soğutulmasıyla elde edilen enerjiyle sıcak su elde edilmesi	35
Şekil 2.11	Su borulu ekonomizer.....	36
Şekil 2.12.	Hava ön ısıtıcı genel görünümü	38
Şekil 2.13.	Basit bir rejeneratör.....	39
Şekil 2.14.	Basit bir reküperatör.....	40
Şekil 2.15.	Blöften flaş buhar elde edilmesi.....	42
Şekil 2.16.	Tipik boru kesiti.....	45
Şekil 3.1.	Çalışma yapılan kazan dairesi	48
Şekil 3.2.	Baca gazı ölçüm cihazı.....	49
Şekil 3.3.	Baca gazı ölçüm düzeneği.	50
Şekil 3.4.	Hava fazlalık katsayısı ve CO emisyonu değişimi.....	51
Şekil 3.5.	Hava fazlalık katsayısı ve NO _x emisyonu değişimi.....	52
Şekil 3.6.	Hava fazlalık katsayısı ve CO ₂ emisyonu değişimi.....	53
Şekil 3.7.	Hava fazlalık katsayısı ve O ₂ emisyonu değişimi.....	53
Şekil 3.8.	Hava fazlalık katsayısının baca gazı sıcaklığına etkisi.....	54
Şekil 3.9.	Hava fazlalık katsayısının ısı verime etkisi.	54
Şekil 3.10.	Isıtma merkezinin mevcut durumu	56
Şekil 3.11.	Isıtma merkezi yenileme projesi.	57
Şekil 3.12.	Ön yalıtımlı borular ve zeminde uygulaması.....	58

GİRİŞ

Çağımızda, kişi başına enerji tüketimi bir gelişmişlik göstergesi olmaktan çıkmış durumdadır. Artık amaç; kişi başına enerji tüketimini artırmak değil, bir birim enerji ile en fazla üretimi ve refahı yaratmaktır. Günümüzde 120 metrekarelik 4 kişilik bir ailenin evinde sadece yemeklerin pişirilmesi ve saklanması, bulaşık ve çamaşırların yıkanması, eğlence araçlarının kullanılması ve aydınlatma için harcanan enerji yılda 6,000 kWh civarındadır. Konutlarda tüketilen enerjinin %85'i ısıtma ve sıcak su üretiminde, %15'i elektrik olarak kullanılmaktadır. Bugün Türkiye'de yaşayan herkes yılda en az 5 ton karbondioksit üreterek küresel ısınmayı artırıyor ve çevreye zarar veriyor. Ancak enerji verimliliği sağlayacak küçük önlemlerle bunun önüne geçmek mümkün olabilir.

Enerji verimliliği; binalarda yaşam standardı ve hizmet kalitesinin, endüstriyel işletmelerde ise üretim kalitesi ve miktarının düşüşüne yol açmadan, birim hizmet veya ürün miktarı başına enerji tüketiminin azaltılması anlamına geliyor. 5,627 sayılı Enerji Verimliliği Kanunu ile enerjinin etkin kullanılması, israfının önlenmesi, enerji maliyetlerinin ekonomi üzerindeki yükünün hafifletilmesi ve çevrenin korunması için enerji kaynaklarının ve enerjinin kullanımında verimliliğin artırılması hedeflenmiştir.

Kanun ile enerji yönetimi, enerji kaynaklarının ve enerjinin verimli kullanılmasını sağlamak üzere yürütülen eğitim, etüt, ölçüm, izleme, planlama ve uygulama faaliyetleri olarak tanımlanmış ve belirli miktarın üzerinde enerji tüketen tüm kamu kesimi, ticari ve sanayi işletmelerde enerji yöneticisi görevlendirilmesi veya enerji yönetim birimi kurulması zorunlu kılınmıştır.

Enerji yönetiminin başarılı bir şekilde uygulanabilmesi için; kurum üst yönetiminin desteği hayati önemdedir. Kurumun karar mekanizmalarında enerji yönetimi stratejik yaklaşımla bütüncül olarak ele alınmalıdır. Enerji verimliliği tüm kurum personelinin bilinçlendirilmesinden başlayarak enerji kullanan tüm sistemlerde düşünülmelidir.

Enerji verimliliği iki biçimde gerçekleştirilebiliyor: birincisi; doğrudan enerji verimli ev, araba ve cihazları kullanmak, alışkanlıkları ve günlük davranışları enerjiyi daha verimli kullanacak biçimde düzenlemek gibi somut önlemlerden oluşuyor. İkincisi ise, dolaylı enerji verimliliği yöntemi olup; mevcut malların daha uzun süre kullanılmasını sağlayarak yeni malların üretimini azaltmak, enerji tüketimini minimize edecek biçimde yerleşim yerlerini düzenlemek, ekonomide doğrudan materyal tüketiminin olmadığı etkinliklere geçiş yapmak gibi önlemleri kapsamaktadır [1].

Enerji yönetiminin maliyet etkin olduğu zaman içerisinde tekrar tekrar kanıtlanmıştır. Enerji yönetiminin uygulanmasıyla; % 5-15 oranında enerji tasarrufu genellikle hiçbir sermaye harcaması yapılmadan gerçekleştirilebilmektedir. % 30 oranında bir tasarrufa yaygın olarak rastlanmakta hatta % 50- 60 oranında tasarruf edilmesi mümkündür [2].

Plesis ve diğerleri [3] büyük miktarda enerji tüketen derin bir madende enerji yönetimi uygulamasını araştırmıştır. Madenin yeraltına giden soğutma ve havalandırma sistemlerinin enerji tüketiminde otomasyon sistemi kurulmuştur. Geliştirilen yazılım ile tüm enerji tüketimleri gerçek zamanlı olarak, izleme, raporlama ve analiz edilmiştir. Yapılan hesaplamalarda %33 oranında tasarruf edildiği anlaşılmıştır.

Isıtma, soğutma ve havalandırma sistemleri (HVAC) büyük miktarda enerji tüketmektedir. Özellikle ısıtma amaçlı olarak çalıştırılan kazanlarda sağlanacak verim artışının önemi açıktır. Yu ve arkadaşları [4] yanma veriminin artırılması için; brülörlerde değişik hava fazlalık katsayıları kullanarak, ısı verim ve baca gazı emisyonlarını deneysel ve sayısal olarak ölçmüşlerdir.

Bir binanın ısıtılması için harcanan enerjinin azaltılmasında mekanik tesisat yalıtımı çok önemlidir. Özellikle bölgesel ısıtma boru hatlarındaki ısı kayıpları çok büyük olmaktadır. Bu hatlar yalıtıldıkları takdirde sağlanacak enerji tasarrufu çok büyüktür. Küçük çaplı borulara göre büyük çaplı borulardaki yalıtım ile de daha çok enerji tasarrufu yapılabildiği, derece-gün değerlerin artması durumunda optimum yalıtım kalınlığı ve yıllık tasarruflar artarken geri dönüş sürelerinin azaldığı görülmüştür [5].

Bu tez çalışmanın amacı, Kayseri İlinde havacılık alanında faaliyet gösteren bir işletmede kurulmuş olan enerji yönetim teşkilatının, enerji verimliliğini artırmak üzere; kazanlarda yanma verimlerinin artırılması ve ısı iletim hatlarının iyileştirilmesi amacıyla yaptığı çalışmalardan elde edilen sonuçların sunulmasıdır.

Tez çalışması kapsamında ilk önce enerji verimliliği ve enerji yönetimine dair genel bilgiler verilmiştir. Birinci bölümde yanma veriminin artırılmasına yönelik olarak yapılan çalışmalar ikinci bölümde ise ısı iletim hatlarının iyileştirilmesine yönelik çalışmalar sunulmuştur. Yanma veriminin artırılmasına yönelik olarak yapılan çalışmalar iki kısımda sunulmuştur. Birinci kısımda baca gazı analiz cihazı yardımıyla yakıt hava oranlarının ayarlanması ve yakma yönetim sistemleri, brülör kontrol sistemleri ile yakma sistemlerinin iyileştirilmesi hakkında yapılan çalışmalar, ikinci kısımda ise çeşitli yöntemler kullanılarak geliştirilen ısı geri kazanım sistemlerinden bahsedilmiştir. İkinci bölümde ise elde edilen ısıyı istenilen mekâna götüren ısı iletim hatlarında ısı kayıplarının azaltılmasına yönelik çalışmalar ve hatların yalıtımlarının iyileştirilmesine yönelik yeni teknoloji malzemeler hakkındaki çalışmalar sunulmuştur.

Tez çalışmasında daha önceki çalışmalarda kullanılan yöntemler incelenmiştir. Bu çalışmalar yapılışı açısından bazı noktalarda diğer çalışmalar ile paralellik arz ederken bazı noktalarda ise ayrılmaktadır. Önceki çalışmalara ilişkin detaylı bilgi literatür taraması kısmında verilmiştir. Kısaca bu tez çalışmasının özellikleri özetlenecek olursa;

- Uygulama ağırlıklı bir çalışmadır,
- Yanma veriminin artırılması için üç farklı kazanda çeşitli hava fazlalık katsayıları kullanılarak baca gazı ölçümleri yapılmıştır.
- Baca gazı ölçümleri sonucunda kazanların ısı verimleri hesaplanmış, en uygun hava fazlalık katsayıları belirlenmiştir.
- Kazanlarda çevreye zarar veren emisyonların ilgili mevzuattaki değerleri sağlayacak şekilde çalıştırılması için gerekli değerler belirlenmiştir.
- Isı iletim hatlarının iyileştirilmesi için ön yalıtımlı borular kullanılmıştır.
- Isı iletim hatları yenilenmeden önceki ve sonraki yakıt karşılaştırmalı olarak sunulmuştur.

1. BÖLÜM

LİTERATÜR TARAMASI

Bu bölümde tez çalışmasında kullanılan bilimsel metotlara ilişkin literatür taraması sunulmuştur. Tez çalışması kapsamında enerji verimliliğinin artırılması amacı ile bir enerji sisteminde yanma verimi ve ısı iletim hatlarının iyileştirilmesi hakkında yapılan önceki çalışmalar özet olarak sunulmuştur. İşletme ve kurumlarda aynı zamanda tüketilen enerji miktarına bağlı olarak kurulması yasal bir zorunlulukta olan enerji yönetimi teşkilatının enerji verimliliğini artırmaya yönelik çalışma yapması gerekmektedir. Bu kapsamda tezin uygulamasını yapıldığı işletmede enerji yönetimi teşkilatının çalışmalarından bahsedilecektir.

Enerji verimliliği son 50 yılda ortaya çıkmış ve petrol krizleri, sürdürülebilir enerjinin sağlanması, 1990'lı yıllarda ortaya çıkan çevre bilinci ve enerjide dışa bağımlılığın azaltılmak istenmesi gibi nedenlerden dolayı önemini artırmıştır. Dünyada ekonomik krizlerin ortaya çıkmasının ardından sektörler bazında ayrı ayrı veya birlikte bir takım çalışmalar gündeme gelmekte ve uygulamaya konmaktadır. En ucuz enerji tasarruf edilen enerjidir sözü prensip haline gelmiştir. Tasarruf edilen enerji, hizmetler için sanki ilave bir enerji kaynağı gibi kullanıma hazırdır ve gelecekte bir arz kaynağı olarak görülmeye başlanacaktır [6].

Enerji verimliliği, harcanan her birim enerjinin daha fazla hizmet ve ürüne dönüşmesidir. Türkiye'de bir birim katma değer yaratabilmek için birçok ülkeye göre daha çok enerji harcanmaktadır. Günümüzde, endüstrileşmiş ülkelerde yeni teknolojiler eski teknolojilere göre birim ürün veya hizmet başına 4-10 kez daha az enerji tüketmektedir. Dolayısıyla tüketilen fazladan enerji ile de gerçek gereksinimlerin birkaç

misli enerji üretilmesini gerekli kılmaktadır. Bunu önlemek için 5627 sayılı Enerji Verimliliği Kanunu kapsamında; sanayide, binalarda, ulaşımda ve enerji sektöründe, birim milli gelir başına tüketilen enerjinin (enerji yoğunluğunun), 2020 yılına kadar en az % 15 azaltılması planlanmaktadır. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığının 2010-2014 stratejik planına göre; yürütülen ve planlanan çalışmalar kapsamında birincil enerji yoğunluğunun 2015 yılına kadar, 2008 yılına göre % 15, 2023 yılına kadar ise % 20 oranında düşürülmesi hedeflenmektedir.

Son yıllarda enerji yönetimi çalışmaları verimsiz ekipmanların değiştirilmesi ve tasarruf edilen enerjinin tahmini yöntemlerinden oluşmaktadır. Tecrübeler göstermiştir ki enerji verimliliği ile elde edilen olumlu etkiler zamanla azalmaktadır. Son on yıl içerisinde enerji tasarrufunun artırılmasına yönelik tutarlı bir enerji yönetimi sistemi uygulamak ve uygun standartlar oluşturmak üzerine önemli çalışmalar yapılmıştır. Gordic ve arkadaşları [7] enerji yönetimi gelişim süreçlerini Sırbistan'da faaliyet gösteren araba imalatçısına uygulamıştır. Enerji denetimi yapılmış, denetim sonuçlarına göre farklı enerji kaynakları (buhar, sıcak su, basınçlı hava, elektrik ve su) ile ilgili çeşitli enerji tasarrufu önlemleri belirlenmiş, uygulamaya alınmış ve sonuçlar değerlendirilmiştir. Ayrıca önerilen tedbirler yalnızca otomobil montaj sanayi ile sınırlı olmayıp, küçük değişiklikler ile diğer metal işleme tesislerine uygulanabileceği ve enerji maliyetlerini azaltarak karlılığı artıracak bir sistem geliştirilmiştir.

Günümüzde Kyoto Protokolü, Almanya'da çeşitli zamanlarda başlatılan enerji programlarında görülmektedir. Enerji yönetimi yaklaşımları bu tür yükümlülükler için bir cevap olabilir. Enerji yönetimi ve enerji verimliliği kazançlar üreten, yeni fikirler ve bilgiyi oluşturan dinamik bir süreç haline gelmiştir. Almanya'da sanayide verimliliği artırmak ve enerji yönetimi uygulamaları için enerji hizmet sağlayıcıları ile sözleşme imzalanmıştır. Kannan ve Boie [8] tarafından yapılan çalışmada enerji yönetimi uygulanmasında girişimciler için bir rehber çalışma yapılması hedeflenmiştir ve kullanılan araçlar, sonuçlar ve çalışma sırasında karşılaşılan güçlükler ele alınmıştır.

Enerji verimliliğinin önemi 1970'lerdeki petrol krizlerinin ardından daha iyi anlaşılmıştır. Dünya ekonomik olarak büyürken, yüksek verimden faydalanarak enerji bütçesi kısılmış ve çevrenin korunmasına önem verilmiştir. Türkiye'de enerji verimliliği

için talep 1980'lerde başlamıştır. Planlanan enerji tasarrufu faaliyetleri ilk olarak Elektrik İşleri Etüt İdaresi (EİE) Genel Müdürlüğü tarafından 1981 yılında uygulamaya konulmuştur. 1993 yılı başında, Ulusal Enerji Tasarrufu Merkezi (UETM) EİE bünyesinde kurulmuştur. EİE / UETM tarafından enerji tasarrufu için ülke çapında potansiyel incelenmiştir. Çalışma ile Türk sanayi sektöründe yaklaşık % 30 yıllık enerji tasarrufu potansiyeli olduğu sonucuna varılmıştır. Bu çalışmadan sonra, sanayide enerji verimliliği ile ilgili bir yönetmelik ile enerji yönetimi kursları tasarımı başlamıştır. Bu düzenlemeler sayesinde, Türk sanayi sektöründe enerji verimliliği ve yönetimi çalışmalarına yönelik uygulama çabaları hızlanmıştır [9].

Enerjinin çok önemli bir kısmı ısıtma sistemlerinde kullanılmakta olup, merkezi sistemlerde yapılacak iyileştirmeler sonucu büyük miktarda tasarruf sağlanabilmektedir [10]. Kanoğlu tarafından yapılan çalışmada enerji verimliliği üzerine örnek projeler sunulmuştur.

Geleneksel gaz yakıtlı kazan çıkışlarında baca gazı sıcaklığı genellikle yüksek olur ve ısı enerjisinin büyük miktarı çevreye kaybolur. Duyulur ısı ve gizli ısı hem yoğunlaşmalı eşanjör ekleyerek telafi edilebilir ise, kazan verimi % 10 kadar artırılabilir. Che ve arkadaşlarının çalışmasında [11], yanma ve ısı transferi hesapları, geri kazanılabilir ısı ve çeşitli çıkış baca gazı sıcaklıkları farklı ısı geri kazanım programlarının verimini artırma potansiyeline dayanan tasarım hesaplamaları yapılarak sunulmaktadır.

Yılmaz [12], iki farklı yakıt türü ve 3 farklı sıvı yakıt yakma sisteminde (kazanda) kazan baca bağlantı parçasından değişik radyal uzaklıklarda kazan yanma performansları ve emisyon davranışlarını deneysel olarak incelemiş ve en uygun hava fazlalık katsayısını belirlemeye çalışmıştır. 3 farklı kazan sisteminde ısı verim bakımından en yüksek değeri 6 numara fuel oil kullanılan kazanda $\lambda=1.30$ ve $\eta=93.6$ olarak bulmuştur.

Kazanların işletme dönemlerinde, yanma veriminin sürekli olarak yüksek tutulabilmesi için brülör ayarlarına zamanında müdahale gereklidir. Isıl verimim ölçülüp gerekli müdahalede bulunulması için baca gazı analizörü kullanma alışkanlığı önem kazanmaktadır. Isıl verimin belirlenmesinde genellikle işletme anında ölçülen değerler

esas alınmakta, ancak brülörlerin duruş zamanlarının neden olduğu kazan iç soğuma kayıpları göz ardı edilebilmektedir. Bilgin'in çalışmasında [13], baca gazı analizlerinin değerlendirilmesiyle, kazanlar ve brülörlerde alınması gereken önlemler ile iç soğumaya neden olan faktörler anlatılmaya çalışılmıştır.

İlbaş ve Yılmaz tarafından yapılan çalışmada [14]; hava fazlalık katsayısının yanma verimi ve emisyonlara etkisinin belirlenmesi amaçlanmıştır. İki farklı yakıt, üç farklı sıvı yakıt kazanında yakılmış ve duman kanalından değişik radyal uzaklıklarda kazan yanma verimleri ve emisyon davranışları deneysel olarak incelenmiş ve hava fazlalık değeri arttıkça NO_x emisyonunun genellikle azaldığı, SO_2 emisyonunun fazla değişmediği görülmüştür. Hava fazlalık değeri arttıkça CO emisyonunun ve ısı veriminin azaldığı görülmüştür.

Hızıroğlu [15], mikroişlemci kontrollü tam elektronik "Yakma Yönetim ve Brülör Kontrol Sistemi"nin genel çalışma prensipleri ve avantajlarını anlatmıştır. Brülörlerde elektronik yakma yönetim sistemlerinin kullanımı ile yakıt/hava oranı ayarının çok hassas yapılması ve bu sayede tüm yakma kademelerinde tam yanmanın ve sürekliliğinin sağlanması, aynı zamanda oransal çalışmayla (PID kontrol) birlikte kazan yüküne tam uyumun elde edilmesi ve gereksiz duruşların önlenmesi mümkün olmaktadır. Ayrıca, emisyon değerleri sürekli izlenerek, 3 parametrelili (O_2 , CO, CO_2) otomatik trim kontrol (ufak hava ayar düzeltmeleri) ile yanma ayarlarının dış hava şartlarından ve yakıt özelliği değişikliklerinden etkilenmemesi sağlanmaktadır. Bütün bunların sonucunda servis ve bakım maliyetleri düşmekte, verim artışı ve yakıt tasarrufu elde edilmektedir.

Kazanlarda enerji verimliliği, yanmanın mükemmelliğine ve yanma sonucu açığa çıkan ısı enerjisinin kazan içindeki akışkana transfer edilme oranına bağlıdır. Baca gazı emisyonları ise yanma kalitesine, ocak ve brülör tasarımına, ayrıca kullanılan yakıt içerisindeki kirleticilere bağlıdır [16].

Yanma veriminin artırılmasına yönelik çalışmaların bir bölümü de ısı geri kazanım sistemleridir. Isı geri kazanım sistemleri; Baca gazından atık ısı olarak atılan enerjinin

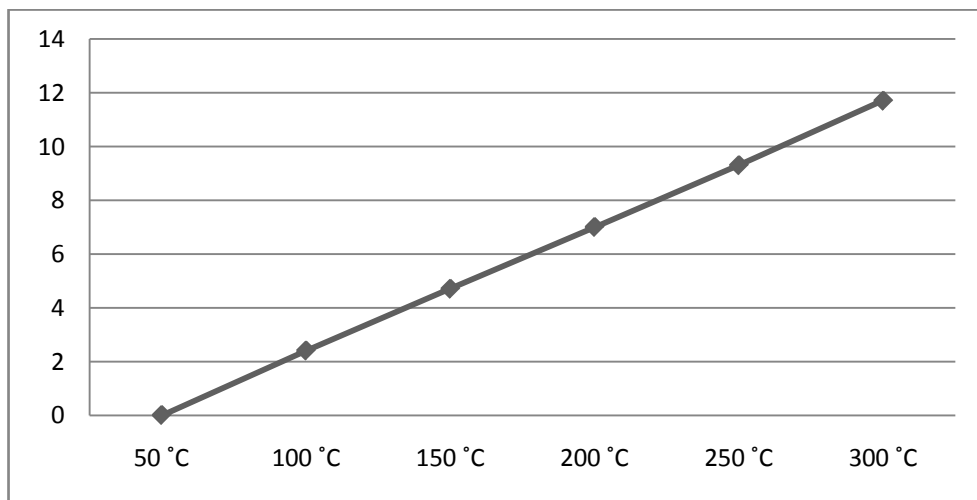
ekonomizer, hava ön ısıtıcısı ya da blöften ısı geri kazanımı gibi çeşitli şekillerde geri kazanılması olarak tanımlanabilir.

Çomaklı ve Terhan tarafından yapılan çalışmada [17], merkezi ısıtma sistemi kazan bacalarından atılan kayıp enerjinin geri kazanımı ve geri kazanılan bu enerjinin kullanım potansiyelinin araştırılması amaçlanmıştır. Bu amaçla Atatürk Üniversitesi Isıtma Sistemi, yıllık doğalgaz yakıt sarfiyatlarından yararlanılmıştır. Kazanlardan yaklaşık 180°C'de çıkan baca gazlarının $\lambda=1,15$ hava fazlalık katsayısındaki kayıp enerjileri, aylık ve yıllık hesaplanmıştır. Yapılan hesaplamalar sonucunda baca gazı kayıp oranı ortalama % 8,87 civarında hesaplanmıştır. Baca gazındaki kayıp enerjinin sistemde geri kullanımının kazan verimini artıracığı, yakıt tasarrufu sağlayacağı ve bu kayıp enerjiden mahal ısıtmasında ve sıcak su elde edilmesinde yararlanılabileceği tespit edilmiştir. Bunun için birkaç yöntem önerilmiş, bu yöntemlerin uygulanabilirliği araştırılmıştır. Bu yöntemlerden birisi de sıcak su eldesidir. Her bir yöntem için sistem verileri kullanarak hesaplamalar yapılmış ve 50°C'ye soğutulmuş baca gazından enerji geri kazanım potansiyeli hesaplanmıştır. Yapılan hesaplamalar neticesinde bir yılda 4.14×10^5 m³ yakıt tasarrufu yapılabileceği hesaplanmıştır.

Küçüka tarafından yapılan çalışmada [18], ısı geri kazanım cihazının kullanılması ile Ankara, İstanbul, İzmir ve Antalya şehirleri için ısıtma ve soğutma tasarım yüklerinin ne oranda değiştiği gösterilmiştir. Dış sıcaklık için saatlik veriler kullanılarak bölgelere ve çalışma saatlerine göre değişen yıllık toplam ısı(soğu) kazancı miktarları hesaplanmıştır. Ayrıca ısı geri kazanım cihazının kullanılmasının ekonomik getirisine değinilmiştir.

Sinanoğlu ve arkadaşları [19], ısı geri kazanım sistemlerinin enerji ekonomisine etkisini incelemiştir. Çalışmada enerji geri kazanım aparatı olarak ekonomizör, reküperatör ve rejeneratörün önemi ve endüstrideki yeri üzerinde çalışıldı. Buhar kazanları için somut örneklemeler yapılarak net enerji geri kazanımı ve buna bağlı olarak, kazan büyüklüğü göz önünde tutularak amortisman süreleri çıkartıldı. Ekonomizörler sadece kazanlarda kullanılırken, hava ön ısıtıcıları, kazanlar ve ocakların her ikisinde kullanılır. Kazanlarda besleme suyu sıcaklığı ocak veya kazanda yakma havası sıcaklığı, genellikle baca gazları sıcaklığının altındadır. Besleme suyu veya yakma havası,

ekonomizör veya hava ön ısıtıcısından geçen baca gazındaki kayıp ısıyı emer. Bu yanma ünitesinin toplam veriminde önemli artış sağlanır. Hava ön ısıtıcılarında duman gazları bir miktar daha soğutularak hem daha fazla yakıt ekonomisi, hemde yakma havasının ısıtılması ile ocakta daha iyi bir yanma sağlanır. Yaklaşık olarak havanın her 50°C fazladan ısıtılması, yakıtta % 2.5 değerinde bir ekonomi sağladığı Şekil 1.1.'de görülmektedir. Şekilden de anlaşılacağı üzere yakma havasının ısıtılması ile önemli oranda yakıt tasarrufu sağlanabilmektedir.



Şekil 1.1. Yanma Havasının Isıtılması ile Enerji Ekonomisindeki Artış [19]

Ürün ve arkadaşları [20], farklı baca gazı sıcaklıklarında, farklı baca gazı hızlarında ve soğutma suyu debilerinde, ısı borusu kondenser bölgesinden soğutma suyuna aktarılan ısı enerjisi miktarına göre yerçekimi destekli ısı borulu ısı geri kazanım sisteminin ısı performansını incelemiştir.

Tarakçioğlu [21], atık ısıdan enerji elde edilmesi ve bu enerjinin sanayiye kazandırılması konusunda çalışma yapmış, atık ısıdan enerji elde edilme yöntemleri, bunların sanayide kullanım alternatifleri, örnek olarak seçilen işletmelerin yapıları içerisinde atık ısıdan faydalanma prosesleri incelenmiş ve sistemin verimliliğini artırıcı önerileri ortaya koymuştur.

Baca gazı enerji ve ekserji kayıplarının büyüklüğüne etki eden en önemli faktör, baca gazı sıcaklığıdır. Baca gazı sıcaklığı arttıkça baca gazı enerji ekserji kayıpları da

artmaktadır. Sistemde baca gazlarından yararlanılmaması durumunda yüksek sıcaklıkta baca gazı önemli ölçüde verim düşmesine neden olmaktadır. Baca gazı sıcaklığı arttıkça baca kayıpları artmaktadır. Baca gazının yüksek olması durumunda baca gazı ısısından faydalanmak gerekli olmakla birlikte burada sınırlayıcı bir faktör vardır. Çıkışta baca gazı sıcaklığının 130°C 'nin altına düşmemesi gereklidir. Gaz sıcaklığının bu sıcaklığın altına düşmesi durumunda baca gazı içerisindeki su buharı yoğunlaşarak SO_2 'lerle X birleşerek kükürt asitleri oluştururlar. Bu asitlerde baca elemanlarında korozyona neden olur. Bu sebeple baca gazı ısısından faydalanılması durumunda çıkışta baca gazı sıcaklığının 130°C 'nin üzerinde ($180\text{--}220^{\circ}\text{C}$) olmasına özen gösterilmelidir[22].

Albayrak, kojenerasyonun başka bir deyişle, bileşik ısı ve güç sistemlerinin termodinamik analizini yapmış, bileşik ısı güç santrallerinde sistem seçimini etkileyen faktörler ve kojenerasyon teknolojilerinin nasıl verimli kullanılacağı, kojenerasyonun bölgesel ısıtmada kullanılabilirliği ve ekonomik analizini araştırmıştır [23].

Yapılarda ve tesisatlarda ısı kayıp ve kazançlarının sınırlandırılması için yapılan işleme "ısı yalıtımı" denir. Teknik olarak, ısı yalıtımı, farklı sıcaklıktaki iki ortam arasında ısı geçişini azaltmak için uygulanır. Isı yalıtımı yaparak bina ve tesisatların ömrünü uzatmak, kullanıcıya sağlıklı, konforlu mekânlar sunabilmek ve bina kullanım aşamasında yakıt ve soğutma giderlerinde büyük kazanım sağlamak mümkündür. Isı yalıtımı yapılan yeni binalarda ve tesisatlarda ısınma için daha az enerji gerekeceğinden, kazan büyüklüğü, radyatör sayısı ve kalorifer tesisatının diğer ekipmanları daha az kullanılır. Binaların ısıtılması amacıyla büyük oranda fosil yakıtlar kullanılır. Fosil yakıtların yakılması sonucu yanma ürünü olarak açığa çıkan gazlar, hava kirliliğine ve küresel ısınmaya neden olur. Isı yalıtımı uygulamaları ile konfor koşullarının oluşturulmasında kullanılan enerji miktarının azalması, küresel ısınma ve hava kirliliğinin artmasını önler.

Bölgesel ısıtma sistemlerinde ısı taşıyan boru hatlarındaki ısı kayıpları ve sıcaklık değişimleri yalıtım, çevre (toprak üstü borular için çevre hava veya toprak altı borular için toprak) ve boru yapısından etkilenmektedir. Keçebaş tarafından yapılan çalışmada [5]; toprak üstünde ve galeri içersinde uzanan bir boru sistemi ele alınmıştır. Afyonkarahisar ili ve farklı ısıtma derece günlere (DG) göre bölgesel ısıtmadaki çeşitli boru çapları ve yakacak yakıtlar için optimum yalıtım kalınlığı, enerji tasarrufu ve geri

dönüş süresi hesaplanmıştır. Yalıtım malzemesi olarak ekstrüde polistiren (XPS) kullanılmıştır. Küçük çaplı borulara göre büyük çaplı borulardaki yalıtım ile de daha çok enerji tasarrufu yapılabildiği, derece-gün değerlerin artması durumunda optimum yalıtım kalınlığı ve yıllık tasarrufların arttığı ve geri dönüş sürelerinin azaldığı görülmüştür.

Gulbrandsen ve arkadaşları [24] bir ısı yalıtım sistemi olarak buhar geciktirici folyo ve gözenekli bir malzeme ile karşı karşıya izole bir soğuk tüp oluşturarak analiz ettiler. Su buharı soğuk tüp buhar geciktirici folyo ve yoğuşturucu aracılığıyla dağılmıştır. Yalıtım su birikmesini önlemek için bir hidrofilik esnek bezle soğuk tüp etrafında sarılmış ve boru şeklindeki yalıtım yarık bulunan bir esnek kumaş bir parçası nemi alarak soğuk boru içinde geriye doğru nüfuz etmiş ve soğuk tüp ısı alımını katkıda bulunduğu sonucu elde edilmiştir.

Zaki ve El-Turki [25] boru hatları için çok katmanlı ısı yalıtımının optimizasyonu üzerine çalışma yaptı. Karabay [26] ısı iletim hatları için termo-ekonomik optimizasyon yöntemini incelemiştir. Onun kullandığı yöntem termodinamiğin ikinci kanununa dayanır. Boru ve yalıtım maliyetlerini yatırım olarak kabul etmişlerdir. Optimum boru çapı ve yalıtım kalınlığını işletme maliyeti olarak ekserji yıkımı ve kaybını göz önüne alarak belirlediler. Keçebaş ve diğerleri [27] yaşam döngüsü maliyet (YDM) analizine bağlı olarak beş farklı boru çapı ve dört farklı yakıt türü için bölgesel ısıtma boru hat borulardaki optimum yalıtım kalınlığını incelemiştir.

Yamankaradeniz ve Kaynaklı [28] bir bölgenin derece-gün sayısının hesaplanmasına ve dış duvarlara uygulanacak yalıtım kalınlığının tespitine yönelik bir prosedür hazırladı. Güncel dış hava sıcaklık verilerinden yararlanarak DG değeri ve yıllık ısıtma enerji gereksinimi hesaplanmıştır. Yakıt olarak doğalgaz kullanılması durumunda yıllık yakıt giderleri farklı yalıtım kalınlıkları için çıkarılmıştır. Yakıt giderlerine yalıtım maliyetleri de eklenerek ısınma için toplam maliyet elde edilmiştir. Farklı yalıtım kalınlıkları için maliyet eğrileri oluşturularak, toplam maliyeti minimum yapan yalıtım kalınlığı belirlenmiştir.

Kılınç ve diğeri [29]; farklı ısı yalıtım uygulamalarının ısı transferi yapıları deneysel ve sayısal olarak inceledi. Bu amaçla Sivas ili Cumhuriyet Üniversitesi yerleşkesinde yaklaşık 30 m² alana sahip iki odalı bir bina inşa edilmiştir. Uygulama binasının farklı duvarlarında bulunan delikli tuğla üzerine içten, dıştan ve sandviç olmak üzere farklı ısı yalıtım uygulamaları yapılmıştır. Binanın tamamının termal kamera ile iç ve dış yüzey çekimleri yapılarak sıcaklık haritaları çıkarılmıştır. Uygulama yapılan duvarların ara katmanlarındaki sıcaklıklar da kayıt altına alınmıştır. Böylece içten dışa doğru duvara ait her katmandaki sıcaklık değerleri elde edilerek grafik haline getirilmiştir. Hesaplamalar, Fluent paket programı kullanılarak yapılmış ve deneysel sonuçlarla karşılaştırılmıştır.

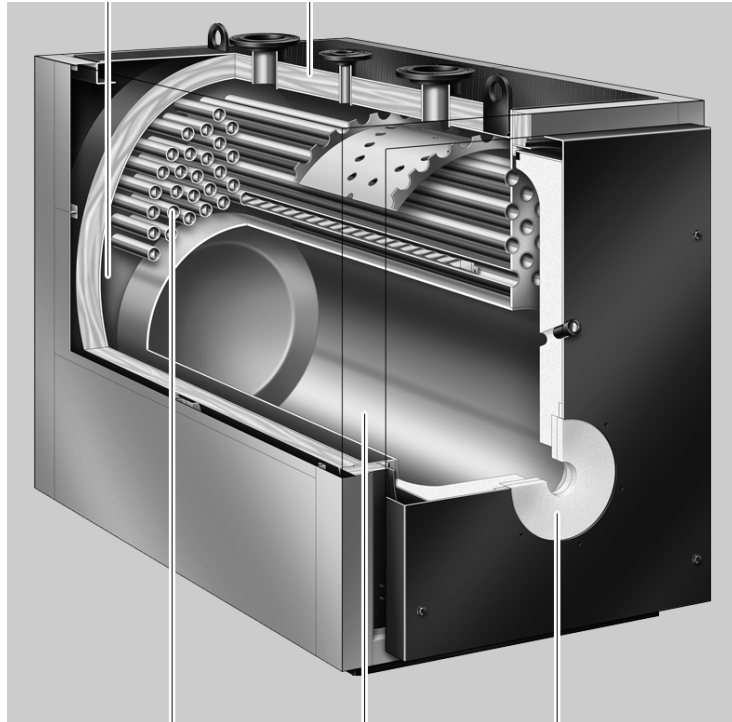
Uygun yalıtım malzemesi seçiminden sonra sıra uygun yalıtım kalınlığının seçilmesine gelir. Bu seçimde önemli olan optimum yalıtım kalınlığının tespit edilmesidir. Tecrübeler göstermektedir ki, boru çapı kadar bir yalıtım kalınlığı gerekmektedir. Tesisat işlerinde boruların yalıtım uygulamasına başlanmadan önce askı ve kelepçeler ile duvar veya tavanlara sabitlenmektedir. Boruların montajı sırasında askı ve kelepçelerde önlem alınmaması neticesinde yalıtımın sürekliliğinin bozulması uygulamada karşılaşılan en yaygın sorunlardan birisidir. Kelepçe ve askılarda yalıtım önlemlerinin alınmaması, ısı köprülerinin oluşarak ısı kaybı ve kazançlarının artmasına, neden olur. Yalıtım önlemleri alınmadan tavan ve duvarlara tespit eden askılar sebebiyle meydana gelen ısı kayıpları, bütün boru boyundan meydana gelen ısı kaybı yaklaşık 10% kadardır [30].

2. BÖLÜM

KAZANLARDA YANMA VERİMİNİN ARTIRILMASI VE ISI İLETİM HATLARININ İYİLEŞTİRİLMESİ

2.1. Giriş

Bu çalışma binden fazla işçi çalıştıran Kayseri'deki bir endüstriyel işletmede gerçekleştirilmiştir. Bu endüstriyel işletmede kurulan enerji yönetim teşkilatının enerji sisteminde ısı transfer hatlarının iyileştirilerek ve yanma verimliliğini artırarak enerji verimliliğinin artırılmasına yönelik gerçekleştirilen faaliyetleri anlatılmıştır.



Şekil 2.1. Çalışmanın yapıldığı kazan detayı [Üretici Firma].

Geniş bir arazi üzerinde, birbirinden uzak yerlerde bulunan çeşitli bina ve tesisler iki adet bölgesel ısıtma yapan ısıtma merkezinden beslenmektedir. Şekil 2.1.'de yanma verimini artırmak için çalışma yapılan kazan dairesi sunulmuştur. Yıllık yakıt sarfiyatı 3,000 ton civarında olan ısıtma merkezlerinde enerji yönetimi teşkilatınca yapılan verim artırma ve iyileştirme çalışmaları ile büyük miktarda enerji tasarrufu sağlanması hedeflenmiştir.

2.2. Kazanlarda Yanma Veriminin Artırılması

Yakıtın kimyasal enerjisinin yanma yoluyla ısı enerjisine dönüştüren ve bu ısı enerjisini taşıyıcı akışkana aktaran makinelere 'kazan' denir. Farklı tiplerdeki kazanlar yapımları bakımından önemli derecede değişik gibi görünmesine rağmen bütün kazanlar temel olarak ısının doğrudan radyasyon yoluyla transfer edildiği bir fırın odası ile ısının birincil olarak dönüşüm yoluyla ısınmakta olan suya transfer edildiği baca gazı geçişlerinden ibarettir. Suya ısı transferinin üçte ikisi fırında ve kalan üçte biri ise baca gazı geçiş yollarında yer alır. Transfer edilmeyen ısı, çeşitli şekillerde kaybolur.

Sıcak su sağlamadan gelişmiş büyük su borulu tipleri vasıtasıyla güç üretimine kadar geniş bir alanda kullanılan kazanlar; kullanılan yakıtın cinsine, yakıtın yakıldığı ocağın cinsine, ürettikleri akışkanın cinsine, çalışma basıncına, yapım tarzına ve imalat malzemesi cinsine göre çok değişik şekilde sınıflandırılabilir [31]. Kazanlara ait sınıflandırmalar aşağıda sunulmuştur.

A. Yanma Şekline göre;

- Özel (Değişik yakıtlar ve yakıt özelliklerine göre yapılmış)
- Değişim gerektiren çok yakıtlı
- Değişim gerektirmeyen çok yakıtlı

B. Yapıldığı Malzemeye göre

- Döküm (Dökme demir)
- Çelik
- Korozyona dayanıklı (Paslanmaz çelik, özel alaşım vb.)

C. Akışkan türüne göre

- Sıcak su
- Kaynar veya Kızgın Su
- Buhar
- Özel Yağ

Ç. Yakıt türüne göre;

- Katı Yakıt (Kok, Linyit)
- Hafif Sıvı Yakıt (Motorin)
- Ağır Sıvı Yakıt (Kalyak, Fuel-Oil)
- Tek yakıt yakan
- Çok yakıt yakabilen

D. Yanma Odası basıncı ve geçiş türüne göre;

- Doğal çekişli,
- Üst Basıncılı,
- İki geçişli
- İki geçiş yanma odası geri dönüşlü,
- Üç geçişli,
- Karşı Basıncılı (Radyasyon tipi)

E. Brülör Yapı ve türüne göre;

- Üflemeli (Fanlı) Brülörlü
- Atmosferik Brülörlü

F. Kazan Konstrüksiyonu ve Yanma Odası Yapısına göre;

- Yarım Silindirik Kazanlar
- Silindirik Kazanlar
- Karşı Basıncılı Kazanlar

Çoğu tesiste enerjinin önemli miktardaki bölümünü kazanlar tüketmektedir. Bu nedenle kazanların çalışması optimize edilerek önemli miktarda enerji tasarrufu sağlanabilir. Bu

sistemlerde yapılacak küçük iyileştirmelerin enerji tüketim ve enerji maliyetlerindeki azalmada önemli yansımaları olabilir. Sabit bir kazan ısı çıkış oranı için, yanma veriminde olacak her % 1'lik bir artış, % 1'lik bir yakıt tasarrufu demektir [32].

2.2.1. Yanma ve Emisyonlar

Yanma, yakıtların genellikle havadan sağlanan oksijen ile hızlı oksidasyonu sonucu ısı ve sıcak yanma ürünlerinin açığa çıktığı kimyasal reaksiyondur. Normal şartlarda ve yeterli yakıcı oksijen ortamında yakıtlar çoğunlukla CO₂ ve H₂O'ya dönüşür [14, 33]. Ayrıca az miktarda kükürt, azot ve diğer elementlerin oksitleri oluşur. Yanma, kimyasal tepkime gereği gaz fazında yanıcı ve yakıcı elemanlar arasında oluşur. Bu sebeple en kolay yanma gaz yakıtlarda, en zor yanmada katı yakıtlarda gerçekleşir. Yanmanın; türbülans (karışım oluşturma süreci), sıcaklık (tutuşma süreci) ve zaman (yanmanın tamamlanması süreci) olarak bilinen üç temel şartının sağlanması gerekir. Bunların sağlanması için, yakıt ve havanın olabildiğince iç içe karıştırılarak yanıcı karışımın oluşturulması, yanıcı karışım sıcaklığının tutuşturma sıcaklığı üzerine çıkartılarak yanma tepkimesinin başlatılması, yanma tamamlanmaya kadar yanıcı karışımın sıcaklığı, tutuşturma sıcaklığı üzerinde olan yanma odasında kalmasını sağlanması gerekir. Bu üç süreç eş zamanlı, karşılıklı etkileşim içinde ve çok karmaşık oluşum mekanizmalarıyla gerçekleşmektedir [12, 16, 33].

2.2.1.1 Tam Yanma Hali

Tam yanma hali; oksijenin yakıttaki hidrokarbonlara karşılık gelen stokiyometrik oranlarda karıştırılması ile gerçekleştirilen yanma olayıdır. Yakıt tamamen yandığında, içerisindeki karbon (C) karbondioksite (CO₂), hidrojen (H₂) su buharına (H₂O), kükürt (S) kükürtdioksite (SO₂) dönüşmektedir.



Stokiyometrik yanma: yanma sonucu yanıcı ve yakıcı maddelerin hepsinin tepkimeye girerek karbondioksit ve su buharı oluşturmaları olayıdır.

Yanma esnasında kullanılan gerçek hava miktarının yakıtın yanması için gerekli stokiyometrik (teorik) hava miktarına olan oranı hava fazlalık katsayısı (λ) olarak tanımlanır. Yanmayı tam sağlamak için yanma odasına gönderilen gerçek hava miktarı daima teorik hava miktarından bir miktar fazladır [34].

2.2.1.2. Kazanlarda Yanma Verimini Etkileyen Faktörler

Kazan verimini etkileyen faktörler aşağıdaki başlıklar altında incelenebilir [31]:

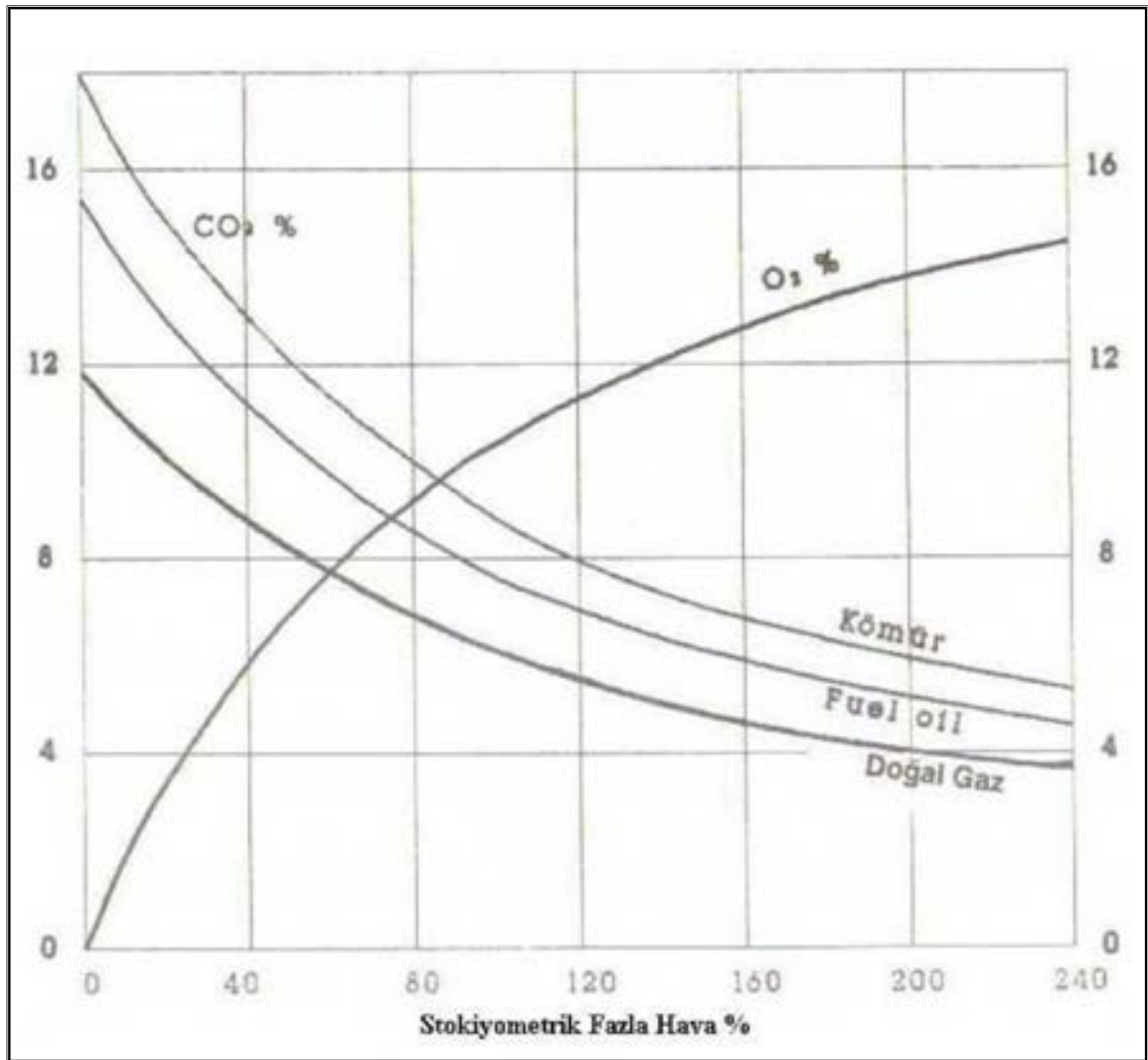
1. Eksik Yanma
2. Su Buharındaki Isı
3. Kuru Baca Gazındaki Isı
4. Fazla Hava
5. Baca Gazı Sıcaklığı
6. Yakıt Cinsi
7. Brülörler
8. Kazan Yüğü
9. Kazan Yüzeyinden Olan Isı Kayıpları
10. Blöfteki Isı
11. Besi Suyu Sıcaklığı
12. Kondensatın Geri Kazanımı
13. Yanma Havaı Sıcaklığı

2.2.1.2.1 Eksik Yanma

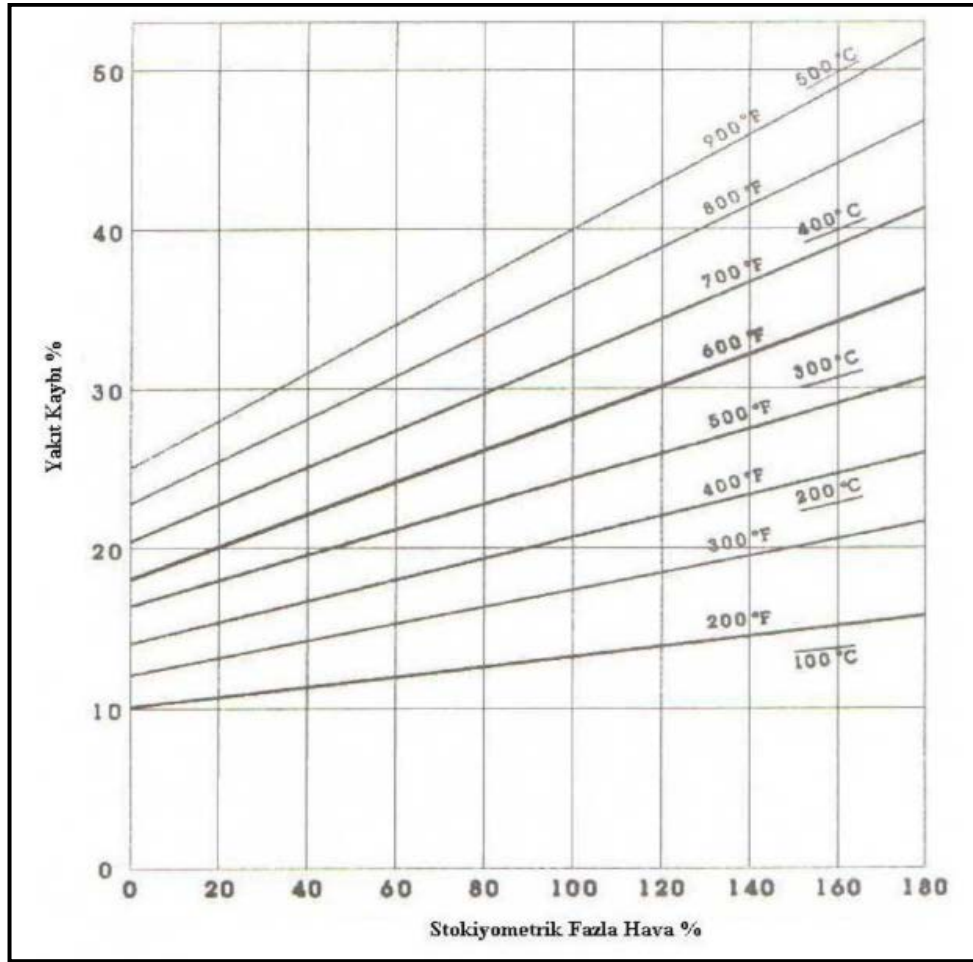
Yetersiz oksijen sebebi ile yakıtta bulunan karbon içeriğinin tamamının CO₂'ye dönüştürülemeden CO şeklinde kalmasıdır.



Görüldüğü gibi, yetersiz oksijen sonucu karbonun karbondioksite dönüşmeden, karbonmonoksit halinde kalmasıyla kaybedilen enerji miktarı %70 mertebesinde olmaktadır. Bu nedenle, mükemmel yanmanın sağlanması için, genel bir kural olarak yakıtta verilen hava belirli oranda artırılmaktadır. Hava fazlalık katsayısı olarak adlandırdığımız bu faktör yakıt cinsine bağlı olarak değişmektedir. Bu katsayı gereğinden az olursa, karbonmonoksit oluşur ve üretilen enerji azalır, islilik başlar, yanma verimi ise düşer. Hava fazlalık katsayısı (λ) gerektiğinden yüksek olur ise, karbonmonoksit azalır, yanmaya iştirak etmeyen hava ocakta ısıtılarak bacadan atılır, yanma bozularak yanma verimi düşer [33]. Şekil 2.2.'de, O₂ veya CO₂ e bağlı olarak fazla havanın bulunması gösterilmiştir. Şekil 2.3.'te görüldüğü gibi fazla hava ile birlikte baca gazından çıkan gazların sıcaklığı ve yakıt kaybı artmaktadır.



Şekil 2.2. O₂ ve CO₂'ye bağlı fazla hava [31].



Şekil 2.3. Fazla hava ve yakıt kaybı [31].

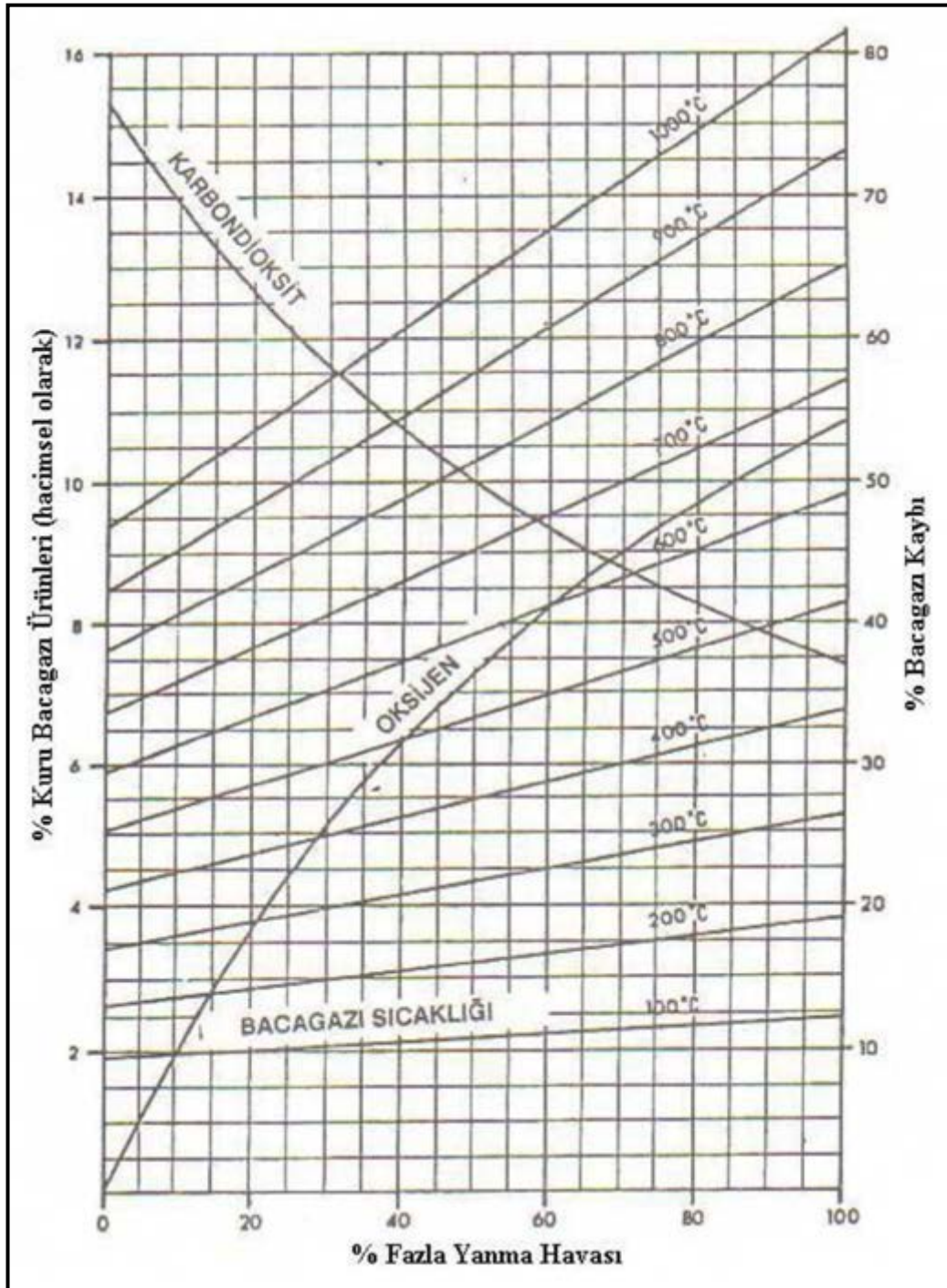
2.2.1.2.2 Su Buharındaki Isı

Yakıtlar serbest nem şeklinde ve kimyasal kompozisyonlarından dolayı içerisinde nem bulundurlar. Yakıtın içerisinde bulunan nem yanma esnasında buharlaşarak açığa çıkmaktadır. Su buharı olarak ortaya çıkan nem, kazandaki faydalı enerjinin bir kısmının bacadan dışarı atılmasına sebep olmaktadır. Yakıttaki serbest nemin yakmadan önce mümkün olduğunca azaltılması enerji tasarrufu açısından gereklidir.

2.2.1.2.3. Kuru Baca Gazındaki Isı

Baca gazındaki su buharı sebebiyle meydana gelen kayıplara ilave olarak CO_2 ve yanmada önemli bir rolü olmayan nitrojenin çoğu tarafından da dışarı ısı taşınmaktadır. Yanma için gerekli olan O_2 'nin yüksek olmasında faydalı ısıyı bacaya taşır. Fazla hava

ile birlikte baca gazı sıcaklığı ve bacadan çıkan O_2 miktarının arttığı, CO_2 miktarının azaldığı, dolayısıyla yanmaya girmeden bacadan çıkan CO miktarının artacağı Şekil 2.4.'ten anlaşılmaktadır.



Şekil 2.4. Motorin için baca gazı kayıpları [31]

(Yakıtın üst ısıl değerine ve 20 °C ortam sıcaklığına göre hazırlanmıştır.)

2.2.1.2.4. Fazla Hava

Kazanlarda yanma sistemi yanma problemlerine neden olmayacak minimum hava yakıt oranını verecek çalışma seviyesinde ayarlanmalıdır. Fazla hava miktarı gereğinden çok olursa, baca gazı miktarını artırır ve artan bu miktardaki hava baca gazı sıcaklığına kadar ısınıp enerji alacağından daha çok ısının bacadan dışarı atılmasına neden olur. Ayrıca baca gazı miktarının artması, gaz debisini, dolayısıyla hızının artmasına ve ısı transferinin düşmesine neden olmaktadır. Bu nedenlerden dolayı fazla hava miktarının mümkün olan en düşük seviyede tutulması gerekmektedir.

2.2.1.2.5. Baca Gazı Sıcaklığı

Baca gazı sıcaklığının kabul edilen değerlerin üzerinde olması halinde bacadan atmosfere fazladan enerji atılmış olacaktır. Bu durumda kazan verimi bir miktar düşer [31]. Bacadan atılan enerjinin yüksek olmasının iki ana nedeni bulunmaktadır. Birinci nedeni ısı transfer yüzeylerinin yetersiz oluşudur. Böyle durumlarda bacaya hava ön ısıtıcısı veya kızdırıcılar kurularak baca gazının ısısından faydalanmak mümkün olmaktadır. İkinci nedeni ise ısı transfer yüzeylerinde oluşan kirliliklerdir. Bu yüzden kazan boruları belirli periyotlarda temizlenmeli ve ayrıca kazana verilen besi suyunun sertliği sık sık kontrol edilmelidir. Baca gazında normal gaz sıcaklığının üzerine çıkan her 17 °C artış verimlilikte yaklaşık olarak %1 düşüşe sebep olmaktadır.

2.2.1.2.6 Yakıtın Cinsi

Farklı yakıtlar, farklı oranlarda C ve H₂ ihtiva ettikleri için ısı değerleri, yanma sonucu oluşan baca gazındaki nem miktarları, curuf ve kurum miktarları değişmektedir. Bunlardan her biri verimi etkilemektedir. Bu durum daha çok katı yakıt yakan kazanlarda kendisini belli etmektedir, örneğin bir yakıt cinsi ve parça büyüklüğüne göre tasarlanmış bir kazanda farklı bir yakıt ve değişik parça büyüklüğünde yakıt yakıldığında verim değişmektedir.

2.2.1.2.7 Brülörler

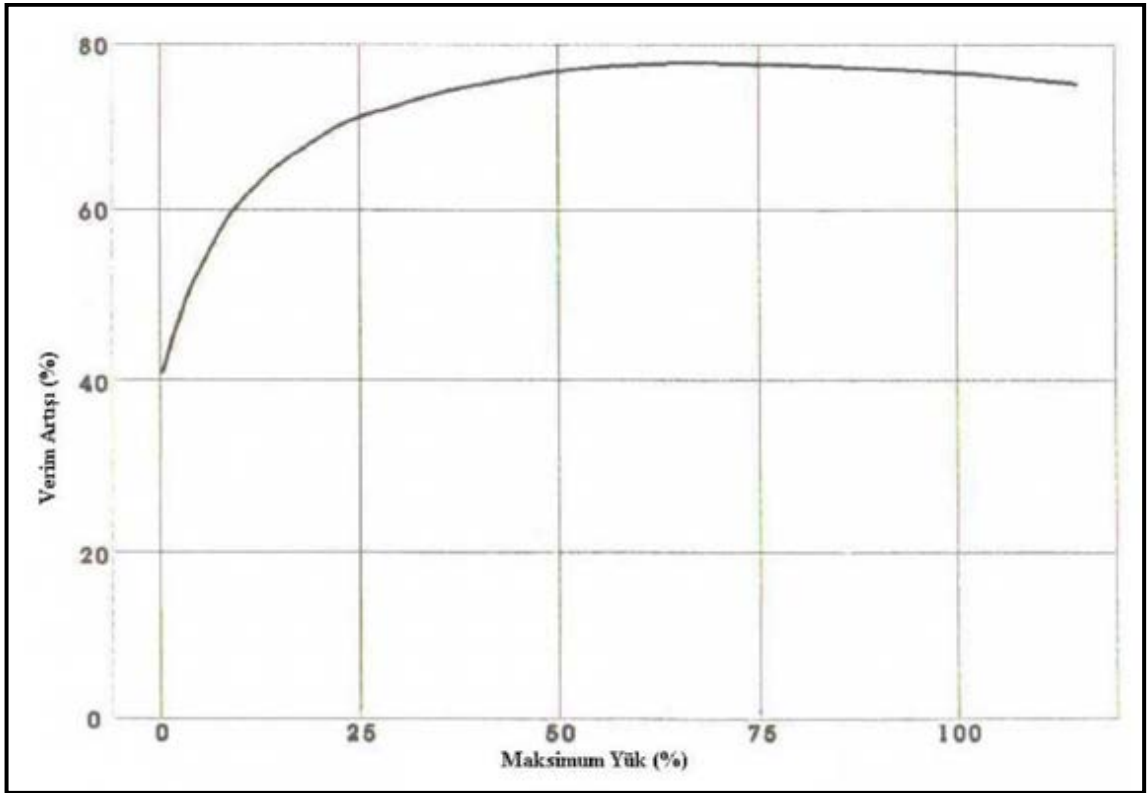
Yakıtların püskürtülerek hava ile karıştırılmasını ve yakılmasını sağlayan araçlara brülör denmektedir. Sıvı yakıtların yakılması için sis haline getirilip hava ile karıştırılması gerekir.

Brülörlerde, yakıt basınç ve sıcaklığının da istenen değerlerde olmaması, yakıtın yeterince atomize olamamasına ve eksik yanmaya neden olmakta, verimi düşürecek yönde etki etmektedir. Ayrıca on/off tipi brülörlerde kazan yüküne göre brülör off durumuna geçtiği sürelerde dahi pek çok kazan sisteminde hava fanları çalışmaya ve kazan içine hava göndermeye devam etmekte ve kazan iç sıcaklığının düşmesine neden olmaktadır. Buda verimi olumsuz yönde etkileyen bir başka faktördür.

2.2.1.2.8 Kazan Yüğü

Kazanlardan, genellikle düşük yükte ve aşırı yük durumunda çalıştırılmadıkları zaman en büyük verim elde edilir. Maksimum ve devamlı çalışma durumunda çekilen yük oranı %50'nin altına düştüğünde verim eğrisinde hızla düşmektedir. Bu yük düşüşüne bağlı olarak kazan yüzeyinden olan ısı kayıplarının yüzdesi artacaktır. Kazanlar çalıştırılırken, kazanın kapasitesi göz önüne alınarak mümkün olduğunca bunlara uyulmalıdır.

Kazan yükünün değişmesiyle yakılan yakıt miktarı da değişir. Özellikle radyasyon ve konveksiyon kayıplarında olmak üzere; kayıplarda ve dolayısıyla verimde önemli değişme olmaktadır. Maksimum verimlere genel olarak, kazanın tam yükünün % 70'inden yukarı yüklerde çalıştığı durumlarda ulaşılmaktadır. Bundan dolayı, kazanların mümkün olduğu kadar tam yüke yakın bir yükte çalıştırılmaları gerekmektedir. Kazandan çekilen yük durumuna bağlı olarak kazan verimindeki değişmeler Şekil 2.5.'te verilmiştir.



Şekil 2.5. Kazandan çekilen yüke bağlı olarak kazan verimindeki değişimler [1]

2.2.1.2.9 Kazan yüzeyinden ısı kayıpları

Kazan yüzeyinden ısı kayıpları, radyasyon ve konveksiyon şeklinde olmaktadır. Modern kazanlarda bu kayıp genel olarak eğer kazan tam yükte çalışıyorsa % 1 den küçüktür. Bununla birlikte eski tip kazanlarda ve izolasyonu kötü durumda olan kazanlarda bu kayıp % 10 a kadar çıkabilmektedir.

Kazan yüzey sıcaklığı ortam sıcaklığının yaklaşık 30 °C üstündeki bir değere düşürecek şekilde yapılmış bir yalıtım, bu tür kayıpları en aza indirmek açısından yeterli ve uygun olarak görülmektedir. Tablo 2.1.'de görüldüğü gibi; kazan kapasitesi arttıkça kazan yüzeyinden tam yükteki kayıp oranları düşmektedir.

Tablo 2.1. Fuel-oil kazanlarında yüzey kayıpları [16]

Kapasite (t/h)	Tam Yükte Kayıp (%)
1	1.9
2	1.5
4	1.1
8	0.7
10	0.6
15	0.5
20	0.3

2.2.1.2.10 Blöfteki Isı

Kazan suyunun içindeki bazı minerallerin yüksek sıcaklıkta çözünmesiyle suyun içerisinde tortulaşmalar oluşmaktadır. Buhar kazanlarında ısı değişim oranlarını azaltan ve verimin düşmesine sebep olan tortuları önlemek için kazana iletkenliği düşük uygun besi suyu verilmelidir.

Kazanların ilave suları şebeke suyundan direkt olarak alınmamalı, bir su yumuşatma işleminden geçirilmelidir. Kazan suyunda oluşan tortular temizlenmez ise kazan boruları içerisinde kireç taşı oluşur. Kireç taşının oluşmasıyla da ısı iletimi güçleşir ve ileri safhalarında kazanın elden çıkarılmasına kadar sonuçlanabilir. Böyle tehlikelerle karşılaşmamak için kazan içerisindeki suyun bir miktarının belli aralıklarla boşaltılmasına blöf adı verilir.

2.2.1.2.11 Besi Suyu Sıcaklığı

Kazan suyu buharlaşma ile prosesde direkt buhar kullanımı sonucu veya blöf nedeniyle zaman içerisinde bir miktar eksilmektedir. Bilindiği gibi eksilen su dışarıdan tasfiye edilmiş su ve kondens suyu ile takviye edilmektedir. Besi suyu adını verdiğimiz kondensat geri dönüşü ve tasfiye edilmiş su karışımını kazana mümkün olan en yüksek sıcaklıkta girmesi sağlanmalıdır. Besi suyunun kazana soğuk girmesi durumunda hem

bu suyun yeniden ısıtılması için ayrıca bir enerji harcanacak, hem de suyun içerisindeki bazı minerallerin soğuk halden yüksek sıcaklığa ısıtılması esnasında tortulaşarak kazan içinde kireçtaşı oluşturmasına sebep olacaktır.

Kazana soğuk su verilmesinin diğer önemli sakıncası ise, soğuk suyun içerisinde bulundurduğu çözülmüş oksijenin yüksek sıcaklıkta açığa çıkması şeklinde olmaktadır. Oksijenin kazan suyu içerisinde açığa çıkmasıyla kazan borularında korozyon meydana gelmektedir. Kazan borularında oluşacak korozyon, bilindiği gibi çok tehlikeli durumlar meydana gelmesine sebep olabilir.

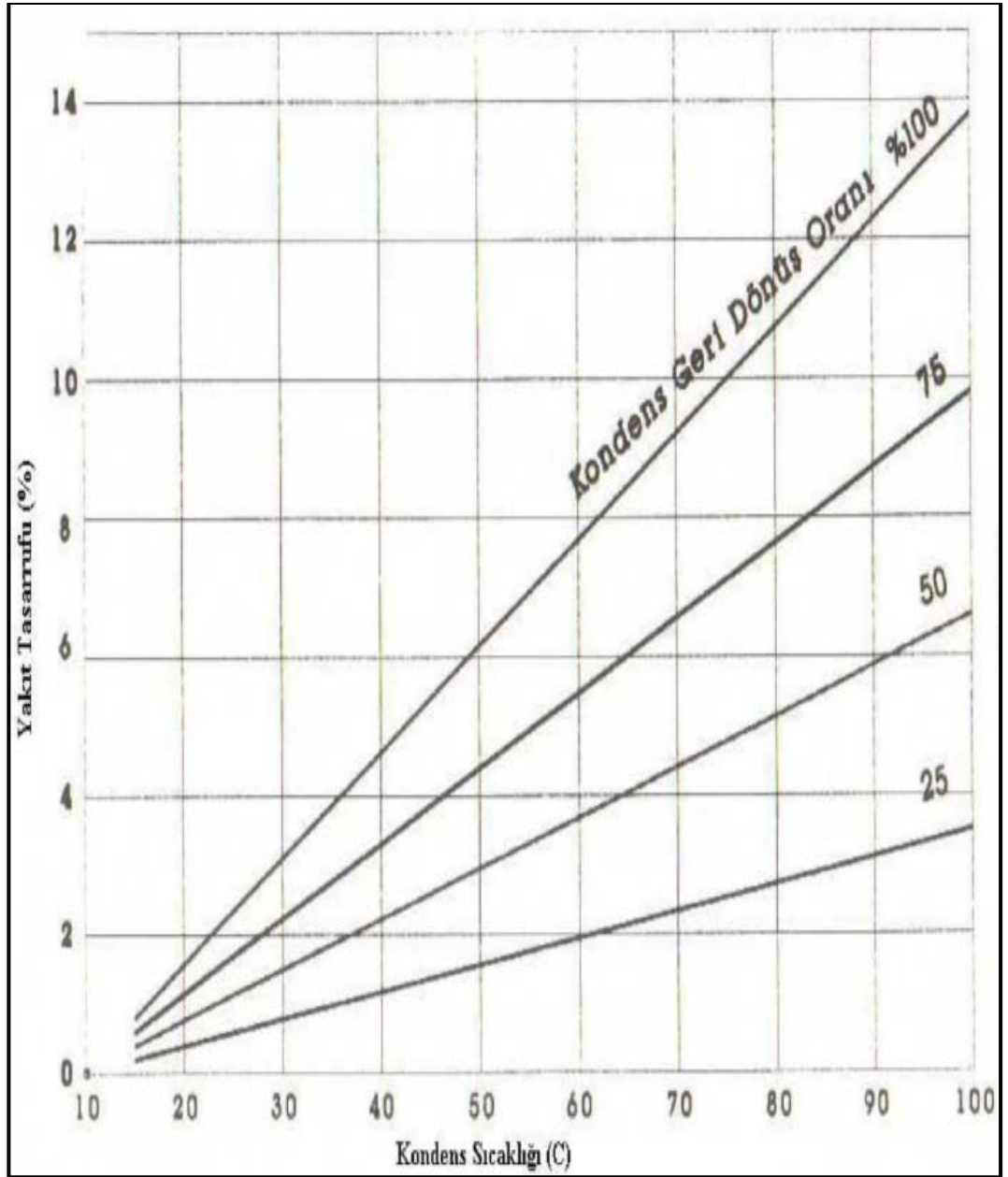
2.2.1.2.12 Kondensatın Geri Kazanımı

Kazanlarda üretilen buhar, sistemde kullanıldıktan sonra bir kısmı doymuş buhar, bir kısmı da su olarak sistemden ayrılmaktadır. Uygun yerlere konulacak buhar kapanları vasıtasıyla buharın sistemde kalması sağlanabilmektedir. Sıcak su olarak ayrılan diğer akışkan ise proste kaynaklanabilecek herhangi bir kirlenme söz konusu değil ise besleme suyu olarak kazana döndürülmesi kazan verimine olumlu etki yapacaktır.

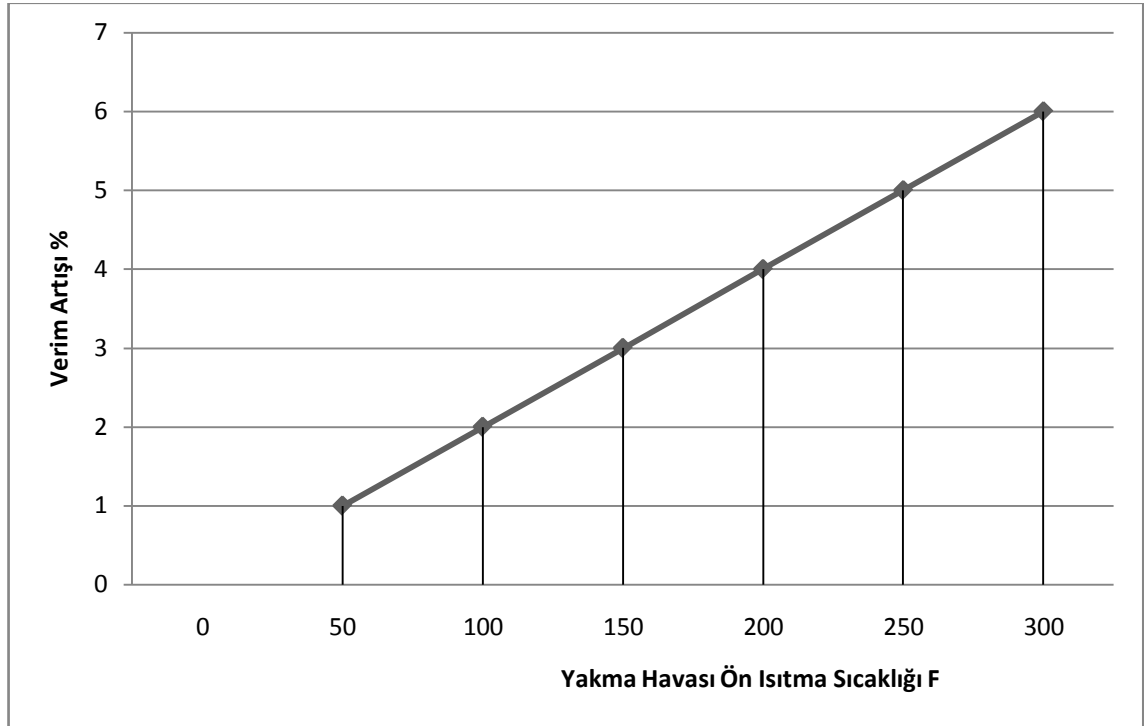
Şekil 2.6.'da kondens geri dönüş oranına ve kondensat sıcaklığına bağlı olarak kazan veriminin artırılabilirdiği, dolayısıyla da yakıt tasarrufu elde edilebildiği görülmektedir. Kondensatın kirli olması ve kazana döndürülmemesi durumlarında ise sıcak kondensat saf su kalitesinin aranmadığı yerlerde kullanılabilir. Ayrıca kirli kondensatın bir ısı değiştiriciden geçirilmesiyle de ısı kazanılabilir.

2.2.1.2.13 Yanma Havası Sıcaklığı

Kazanları yanma havası olarak verilen havanın ısıtılması ile kazan veriminde artış sağlamak mümkündür. Yanma havasının baca gazından faydalanılarak ısıtılması yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. Yanma havasının ısıtılması ile sağlanacak her 50 °F sıcaklık artışı kazan verimini yaklaşık olarak %1 artırılabilirdiği Şekil 2.7.'de görülmektedir.



Şekil 2.6 Kondens geri dönüş oranına ve kondensat sıcaklığına bağlı olarak kazan verimi[1]



Şekil 2.7. Yakma havası ön ısıtma sıcaklığı ve verim artışı [1].

2.3. Yanma Veriminin Artırılması

Yakıt cinsine bağlı olarak değişen hava fazlalık katsayısının gerektiğinden düşük olması halinde karbonmonoksit oluştuğu, üretilen enerjinin azaldığı, isliliğin başladığı, yanma veriminin düştüğü bilinmektedir. Hava fazlalık katsayısının gerektiğinden yüksek olması halinde ise karbonmonoksit azalırken, yanmaya iştirak etmeyen hava ocakta ısıtılarak bacadan atılmakta, yanma bozulmakta, yanma verimi düşmektedir [33]. Aşağıda hava fazlalık katsayısının ifadesi verilmiştir. Tablo 2.2.'de ise bazı yakıtlar için uygun hava fazlalık katsayıları verilmiştir.

$$\lambda = n = L_{\text{gerçek}} / L_{\text{ideal}} \text{ (hava fazlalık katsayısı)} \quad (2.5)$$

$n < 1$ ise eksik yanma

$n = 1$ ise stokiyometrik (ideal) yanma

$n > 1$ ise tam yanma

Tablo 2.2. Bazı yakıtlar için hava fazlalık katsayıları [15].

Yakıt	λ
Toz kömür	1.15-1.20
Parça kömür	1.10-1.15
Tane kömür	1.15-1.60
Fuel-oil	1.05-1.11
Doğal gaz	1.07-1.12

İşletme sırasında yanmanın optimizasyonu için baca gazı analizörleri yardımıyla, baca gazı bileşenleri kolayca elde edilip değerlendirilebilmekte, brülör ve kazanlara anında müdahale edilebilmektedir. Aşağıda baca gazı analizlerinin belli başlı parametreleri değerlendirilmektedir.

2.3.1 Baca Gazı Bileşenleri ve Emisyonlar

a) Oksijen (O_2) :

Yakıt cinsine ve hava fazlalık katsayısına bağlı olarak, CO oluşturmamak için, baca gazları içerisinde oksijen oranının mümkün olduğunca düşük olması istenmektedir. Doğalgazda %2-3, sıvı yakıtta %3-4, katı yakıtta %5-6 oksijen oranı baca gazı analizleri için uygun değerler olarak kabul edilmektedir [33].

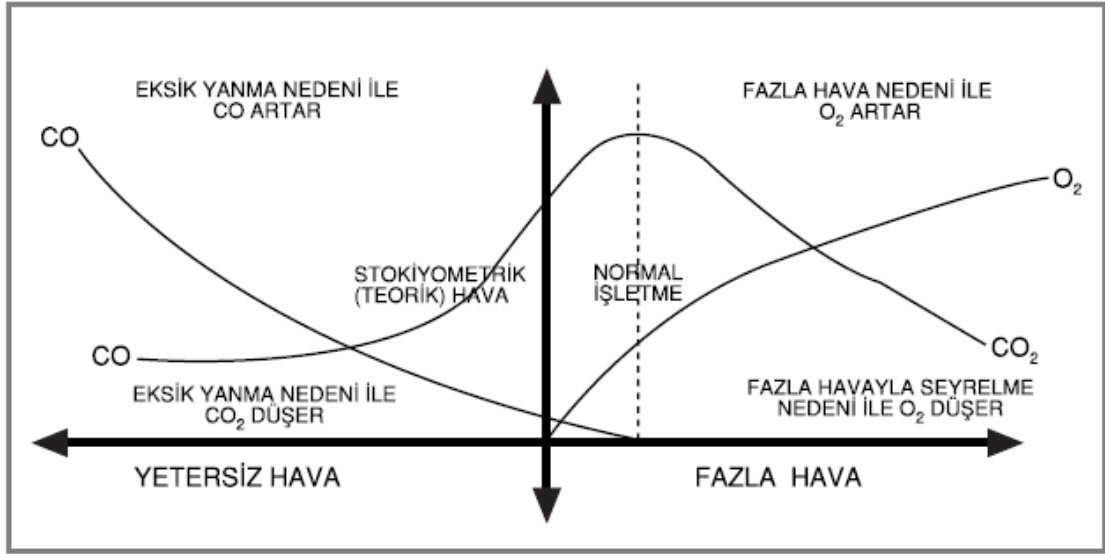
b) Karbondioksit (CO_2) :

Yakıt cinsine bağlı olarak karbondioksitin baca gazları içerisinde yüksek oranda olması istenir. Doğalgazda %11, sıvı yakıtta %14, katı yakıtta %14 karbondioksit değerleri, baca gazı analizleri için uygun değerler olarak değerlendirilmektedir.

c) Karbonmonoksit (CO) :

Neden olduğu enerji kaybı ve islilik sonucu kirlenme nedeniyle karbonmonoksit, baca gazları içerisinde arzu edilmemekte ve emisyon kabul edilmektedir. Yakıtta verilen oksijen artırılarak, eksik yanma tamamlanmalı ve karbonmonoksit mutlaka karbondioksite dönüştürülmelidir. Baca gazı analizlerinde karbonmonoksit miktarı 100

ppm değerine kadar normal kabul edilebilmektedir. Şekil 2.8.'de yakıtı verilen havanın eksik olması durumunda; CO₂ miktarının düştüğü, CO miktarının arttığı görülmektedir. Ayrıca yakıtı fazla hava verilmesi durumunda baca gazlarındaki CO₂ miktarının azaldığı ve O₂ miktarının arttığı yani yanma tepkimesine girmeden O₂'nin bacadan çıktığı anlaşılmaktadır.



Şekil 2.8. Bacadan çıkan duman gazlarında CO₂, O₂, CO ilişkisi [35].

d) Kükürtdioksit (SO₂) :

Yakıt içerisindeki kükürdün yanmasıyla ortaya çıkan kükürtdioksit, çevre için tehlikeli emisyonların başında gelmektedir. Brülör ve kazanda alınacak önlemlerle ilgisi yoktur. Bu gaz, ancak düşük kükürtlü yakıtlarla baca gazlarında azaltılabilmektedir. Doğalgaz kullanımında baca gazında "0" olan kükürtdioksit değeri, %0,5 kükürt ihtiva eden ithal kömür kullanıldığında, baca gazlarında 150-200 ppm değerlerinde olabilmektedir. [33]

e) Azotoksitler (NO_x) :

Hava kirleticilerden azotoksitlerde insan ve çevre sağlığı açısından en az SO₂ kadar önemli bir kirleticilerdir ve emisyon olarak kabul edilirler. NO_x emisyonlarının % 90-95'i yakma sistemlerinden kaynaklanmakta, daha çok NO ve NO₂ (birlikte NO_x olarak adlandırılır) şeklinde gerçekleştiği ve bunlardan NO'nun daha yüksek oranda meydana

geldiği belirlenmiştir. Yanma sonucu oluşan NO_x emisyonu genel olarak iki kaynaktan olmaktadır. Bunlardan birincisi yüksek sıcaklıklarda yanma havasının N_2 'in oksitlenmesiyle oluşan ısı- NO_x (termal NO_x), diğeri ise yakıtın içindeki azottan oluşan yakıt kaynaklı yakıt- NO_x (fuel NO_x)'dur. [36,37]

f) Baca Gazı Sıcaklığı (T) :

Kazanı terk eden baca gazlarının, yakıt cinsine ve içerisindeki kükürt oranına bağlı olarak, düşük sıcaklıkta olması istenmektedir. Yakıt debisinin yüksek olması, yetersiz kazan ısıtma yüzeyi ve duman borularındaki kirliliğin yüksek baca gazı sıcaklığına neden olduğu bilinmektedir. Baca gazı analizi yapılırken dikkat edilmesi gereken önemli hususta, baca gazı analizlerinin kazan anma gücüne uygun yakıt debisinde yapılmasıdır [34]. Zira düşük kazan kapasitelerinde baca gazı sıcaklığının da düşük çıkması beklenen bir durum olmaktadır. Yüksek baca gazı sıcaklığı verim kaybı demektir. Baca gazı sıcaklıklarında düşülebilecek minimum değerler, baca gazlarının yoğuşma (çiğlenme) sıcaklığı ile ilgilidir. Yoğuşma sıcaklığı ise baca gazındaki kükürtdioksit (SO_2), dolayısıyla yakıt içindeki kükürt (S) miktarına bağlıdır. Doğalgaz kullanımında 130-150 °C, katı ve sıvı yakıt kullanımında 130-175 °C baca gazı sıcaklıkları uygun değerler olarak kabul edilebilmektedir. Yüksek baca gazı sıcaklıklarında brülör ve kazana mutlaka müdahale edilmeli, kısmen kapasite düşürülerek veya kazan borularına türbülötörler ilave edilerek, baca gazı sıcaklığı düşürülmelidir. [12,16,33,34]

2.3.2. Yanma Verimi, Kazan Verimi

Baca gazı analiz cihazı tarafından, baca gazlarında ölçülen, oksijen, karbondioksit, karbonmonoksit, baca gazı sıcaklığı ve ortam sıcaklığı gibi parametreler değerlendirilerek, yanma verimi (η_y) otomatik olarak hesaplanabilmektedir. İşletmeci tarafından yanma verimi üzerinde yorum yapılırken, sonuca etki eden faktörler kolayca görülebilmektedir. Yanma veriminden yola çıkarak, kazan veriminden (η_k) söz ederken, kazan radyasyon kayıpları, külde yanmamış karbon kayıpları gibi ölçülmeyen değerler için yakıt cinsine ve kazan kapasitesine bağlı olarak, yanma veriminden belirli bir oranda azaltma yapmak gerekmektedir. TS.4041'de kazan radyasyon kayıpları, kapasite

ve yakıt cinsine bağlı olarak % 0,7-3,0 arasında verilmektedir. Baca gazında is ve kurum ile küldeki yanmamış karbon (C) dikkate alındığında, yaklaşık kazan verimini belirlerken yanma veriminden radyasyon ve kül kayıpları olarak düşülmesi gereken miktar, yaklaşık olarak, doğalgazda %1, fuel-oilde % 2-3, kömürde ise % 4-5 olarak kabul edilmektedir [33,34].

2.3.3. Kazan Kapasitesi

İşletmede baca gazı analizörü yardımıyla kazan veriminin (η_k) yaklaşık olarak tespitini takiben yine yaklaşık olarak kazan kapasitesinin belirlenmesi de mümkün olabilmektedir. Bunun için rejim haline getirilmiş kazanda, birim zamanda kullanılan yakıt miktarının doğru olarak tespiti gerekmektedir. Kazan kapasite formülü; [38]

$$Q_k = B \times H_u \times \eta_k \quad (2.6)$$

Q_k = Kazan Kapasitesi (Kcal/h)

B = Yakıt Debisi (Kg/h, Nm³/h)

H_u = Yakıt Alt Isıl Değeri (Kcal/kg, Kcal/Nm³)

η_k = Kazan Verimi (%)

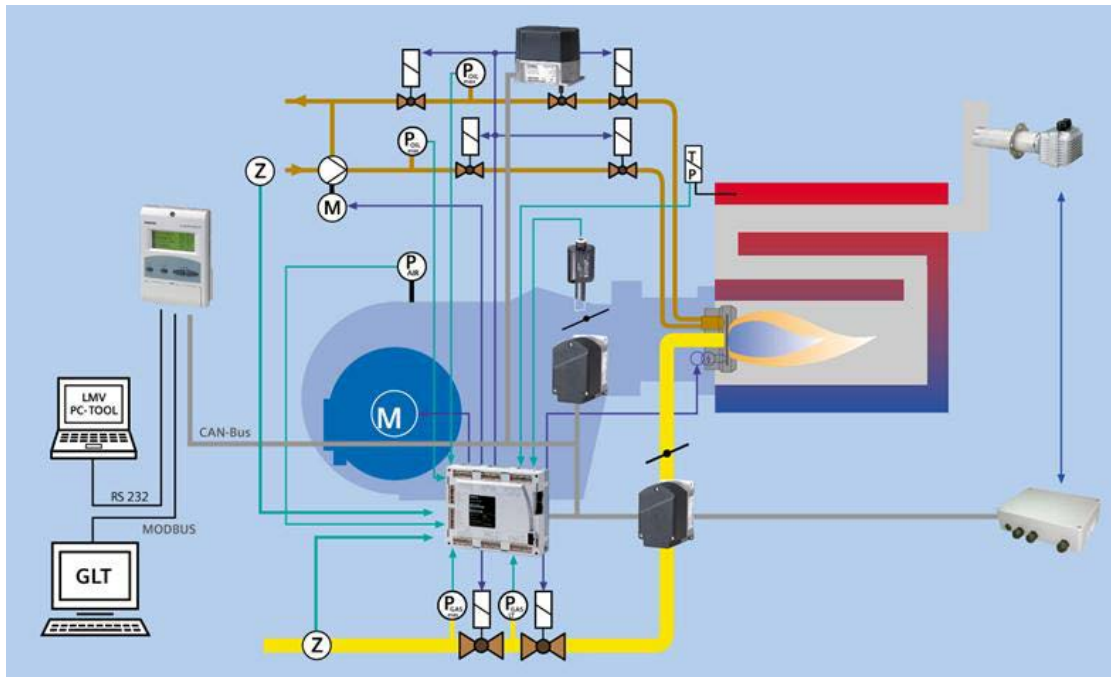
2.3.4. Yakma Yönetim Sistemleri

Brülörlerde, hava miktarının yakıt miktarıyla orantılı olarak değişmesini sağlamak için, genelde yakıt vanası bir mekanik sistemle hava klapesine bağlanır. Bu mekanik bağlantının zamanla gevşemesi, eklem parçalarının aşınması sonucu hava miktarının yakıtla uyumlu olarak otomatik bir biçimde ayarlanması imkânsız hale gelir, hava/yakıt oranı değişir ve verimi düşürecek yönde etki eder.

Brülörlerde, yakıt basınç ve sıcaklığının istenen değerlerde olmaması, yakıtın yeterince atomize olamamasına ve eksik yanmaya neden olmakta, verimi azaltacak yönde etki etmektedir. Ayrıca on/off tipi brülörlerde kazan yüküne göre brülör off durumuna geçtiği sürelerde dahi pek çok kazan sisteminde hava fanları çalışmaya ve kazan içine hava göndermeye devam etmekte ve kazan iç sıcaklığının düşmesine neden olmaktadır. Buda verimi olumsuz yönde etkileyen bir başka faktördür [31].

Brülörlerde elektronik yakma yönetim sistemlerinin kullanımı ile yakıt/hava oran ayarının çok hassas yapılması ve bu sayede tüm yakma kademelerinde tam yanmanın ve sürekliliğinin sağlanması, aynı zamanda oransal çalışmayla (PID kontrol) birlikte kazan yüküne tam uyumun elde edilmesi ve gereksiz duruşların önlenmesi mümkün olmaktadır. Ayrıca, emisyon değerleri sürekli izlenerek, 3 parametrelili (O_2 , CO , CO_2) otomatik trim kontrol (ufak hava ayar düzeltmeleri) ile yanma ayarlarının dış hava şartlarından ve yakıt özelliği değişikliklerinden etkilenmemesi sağlanmaktadır [15].

Şekil 2.9.'da görülen mikroişlemci denetimli ana kontrol modülü, tipik bir yakma yönetim sisteminin en önemli parçasıdır ve bütün kontrolü elektronik olarak sağlamaktadır. Bu elektronik kontrol modülü, öncelikle, brülöre yakıt ve hava girişini ayarlayan yakıt ve hava servo motorlarına kumanda ederek, yakıt hava oranı ayarının çok hassas olarak (0.1° acısal hassasiyetle) yapılabilmesini, dolayısı ile tam yanmayı sağlar.



Şekil 2.9. Yakma yönetim sistemi ana kontrol modülü [43].

Ana kontrol modülü aynı zamanda, kazandan sıcaklık veya basınç sensörleri ile aldığı yük bilgisine göre yine yakıt ve hava servo motorlarına kumanda ederek, işletme tarafından belirlenen sıcaklık/basınç hedef değeri için gerekli miktardaki yakıt ve

havanın, tam ve doğru olarak yakılmasını (talep edilen kadar ısının üretilmesini) sağlar. Bir başka deyişle, istenen sıcaklık/basınç hedef değeri için oransal-PID kontrolü gerçekleştirir.

Sistemde opsiyonel olarak kullanılabilen diğer önemli modül, “Baca Gazı Analiz Cihazı”dır. Bu cihaz, yakma sonucu oluşan baca gazını analiz ederek, elde ettiği emisyon değerlerini ana kontrol modülüne gönderir. Kontrol modülü, kendisine gelen bu emisyon değerleri ile (O_2 , CO, CO_2) kendi hafızasında mevcut işletme emisyon değerlerini karşılaştırarak, bir farklılık varsa bunu düzeltmeye çalışır. Bir başka deyişle, emisyon değerlerinde bir sapma olmuşsa, “trim kontrol” (ufak hava ayar düzeltmeleri) yaparak hava ayarına müdahale eder ve emisyon değerlerinin belirlenen işletme sınırları içinde kalmasını sağlar. Ana kontrol modülüne bu “trim kontrol” imkânını, “Baca Gazı Analiz Cihazı” vermektedir. [15]

2.4. Isı Geri Kazanım Sistemleri

Isı geri kazanım; bir sistemden veya proses işleminden açığa çıkan ve kullanılmayan enerjinin aradan çok zaman geçmeden tekrar aynı sisteme veya ek sistemlere faydalı ısı olarak aktarılmasıdır. 1970'lerde ortaya çıkan enerji krizi tüm enerji kullanıcılarını tasarrufa yöneltmiştir. "En ucuz enerji tasarruf edilen enerjidir" özdeyişinden anlaşılacağı gibi tasarrufun önemli bir yolu da atık ısıları geri kazanmaktır.

Buhar kazanlarında ve ocaklarda en önemli enerji kaybı, bacalardan çıkan baca gazlarıdır. Çoğu kez, bu enerji kaybı bacada, kayıp ısıyı geri kazanma tertibatıyla azaltılır. Geri kazanılan ısı, doğrudan doğruya geri kazanılan enerji yerine geçer ve bu yüzden tüketilen yakıt azalır.

Ekonomizörler ve hava ön ısıtıcıları, kayıp ısıyı geri kazanma ekipmanları olarak endüstride kullanılır. Ekonomizörler, sadece kazanlarda kullanılırken hava ön ısıtıcıları, hem kazanlarda hemde ocaklarda kullanılabilir. Kazanlarda besleme suyu sıcaklığı ile ocak veya kazanda yakma havası sıcaklığı, genellikle baca gazı sıcaklığının altındadır. Besleme suyu veya yakma havası, ekonomizör veya hava ön ısıtıcısı vasıtasıyla baca gazındaki kayıp ısıyı emer. Yanan bir ünite, toplam verimdeki önemli

artış bu yolla sağlanır. Kazanlar ve ocaklar, kayıp ısıyı geri kazanmak için büyük bir potansiyele sahiptir [19]. Ayrıca kazan blöf oranlarının azaltılması ile önemli miktarda enerji tasarrufu sağlanabilmektedir.

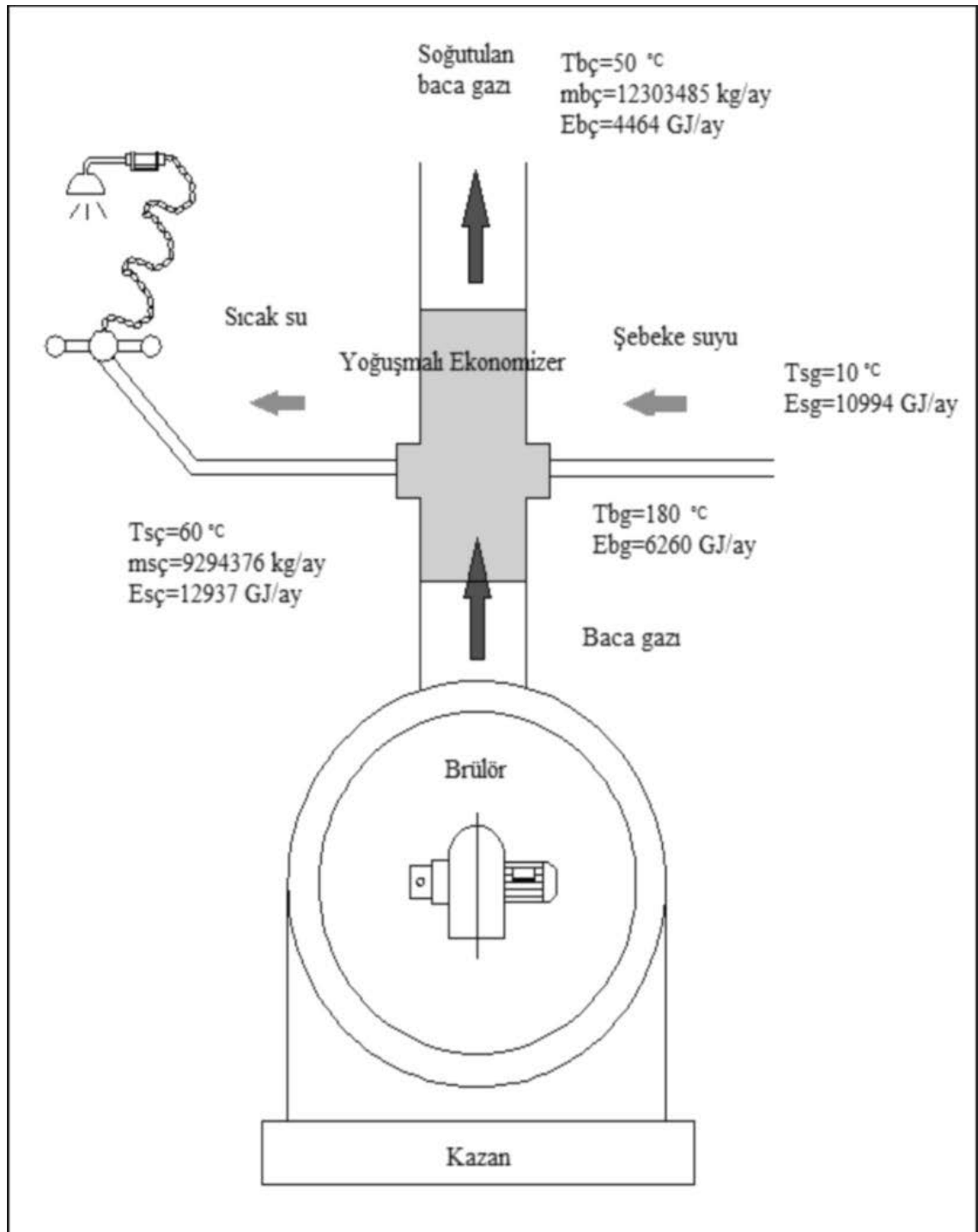
2.4.1. Ekonomizerler

Ekonomizerler; ısı, buhar veya güç üretim tesislerinde kazanlardan çıkarak bacaya verilen duman gazları üzerinde bulunan ısının bir bölümünü, bünyelerinde sirküle eden suya aktarmak suretiyle, geri kazanmak amacıyla kullanılırlar. Geri kazanılan bu ısı, kazan besleme suyuna verilebileceği gibi, tesiste ısıtma, banyo, yıkama, vb. amaçlar için kullanılacak suya da verilebilir. Geri kazanılacak ısının hava veya bir gaza aktarılması söz konusu olduğunda ise hava ısıtıcılar kullanılır [39].

Ekonomizörsüz bir kazana ekonomizör ilavesi büyük kazanç sağlar. Örneğin 16 bar işletme basınçlı ve 7 ton/h kapasiteli doymuş buhar üreten ve doğal gaz yakan bir kazan için yapılan basit bir çalışmada, ekonomizör ile 46 m³/h yakıt tasarrufu hesaplanmıştır. Kazanda günlük yakıt tasarrufu 1,100 m³ değerine ulaşmakta olup, bu yaklaşık % 8.2 oranında bir tasarrufa karşı gelmektedir. Daha uygun şartlarda bu değer % 10 mertebelerine çıkabilmektedir. Böyle bir yatırımın geri ödeme süresi 1 yılın altında kalmaktadır [40].

Bir kazandan bacaya verilmek üzere çıkan duman gazları genellikle kazan çalışma rejimi sıcaklığından 40°C ila 80°C daha yüksek olmaktadır. Kazan çalışma sıcaklığı ve buna bağlı olarak kazan duman gazı çıkış sıcaklığı yükseldikçe, duman gazları vasıtasıyla çevreye atılan enerji miktarı da artmaktadır. Bacadan atılan bu atık ısının bir kısmının geri kazanılması, kazan veya sistem verimini yükselterek yakıt tasarrufu sağlayacaktır. Hava fazlalık katsayısı ve yakıt türüne göre değişmekle birlikte, duman gazı sıcaklığındaki yaklaşık 21°C düşüş toplam kazan veriminde ortalama %1 artış anlamına gelmektedir [41]. Bu değer aynı zamanda yakıt sarfiyatındaki azalmayı gösterir. Hava fazlalık katsayısının yüksek olduğu kojenerasyon uygulamalarında (özellikle gaz türbini uygulamaları) oluşan duman gazı debisi daha fazla olduğu için %1'lik verim artışı için gereken sıcaklık düşümü değeri daha azdır. Bacaya atılan duman

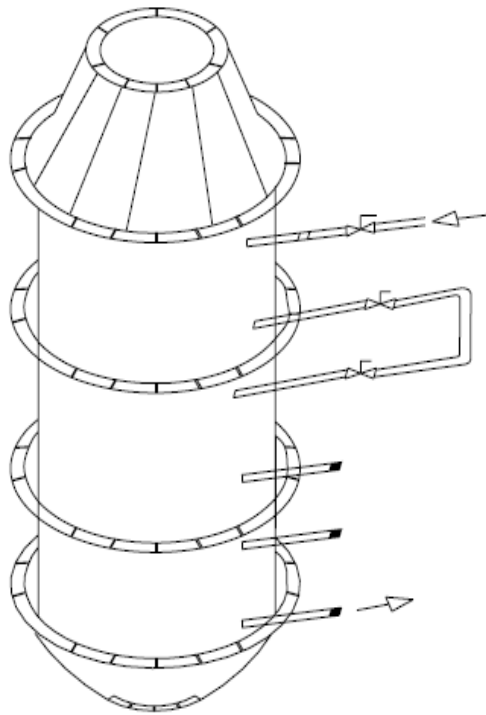
gazından ekonomizer kullanarak kazan besleme suyunun ısıtılması ve ocak ayı ortalama verilerine göre kazanılan enerji Şekil 2.10.'da gösterilmiştir.



Şekil 2.10. Baca gazlarının 50°C 'ye soğutulmasıyla elde edilen enerjiyle sıcak su elde edilmesi [17]

2.4.1.1 Ekonomizerlerin Tipleri ve Genel Yapıları

Ekonomizerler duman borulu ve su borulu tiplerde üretilmekte olup, su borulu konstrüksiyonlar daha yaygın kullanılmaktadır. Duman borulu ekonomizerlerde, duman gazı boru içinden akarken su ise boru dışında çok daha düşük bir hızla dolaşır. Bu nedenle ısı transfer katsayıları düşüktür. Dolayısıyla aynı kapasite için daha yüksek ısı transfer yüzeyi gerekir. Kapladıkları hacim fazladır, buna bağlı olarak yatırım maliyetleri de yüksektir. Su hacimleri çok yüksek olduğu için özellikle çok fazla duruşa geçen sistemlerde ısı kaybına neden olurlar. Soğuk kalkıştan rejime girene kadar belirli bir süre geçer, bu süre su borulu konstrüksiyonlara göre çok daha fazla olduğu için boru cidarlarındaki yoğuşma süresi de daha fazladır. Buna bağlı olarak da boru delinmeleri daha erken oluşur. Su borulu ekonomizerlerde ısınan su boru içinden ısıtan gaz ise boru dışından akar. Boru içerisindeki su hızı geçiş sayısı arttırılarak yüksek tutulabilir, böylece iyi bir ısı transfer katsayısı elde edilebilir. Sonuç olarak oldukça kompakt ve düşük maliyetli bir tasarım yapılmış olur. Gaz tarafında da geçiş sayısı arttırılarak istenen ısı transfer yüzeyi elde edilebilir. Şekil 2.11.'de gaz tarafı tek geçişli bir su borulu ekonomizer görülmektedir.



Şekil 2.11. Su borulu ekonomizer [31]

2.4.1.2 Ekonomizer Uygulama Alanları

a. Buhar Kazanlarında:

- Kazan besleme suyunun ön ısıtılmasında,
- Taze kazan besleme suyunun ısıtılmasında, degazör ısı ihtiyacının karşılanmasında,
- Tesiste herhangi bir amaçla kullanılan sıcak suyun ısıtılmasında,
- Tesiste herhangi bir mahallin ısıtılması amacıyla kullanılan kalorifer sistemi suyunun ısıtılmasında veya ısı takviyesinde kullanılmaktadır.

b. Kaynar su Kazanlarında:

- Tesisat dönüş suyunun ön ısıtılmasında,
- Taze sistem besleme suyunun ısıtılmasında, degazör ısı ihtiyacının karşılanmasında,
- Tesiste herhangi bir amaçla kullanılan sıcak suyun ısıtılmasında,
- Tesiste herhangi bir mahallin ısıtılması amacıyla kullanılan kalorifer sistemi suyunun ısıtılmasında veya ısı takviyesinde kullanılmaktadır.

c. Kızgın Yağ Kazanlarında:

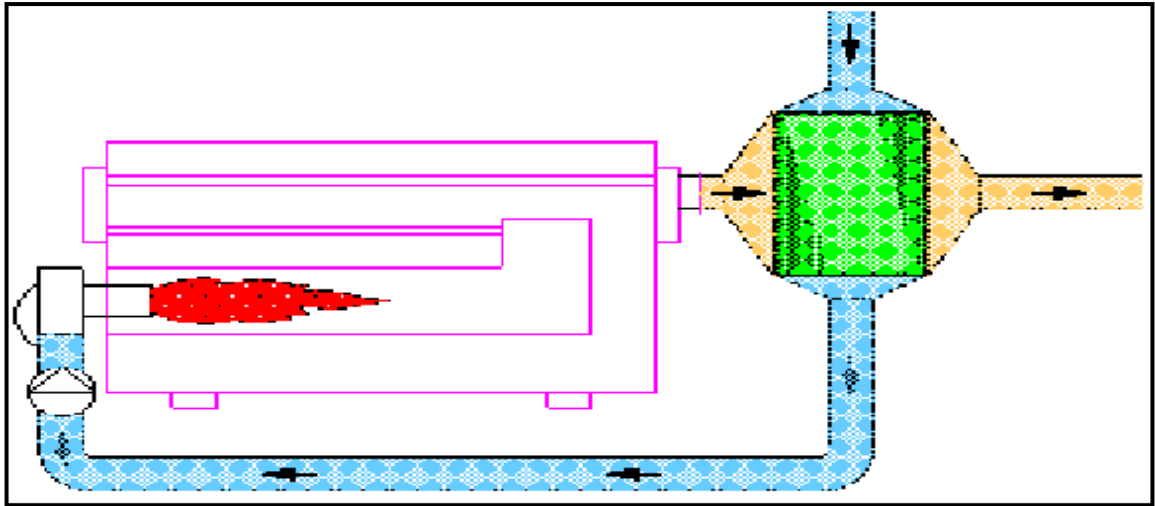
- Tesiste herhangi bir amaçla kullanılan sıcak suyun ısıtılmasında,
- Tesiste herhangi bir mahallin ısıtılması amacıyla kullanılan kalorifer sistemi suyunun ısıtılmasında veya ısı takviyesinde kullanılmaktadır.

2.4.2. Hava Ön Isıtıcıları

Hava Isıtıcıları, ısı, buhar veya güç üretim tesislerinde kazanlardan çıkarak bacaya verilen duman gazları üzerinde bulunan ısının bir bölümünü geri kazanmak amacıyla kullanılırlar. Geri kazanılan bu ısı, kazanda yakma havası olarak kullanılan taze havaya verilebileceği gibi, tesiste ısıtma, pişirme, kurutma, vb. amaçlar için kullanılacak havaya da verilebilir.

Ekonomizörlerde olduğu gibi, hava ısıtıcılarında da duman gazları bir miktar daha soğutulmuş olarak hem daha yüksek yakıt ekonomisi, hemde yakma havasının ısıtılması ile

ocakta daha iyi bir yanma sağlanır. Yaklaşık olarak havanın her 50°C fazladan ısıtılması, yakıtta % 2.5 değerinde bir ekonomi sağlar. Hava ısıtıcıları özellikle düşük kalorili kömürleri yakan toz kömür ocaklarında ve sıvı, gaz yakan ocaklarda önem kazanır. Pratik olarak, bütün toz kömür yakan ocaklarda iyi bir yanma için hava 150 ile 320 °C arasında ısıtılmalıdır. [19]



Şekil 2.12. Hava ön ısıtıcı genel görünümü [35].

Hava ısıtıcılarının üstünlükleri şunlardır [39];

- Hava ısıtıcına giren hava sıcaklığı ekonomizere giren su sıcaklığından daha düşük olduğundan duman gazları hava ısıtıcısında daha düşük bir sıcaklığa kadar kolaylıkla soğutulabilir
- Hava ısıtıcındaki basınçlar su ısıtıcına göre çok daha azdır.
- Daha düşük hava sıcaklık kat sayısı ile tam yanmaya yaklaşıldığından yanma verimi artar.
- Küçük yüklerde dahi yakıtın tutuşması kolaydır.
- Tutuşmanın hızlanması daha geniş yük aralığında çalışmayı sağlar.
- Aynı anda çeşitli bölgelerin ısıtılmasında ve bazı maddelerin kurutulmasında sıcak havadan yararlanılabilir.

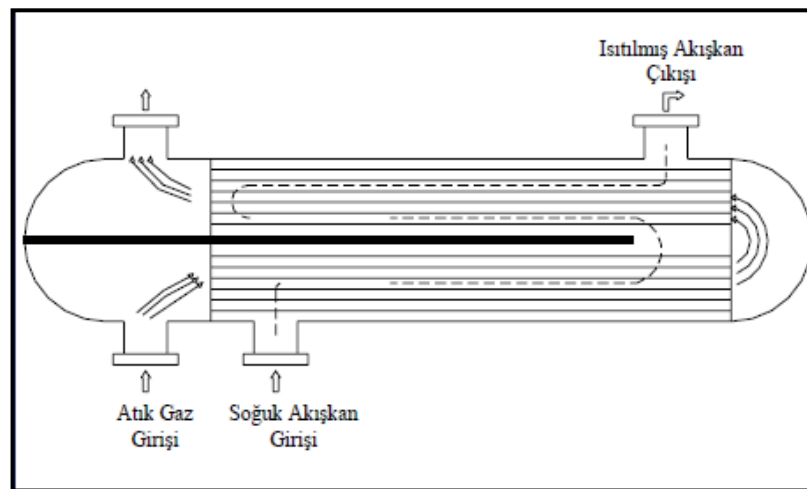
Bu üstünlüklere karşılık sakıncaları;

- Havanın ısınması stoker ve ocak duvarlarının refrakterlerinde çabuk bozulmalara neden olduğundan ilave bir bakım masrafı doğurur.
- Sıcak hava içine karışabilen yanıcı tozlar tutuşarak önemli tahribat yapabilir.
- Hava ısıtıcısının mümkün olduğu kadar küçük projelendirilmesi vantilatör ve kanalların uygun dizaynı için dikkatli bir ön çalışma gerekir.
- Hava kaçaklarını karşılamak için vantilatör kapasitesi artırılır.
- Hava ve duman tarafındaki kaçakların tespiti kolay değildir.

Hava ısıtıcıları çalışma prensiplerine göre rejeneratif hava ısıtıcıları ve reküparatif hava ısıtıcıları olmak üzere ikiye ayrılır:

2.4.2.1. Rejeneratif hava ısıtıcıları (Rejeneratörler)

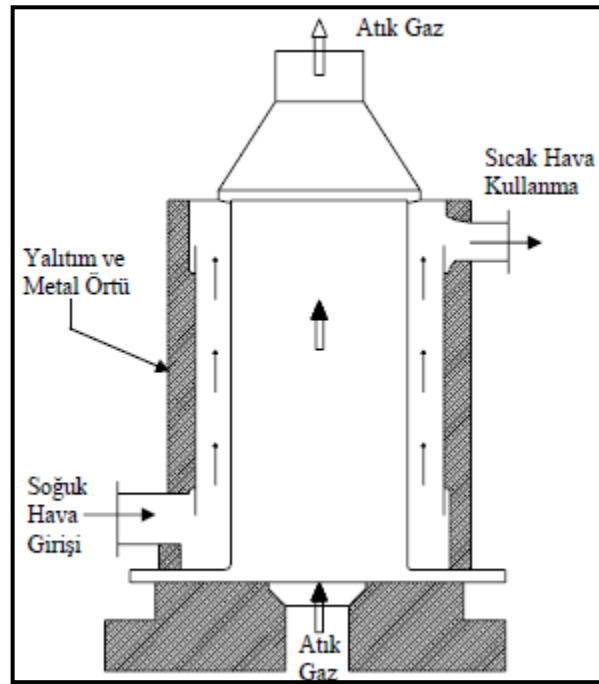
İçinden sıra ile arka arkaya sıcak ve soğuk yani ısıveren ve ısıılan gaz akışkanların geçtikleri ısı değiştirgeçleridir. Gaz akışkan olarak kullanma gayesine göre genellikle çürük gazlar, baca gazları, azot, hava gazı ve benzeri akışkanlar söz konusudur. Kanallardan geçen gazların ısıları kanal malzemeleri tarafından yutulur ve sonradan geçen gazlara verilir. Isıyı yutma ve ısı geçişi bakımından kanal malzemelerinin seçimi ile geometrileri çok önemlidir.



Şekil 2.13. Basit bir rejeneratör [31].

2.4.2.2. Reküperatif hava ısıtıcıları (Reküperatör)

Reküperatör; doğal gaz yakan sistemlerde, yüksek sıcaklıklı baca gazları yardımıyla, kazan yakma havasının ısıtılması için kullanılır. Reküperatörden geçirilen yüksek sıcaklıkta baca gazı ile yakma havasının ısıtılması mümkündür. Bu işlem sonucunda enerjinin büyük bir kısmı tesise geri kazandırılır.



Şekil 2.14 Basit bir reküperatör [31].

Klasik bir kazanın arkasına yerleştirilen reküperatör dumanların soğuması ve yoğuşma sıcaklığına kadar düşmesini temin eder. Bu teknikle özel olarak basınçlı, klasik kazanların yoğuşmalı kazana dönüşmesi sağlanır. Isı değişim yüzdesi ne kadar büyükse reküperasyon o derece etkili olur. Genelde reküperatörün ısı değişim alanı yanma hücresi kadar olmalıdır. Bu da kullanılan malzemenin ısıl geçirgenliğine bağlıdır (0.07 ile 0.1 kW/m² olarak).

Suyun gizli ısı, doğal gazın alt ısı değerinin %11'i kadardır. Yani doğal gaz yanması halinde 100 kWh duyulur ısı elde edilebiliyorsa, 11 kWh kadda gizli ısı elde edilir. Doğal gaz yanmasında hava fazlalık katsayısı 1.2 olması durumunda çığ noktası sıcaklığı 57 °C civarındadır.

Kazan yakma havasının 50°C'ye kadar ısıtılması; kazanda ateşlemenin daha stabil olmasını, maksimum ve minimum yüklenme esnekliğini artırır.

Kazan yakma havasının ısıtılması ile hızlı yanma sağlanır. Yanmanın hızlı olması, üretimi verimini artırır. 50°C'ye kadar ısıtılan kazan yakma havası; menfezlerden üflenerek mahal ısıtmada kullanılabilir.

2.4.3. Blöften Isı Geri Kazanımı

Buhar üretme prosesinin kazan suyunda çözülmüş ve süspansiyon halde bulunan katı parçacıklar oluşturması kaçınılmazdır. Belirli bir konsantrasyon seviyesinin üzerinde katı parçacıklar kazanın içinde bir tortu oluşturabilirler ve kazan borularının içinde birikerek ısı transferini yavaşlatır ve aşırı ısınmaya neden olabilirler. Bunlardan başka yüksek konsantrasyondaki katı parçacıklar buhar hatlarına su taşınmasına da neden olabilirler.

Buhara su karışmasının kazanda çok fazla su seviyesi, aşırı alkalilik gibi başka nedenleri de olmakla birlikte bu duruma çoğunlukla aşırı çözülmüş veya asılı halde bulunan katı parçacıklar sebep olmaktadır.

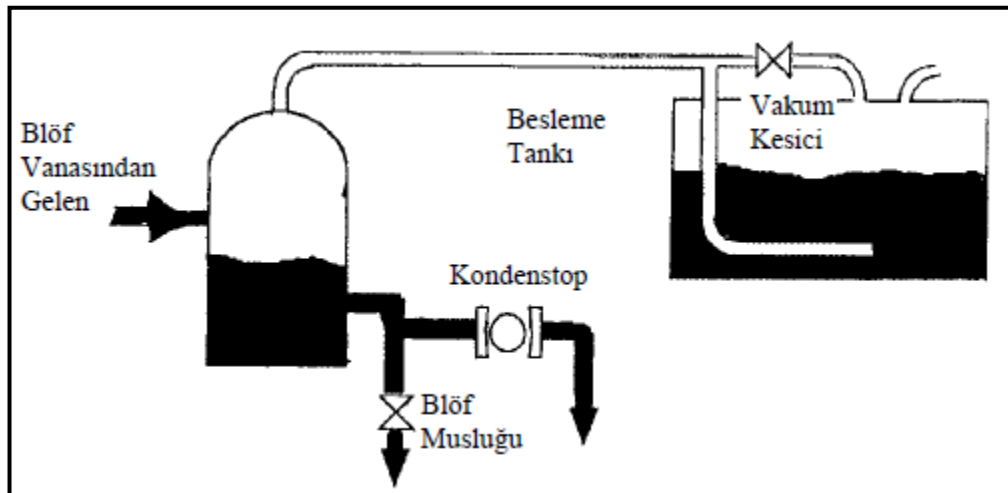
Yukarıda açıklanan nedenlerden dolayı katı parçacık konsantrasyon seviyesinin kontrol edilmesi gerekmektedir, bu da blöf yapılarak gerçekleştirilir. Kazanın alt seviyesinde kirliliğin yoğun olduğu bölgeden bir miktar kazan suyu konsantrasyon seviyesine bağlı olarak belli aralık ve sürelerle deşarj edilir, bunun yerini taze besleme suyu alır, böylece kazan suyundaki toplam çözülmüş katı parçacık konsantrasyonu optimum seviyede kalır.

Kazanlardan blöf işlemi kesintili veya sürekli olur. Sürekli blöf yapılan bir işletmede ısı geri kazanım daha optimum verime sahiptir. Isı geri kazanım temel olarak sistemden atılan sıcak sudan enerji çekerek, soğuk olan besi suyuna aktarmaktadır. Atık enerjinin %50'si geri kazanılabilmektedir. Tablo 2.3.'te blöf miktarının %1 azaltılması ile sağlanacak yakıt kazanç yüzdesi verilmiştir.

Tablo 2.3. Blöf miktarının azaltılması ile sağlanacak yakıt kazanç yüzdesi [42].

Kazan Basıncı (bar)	%1 Blöf miktarının azaltılması ile Yakıt Kazancı
7	% 1.9
10	% 2.1
17	% 2.5
25	% 2.8

Kazan dairesi uygulaması: Blöf sistemi ile dışarı atılan kızgın su flaş tankından geçirilerek flaş buhar elde edilmesi Şekil 2.15.'te gösterilmiştir.



Şekil 2.15. Blöften flaş buhar elde edilmesi [1]

2.5. Isı İletim Hatlarının İyileştirilmesi

Yapılarda ve tesisatlarda ısı kayıp ve kazançlarının sınırlandırılması için yapılan işleme “ısı yalıtımı” denir. Teknik olarak, ısı yalıtımı, farklı sıcaklıktaki iki ortam arasında ısı geçişini azaltmak için uygulanır. Isı yalıtımı yapılan yeni binalarda ısınma için daha az enerji gerekeceğinden, kazan büyüklüğü, radyatör sayısı ve kalorifer tesisatının diğer ekipmanları daha az kullanılır. Isı yalıtımının bina ve tesisler, insanlar ile ülkeler için konforlu bir ortam ve sağlıklı yaşam konforu ve yüksek oranda enerji tasarrufu sağlamak, zararlı madde emisyonunu (çevreye yayılımı) düşürmek gibi önemli faydaları vardır [30].

2.5.1. Isı Yalıtım Malzemeleri

Isı yalıtım malzemeleri; ısı kayıp ve kazançlarının azaltılmasında kullanılan düşük kalınlıklarda yüksek ısı dirence sahip, hafif ve özel malzemelerdir. Isı yalıtım malzemelerini diğer malzemelerden ayıran en önemli özellik ısı iletim katsayılarının düşük olmasıdır. Isı iletkenlik katsayısı(λ q); birim kalınlıktaki bir malzemenin birbirine paralel olan iki yüzeyindeki sıcaklık farkının 1°C olması durumunda iletim yoluyla transfer edilen enerji miktarını ifade eder. Isıl iletkenlik katsayısı birimi “W/m.K” dir. Isıl iletkenlik katsayısı düştükçe ürünün yalıtım özelliği artar. Tablo 2.4.’te bazı malzemelerin ısı iletkenlik katsayıları verilmiştir.

Tablo 2.4. Bazı malzemelerin ısı iletkenlik katsayıları [30].

Malzeme	Isıl iletkenlik katsayısı (W/m.K)
Alüminyum	204
Beton (Donatılı)	2,1
Tuğla (Yatay delikli)	0,45
Gaz Beton	0,15
Isı Yalıtım Malzemeleri	0,025- 0,040

Binalarda kullanılan ısı yalıtım malzemeleri aşağıda listelenmiştir:

- Mineral Yünler: Camyünü ve Taşyünü (MW)
- Genleştirilmiş polistiren köpüğü (EPS)
- Ekstürüde polistiren köpüğü(XPS)
- Poliüretan (PUR)
- Fenol köpüğü (PF)
- Cam köpüğü (CG)
- Ahşap yünü levhalar (WW)
- Genleştirilmiş perlit levhalar (EPB)
- Genleştirilmiş mantar (ICB)

Tesisatlarda kullanılan ısı yalıtım malzemeleri aşağıda listelenmiştir:

- Mineral Yünler: Camyünü ve Taşyünü (MW),
- Elastomerik kauçuk (FEF)
- Cam köpüğü (CG)
- Kalsiyum silikat (CS)
- Ekstürüde polistiren (XPS)
- Poliüretan (PUR / PIR)
- Genleştirilmiş polistiren (EPS)
- Polietilen köpük (PEF)
- Fenol köpüğü (PF)
- Poliolefin Köpüğü

Yalıtım malzemesi seçilirken çalışma sıcaklığı, yalıtım yapılacak malzemenin atmosfere açık havada veya kapalı ortamda bulunması, kimyasal malzemelere ve ateşe dayanıklılık gibi hususların göz önünde tutulması gerekir. Tablo 2.5.'te yüzey sıcaklıklarına göre tavsiye edilen yalıtım kalınlıkları, tablo 2.6.'da boru içinde akan akışkanın sıcaklığına göre boruların izolasyonu için tavsiye edilen yalıtım kalınlıkları verilmiştir.

Tablo 2.5. Yüzey sıcaklıklarına göre tavsiye edilen yalıtım kalınlığı

Yüzey Sıcaklığı	Yalıtım Kalınlığı
66°C	5.1 cm.
121°C	7.6 cm.
177°C	10.2 cm.
288°C	15.2 cm.
400°C	2.9 cm.
510°C	25.44 cm

Tablo 2.6. Boru İşletme Sıcaklığına göre tavsiye edilen yalıtım kalınlıkları

İşletme Sıcaklığı (°C)	Yalıtım Kalınlığı (cm)
66	1.25 - 2.5
121°C	2.5 - 5
177°C	3.75 - 7.5
232°C	5 - 11.25
288°C	6.25 - 13.75
343°C	7.5 - 15

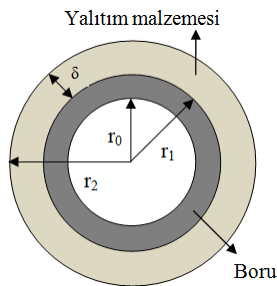
2.5.2. Boru sisteminde ısı kayıplarının hesaplanması

Bölgesel ısıtma sistemlerinde boru sistemi boyunca borudan gerçekleşen ısı kaybı genellikle aşağıdaki denklem ile hesap edilmektedir [5].

$$Q_b = UA(T_{ts} - T_d) = UA \Delta T \quad (2.13)$$

Burada; A borunun toplam yüzey alanı, T_d dış ortam sıcaklığı, T_{ts} boru içerisindeki sıcak suyun ortalama tasarım sıcaklığı ve U boru sistemi için toplam ısı transfer katsayısıdır.

Boru sistemi tabakalarının toplam ısıl direnci, R_b , borunun iç ve dış yüzeyleri arasındaki tabakaların ısıl dirençleri ile bu iç ve dış yüzey üzerindeki ısı taşınım katsayıları toplamına eşittir. Böylece boru sisteminin tüm tabakaları için toplam ısıl direnç aşağıdaki gibi verilir.



$$R_b = \frac{1}{h_i A_i} + \frac{\ln\left(\frac{r_1}{r_0}\right)}{2\pi L k_1} + \frac{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{2\pi L k_2} + \dots + \frac{\ln\left(\frac{r_n}{r_{n-1}}\right)}{2\pi L k_n} + \frac{1}{h_d A_d} \quad (2.14)$$

Şekil 2.16. Tipik boru kesiti [5]

Burada k_1 , k_2 , vb. boru sistemi tabakalarının ısı iletkenliklerini ve r_1 , r_2 , vb. ise onların yarıçaplarını ifade eder. Boru sisteminin son tabakasının dış yüzey alanı $A_d = 2\pi L r_n$ iken borunun iç yüzey alanı $A_i = A_d = 2\pi L r_0$ dır.

Yalıtımsız boru sistemi tabakalarının toplam ısı direnci (2.15);

$$R_{b1} = \frac{1}{h_i A_i} + \frac{\ln\left(\frac{r_1}{r_0}\right)}{2\pi L k_1} + \frac{1}{h_d A_d}$$

Yalıtımlı boru sistemi tabakalarının toplam ısı direnci (2.16);

$$R_{by} = \frac{1}{h_i A_i} + \frac{\ln\left(\frac{r_1}{r_0}\right)}{2\pi L k_1} + \frac{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{2\pi L k_y} + \frac{1}{h_d A_d}$$

Burada; k_y yalıtım malzemesinin ısı transfer katsayısı ve $A_d = 2\pi L r_2$ boru sisteminin son tabakasının dış yüzey alanıdır. Ayrıca, h_i ve h_d sırasıyla boru sisteminin iç ve dış yüzeyleri için ısı taşınım katsayılarıdır.

Bölgesel ısıtmadaki yalıtılmış bir boru sisteminde taşınan sıcak su için yıllık toplam maliyetleri etkileyen parametreler yalıtım ve enerji maliyetleridir. Boru sisteminde yalıtım kalınlığının artmasıyla birlikte ısı kaybı düşer. Isı kaybının azalmasıyla birlikte birim uzunluktaki boru sisteminde taşınan suyu ısıtmak için gerekli enerji ihtiyacının azalacağı ve toplam maliyetin düşeceği açıktır. Yalıtım kalınlığının gereğinden yüksek yapılması yalıtım maliyetini arttıracaktır. Böylece yüksek yalıtım maliyeti nedeniyle belli bir noktadan sonra toplam maliyet artacaktır. Boru yalıtımında yalıtım kalınlığı artarken enerji tasarrufunun düşmeye başladığı noktada optimum yalıtım kalınlığı elde edilir ve enerji tasarrufu optimum yalıtım kalınlığında maksimum değeri alır [44].

2.5.3. Ön Yalıtımlı Borular

Ön yalıtımlı (Jeotermal) borular sıcak veya soğuk akışkanın ısı transferini engelleyecek özellikte ve üç katmanlı olarak imal edilmiş borulardır. İçteki taşıyıcı boru, arada yalıtım malzemesi olarak Poliüretan katman (PUR) ve koruyucu kılıf olarak en dışta Polietilen (PE) borudan oluşmaktadır. Boru değişik malzeme katmanlarından oluştuğu için kompozit boru sınıfına girmektedir. Taşıyıcı boru malzemesi kullanım sıcaklıklarına göre farklı olabilmektedir. Sunmuş olduğu teknik ve maliyet avantajları sayesinde camyünü izolasyonlu boruların dezavantajlarını ortadan kaldırmıştır. Bu boruların üstünlükleri ise :

- Kılıf borunun Polietilen olması ile korozyona yüksek dayanım gösterir.
- Yeraltındaki ve yerüstündeki nem yalıtım malzemesine etki etmez.
- Dış etkilere karşı yalıtım ömrü en az 30 yıldır.
- Uygulanan korona işlemleri sayesinde poliüretan kılıf boru ile kimyasal bağ kurduğundan ısı genleşmede yekpare hareket edilir ve taşıyıcı boru uzamasının yalıtıma zarar vermesinin önüne geçilir.
 - Yekpare yapı sayesinde toprak sürünme kuvvetleri ile çelik boru uzamasına engel olunur.
 - Ana taşıyıcı boru olarak çelik, PPr, bakır kullanılabilir.
 - Taşıyıcı boru döşenmeden önce ısıtılır ve daha sonra toprak dolgusu yapılır ise öngerilmeli sistem elde edilmiş olur. Bu sayede ısıtılan sıcaklık kadar uzama etkisi ortadan kaldırılır. Toplam uzama değerleri düştüğünden kompensatör kullanmaya gerek kalmaz.

3. BÖLÜM

BULGULAR

Çalışmanın bu aşamasında enerji yönetim sistemi oluşturulmuş ve uygulanmakta olan işletmede, verimlilik artırıcı projeler kapsamında yapılan uygulamalardan elde edilen verimlilik artışlarına ilişkin sonuçlar ve bulgulardan bahsedilmiştir. Çalışma kapsamında işletmede bulunan 2 adet büyük ısıtma merkezinde gerçekleştirilen 2 uygulama sonuçları verilmiştir. Sadece ısıtma amaçlı kullanılan birinci ısıtma merkezindeki 3 farklı ısıtma kapasitesine sahip sıcak su kazanlarında, baca gazı ölçüm cihazı ile baca gazı emisyon ölçümleri yapılmış, ölçülen emisyonlar değerlendirilerek yanma verimini artırmak amacıyla çeşitli hava fazlalık katsayıları kullanılmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Şekil 3.1.'de çalışma yapılan kazana ait fotoğraf sunulmuştur.



Şekil 3.1. Çalışma Yapılan Kazan Dairesi.

Diğer ısıtma merkezi bütün sene boyunca çalışmakta, burada bulunan kazanlar vasıtası ile bölgesel ısıtma ve kullanma amaçlı sıcak su ile buhar üretimi yapılmaktadır. Isıtma merkezi yaz/kış dört mevsim çalışmaktadır. Bu tesiste üretilen sıcak su galeri sistemi içinden, çapları 65 mm ile 125 mm arasında değişen camyünü ile yalıtılmış ve yaklaşık uzunluğu 1,100m.'yi bulan çelik borular ile ihtiyaç mahallerine taşınmaktadır.

Söz konusu boruların yalıtımları özelliğini yitirmiş durumdaydı. Isı iletim hatları boyunca borularda birçok yerde çatlaklar bulunmakta, ısı kayıpları oluşmakta ve sık sık onarım gerektirmekteydi. Isı iletim hatlarına ait borular Temmuz-Eylül 2013 tarihleri arasında ön yalıtımlı borular ile değiştirilerek iyileştirilmiştir. İyileştirme sonucu ısıtma merkezinde harcanan yakıt miktarları ile bir önceki yakma sezonunda harcanan yakıt miktarları karşılaştırılmıştır.

3.1. Baca Gazı Analizleri ile Hava Fazlalık Katsayısının Ayarlanması ve Sonuçlarının Karşılaştırılması.

Yapılan çalışmada kullanılan baca gazı emisyon ölçüm cihazı; dijital göstergeli bir ekrana sahip 220 V, 50 Hz, AC gerilimle çalışan (aynı zamanda şarj edilebilen), farklı emisyonları tespit etmek için emisyon sensörleri ve gerekirse is ve gaz hortumlarının cihaza bağlanabileceği kablo ve yazıcı ünitesinden oluşan bir cihazdır (Şekil 3.2.).



Şekil 3.2. Baca gazı ölçüm cihazı.

Çalışma kapsamında 3 farklı tipte kazan kullanılmıştır. 1 numaralı kazan 2003 yılı yapımı ve 1,500,000 Kcal/h (1,750 kWh) gücünde, 2 numaralı kazan 2001 yılı yapımı ve 2,000,000 Kcal/h (2,350 kWh) gücünde ve 3 numaralı kazan ise 2,000 yılı yapımı, 1,600,000 Kcal/h (1,860 kWh) gücündedir. Her üç kazanda da 60-250 kg/h kapasiteli, çift memeli brülör ve yakıt olarak motorin kullanılmaktadır.

Ölçümlere başlamadan önce cihazın kendini kalibre edebilmesi için 5-8 dakika kadar çalıştırılması gerekir. Dijital ekrandan, yakıt türü seçilerek işleme başlanır. Ölçüm sensörlerinin bulunduğu uç (prop) ölçüm yapılacak olan noktaya yerleştirilir. Cihaz ölçüm yapmaya başladıktan sonra kararlı hale gelene kadar beklenir. Deneysel ölçümlere başlamadan önce kazan 30-45 dakika kadar çalıştırılarak kararlı yanma rejimine ulaşması sağlanır. Şekil 3.3.'de baca gazı ölçüm düzeneği gösterilmiştir.

Brülörün üzerindeki hava-yakıt ayar klapesi vasıtasıyla hava oranı ayarlanır. Ölçüm bağlantı ucu (prop) baca bağlantı parçasının merkezine getirilerek hava fazlalık katsayısı değeri ölçüm cihazı ekranından tespit edilir.



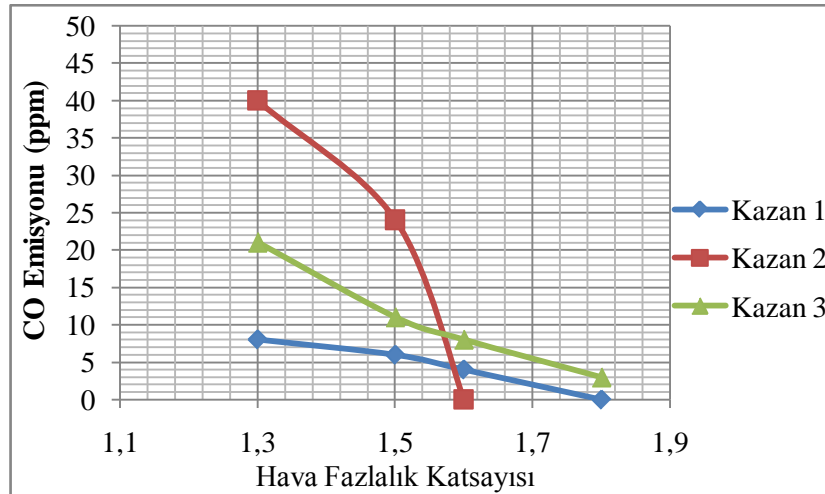
Şekil 3.3 Baca gazı ölçüm düzeneği.

Ölçüm yapılacak farklı hava fazlalık değerlerinin ayarlanmasında brülör üzerindeki hava-yakıt ayar klapesinden ayarlanarak istenilen değere gelip gelmediği ölçüm cihazı yardımıyla belirlenir. Ölçüm ucu (prop) bir önceki ölçümden elde ettiği verilerin sıfırlanması için takip eden ölçümler arasında 2-3 dakika bekletilir. Aynı yanma

şartlarında veriler alabilmek için, kazan sıcaklığı değerinin aynı olması sağlanır. Kazan çalışması durduktan sonra bir sonraki ölçümü yapabilmek için kazan sıcaklığının işletme sıcaklığına gelmesi beklenir.

Baca gazı ölçüm cihazı ile 3 farklı kazanda yapılan ölçümlerden elde edilen bulgular:

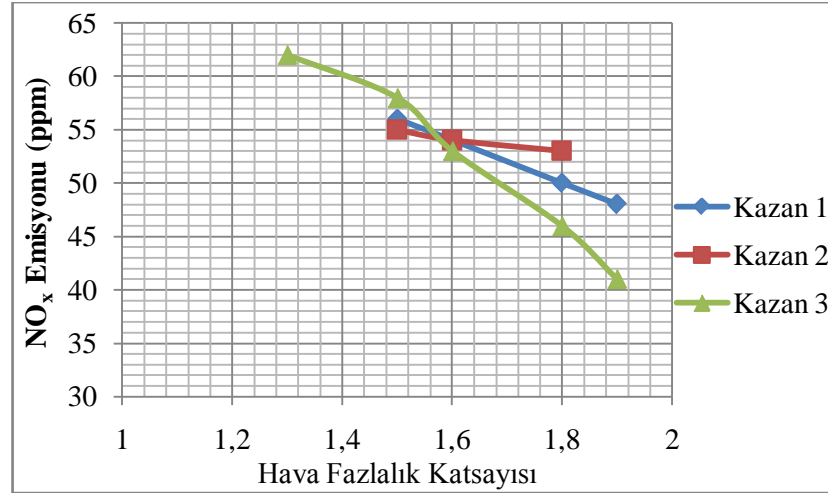
Hava fazlalık katsayısının CO emisyonu üzerindeki etkisi; ısı kapasitesi 1,500,000 kcal/h olan kazanda CO emisyonu ölçüm noktasında hava fazlalık katsayısı $\lambda=1.57$ için; 8 ppm iken; $\lambda =1.81$ için; 0 ppm ve $\lambda =1.90$ için 0 ppm olduğu, ısı gücü 2,000,000 kcal/h olan kazanda CO emisyonu ölçüm noktasında hava fazlalık katsayısı $\lambda =1.45$ için; 27 ppm iken; $\lambda=1.49$ olduğunda 24 ppm'e ve $\lambda=1.59$ olduğunda 3 ppm'e düştüğü, $\lambda=1.61$ için ise 0 ppm'e düştüğü Şekil 3.4'te görülmektedir. Bu verilerden hava fazlalık katsayısı arttıkça CO emisyonunun azaldığı görülmektedir. CO emisyonunun düşük olması çevre mevzuatınca zorunlu olup, uygun λ değerleri ile istenen standartlar yakalanabilir.



Şekil 3.4. Hava fazlalık katsayısı ve CO emisyonu değişimi.

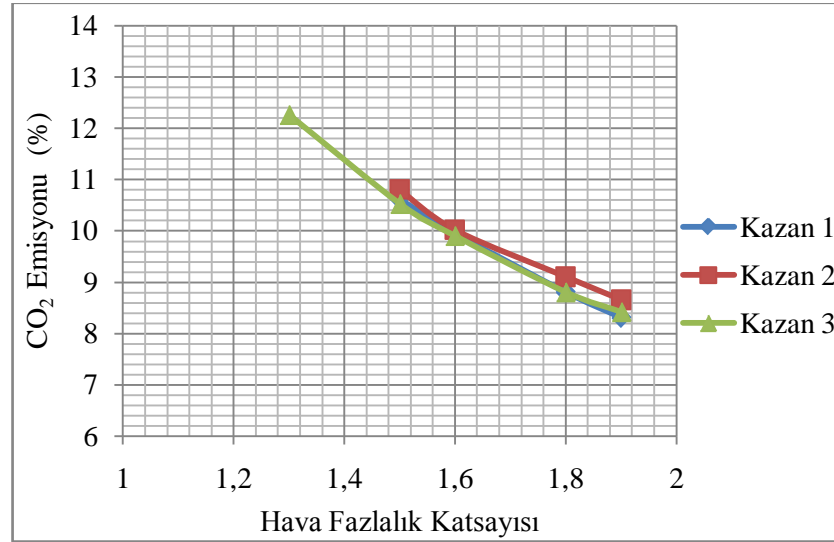
Hava fazlalık katsayısının NO_x emisyonu üzerindeki etkisi; ısı kapasitesi 1,500,000 kcal/h olan kazanda NO_x emisyonu ölçüm noktasında hava fazlalık katsayısı $\lambda=1.57$ için; 56 ppm iken, $\lambda =1.81$ için 50 ppm ve $\lambda=1.90$ olduğunda 48 ppm'e düştüğü, ısı kapasitesi 1.600.000 kcal/h olan kazanda NO_x emisyonu ölçüm noktasında $\lambda =1.30$ için; 62 ppm iken; $\lambda =1.51$ olduğunda 58 ppm, $\lambda = 1.80$ olduğunda 46 ppm'e düştüğü

Şekil 3.5'te, baca gazı sıcaklıklarının değişimleri ise; Şekil 3.8'de görülmektedir. Hava fazlalık katsayısı arttıkça baca gazı sıcaklığının azaldığı ve NO_x emisyonunun azaldığı görülmektedir. Çevreye zararlı etkilerinden dolayı NO_x emisyonunun düşük miktarda olması gerekmektedir.



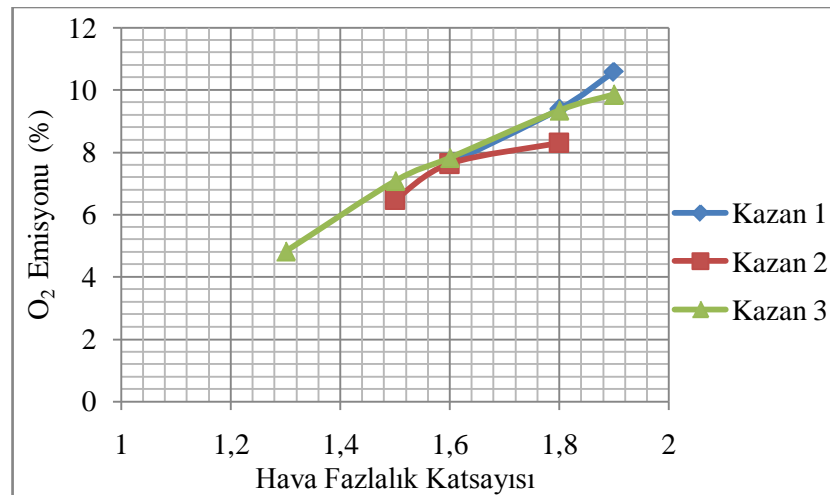
Şekil 3.5 Hava fazlalık katsayısı ve NO_x emisyonu değişimi.

Hava fazlalık katsayısının CO₂ emisyonu üzerindeki etkisi; ısı kapasitesi 1,500,000 kcal/h olan kazanda CO₂ emisyonu ölçüm noktasında hava fazlalık katsayısı $\lambda=1.57$ için; % 10.61 iken, $\lambda =1.81$ için % 9.95 ve $\lambda=1.90$ olduğunda % 8.80 'e düştüğü, ısı kapasitesi 1,600,000 kcal/h olan kazanda CO₂ emisyonu ölçüm noktasında $\lambda=1,30$ için; % 12.20 iken; $\lambda=1.51$ olduğunda % 10.53, $\lambda = 1.80$ olduğunda % 8.81'e, $\lambda= 1.90$ olduğunda % 8.41'e düştüğü Şekil 3.6'da görülmektedir. Hava fazlalık katsayısı arttıkça CO₂ emisyonunun arttığı görülmektedir. Emisyon ölçümlerinde CO₂ miktarının yüksek olması istenmesine rağmen hava fazlalık oranı arttıkça CO₂ miktarının düştüğü görülmektedir. Teorik olarak %13-14 seviyesinde olması istenen CO₂ miktarının azalmasından aşırı havanın yanmayı bozduğu sonucuna ulaşılmaktadır.



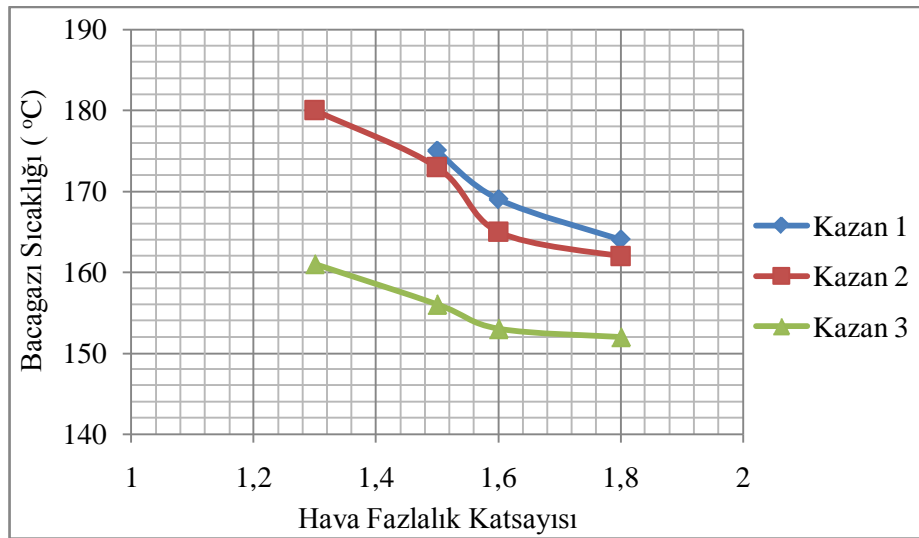
Şekil 3.6 Hava fazlalık katsayısı ve CO₂ emisyonu değişimi.

Hava fazlalık katsayısının O₂ emisyonu üzerindeki etkisi; ısı kapasitesi 2,000,000 kcal/h olan kazanda O₂ emisyonu ölçüm noktasında hava fazlalık katsayısı $\lambda=1.45$ için; % 6.47 iken, $\lambda =1.49$ için % 6.65, $\lambda=1.59$ olduğunda % 7.63 ve $\lambda=1.61$ olduğunda % 7.94 'e çıktığı, ısı kapasitesi 1,600,000 kcal/h olan kazanda O₂ emisyonu ölçüm noktasında $\lambda=1,30$ için; % 4,82 iken; $\lambda =1.51$ olduğunda % 7.08, $\lambda= 1.80$ olduğunda % 9,34 ve $\lambda= 1.90$ olduğunda % 9,95'e çıktığı Şekil 3.7'de görülmektedir. Hava fazlalık katsayısı arttıkça yanma reaksiyonuna girmeden ayrılan O₂ emisyonunun arttığı başka bir deyişle yanmanın bozulduğu görülmektedir.

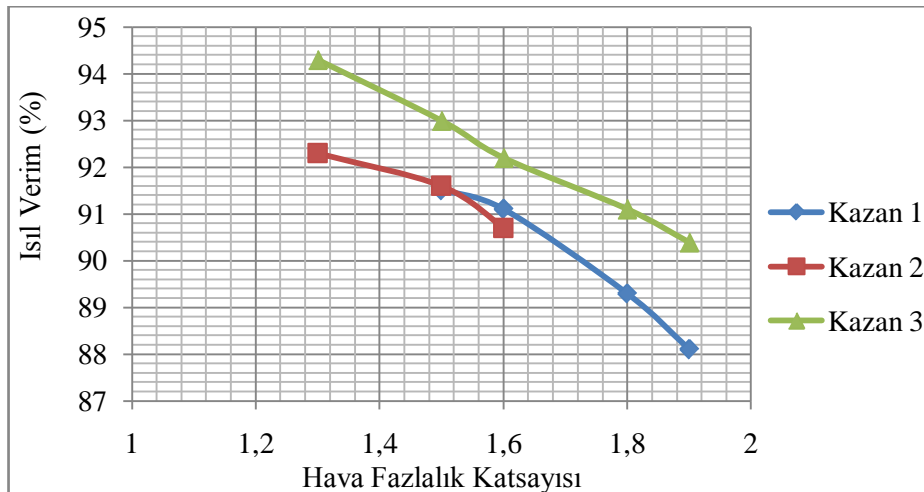


Şekil 3.7 Hava fazlalık katsayısı ve O₂ emisyonu değişimi.

Hava fazlalık katsayısı ile ısı veriminin değişimi; ısı kapasitesi 2,000,000 kcal/h olan kazanda ısı verim ölçüm noktasında $\lambda=1.45$ için; $\eta=91.8$ iken; $\lambda=1.49$ için $\eta=91.5$ ve $\lambda=1.61$ için $\eta=90.7$ olduğu tespit edilmiştir. Isı kapasitesi 1,600,000 kcal/h olan kazanda ısı verim $\lambda=1.30$ için; $\eta=94,3$ iken; $\lambda=1.51$ olduğunda $\eta=93.0$, $\lambda=1.80$ olduğunda $\eta=91.1$ 'e ve , $\lambda = 1.90$ olduğunda $\eta=90.4$ 'e düştüğü Şekil 3.9'da görülmektedir. Hava fazlalık katsayısı arttıkça baca gazı sıcaklığının ve O_2 emisyonunun arttığı görülmektedir. Bu verilerden hava fazlalık katsayısı arttıkça ısı veriminin azaldığı görülmektedir. Isı veriminin ayrıca kullanılan yakıtın ısı değerine bağlı olduğu bilinmektedir.



Şekil 3.8 Hava fazlalık katsayısının baca gazı sıcaklığına etkisi.



Şekil 3.9 Hava fazlalık katsayısının ısı verimine etkisi.

3.2. Ön Yalıtımlı Borular ile Isı İletim Hatlarının İyileştirilmesi ve Sonuçların Karşılaştırılması

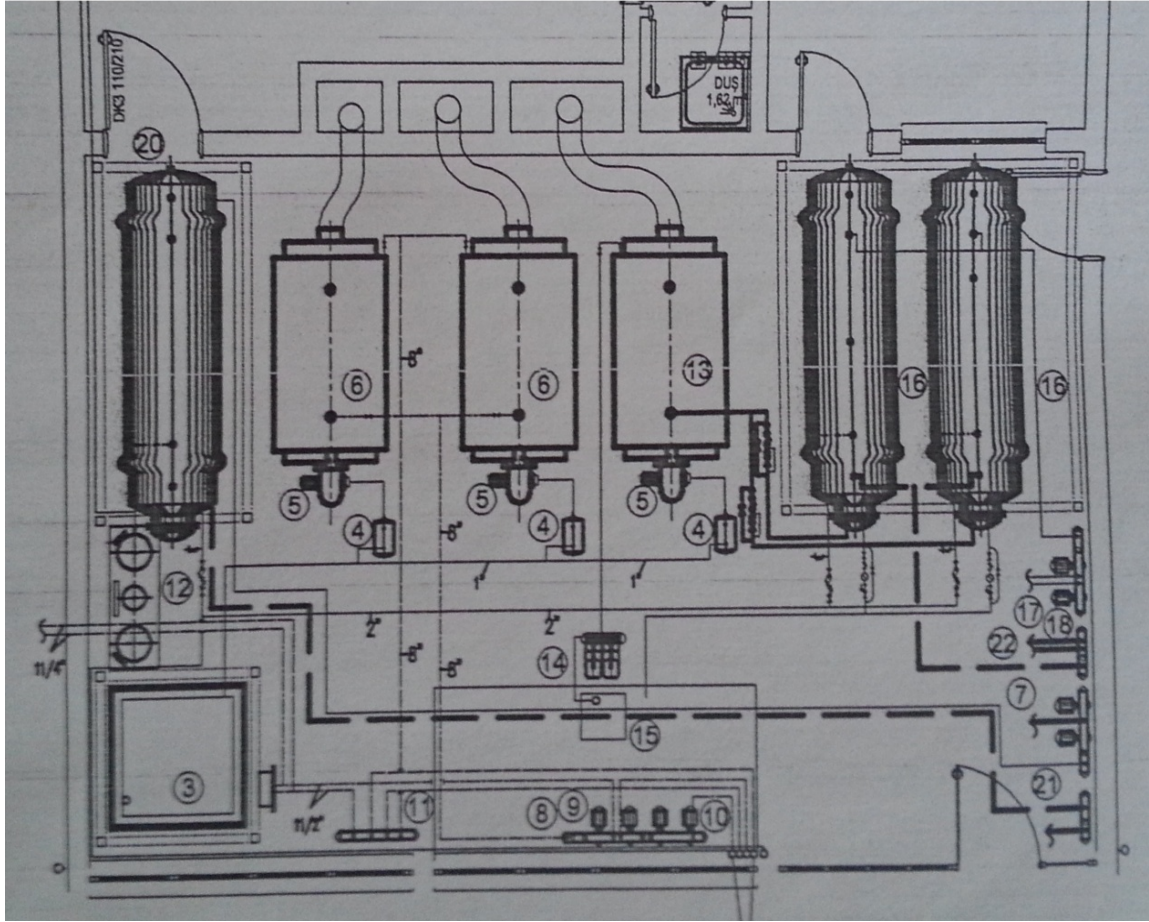
Kurumun enerji yönetimi teşkilatı verimlilik artışı sağlamak üzere 2. ısıtma merkezini incelemiştir. Söz konusu ısıtma merkezi yaz/kış dört mevsim ve 24 saat boyunca çalışmaktadır. Isıtma merkezinde personel için kullanma amaçlı sıcak su, yemekhane ile çamaşırhane gibi tesislerde kullanılmak üzere buhar üretilmekte ve bölgesel ısıtma yapılmaktadır.

Isıtma merkezinde 2 adet sıcak su kazanı ile 1 adet buhar kazanı ve bunlara ait boyler, brülör, yakıt tankları ve pompa sistemleri bulunmaktadır. Sıcak su kazanlarından birincisi, 1996 yılı imalatı ve 600,000 Kcal/h kapasiteli diğeri ise 2003 yılı imalatı ve 800,000 kcal/h kapasitelidir. Buhar kazanı ise 20 m² ısıtma yüzeyine sahip ve 1994 yılı imalatıdır. Kazanlarda 2 kademeli sıvı fuel-oil/motorine uygun brülör bulunmaktadır.

Tesiste üretilen sıcak su bölgesel ısıtma sistemi ile 1,100 m uzunluğunda ve galeri içindeki iletim hatları ile gerekli yerlere ulaştırılmaktadır. Boru tesisatı birçok yerde çürümüş olup sık sık arızalar meydana gelmektedir. Ayrıca boruların yalıtımları da özelliğini yitirmiş durumdadır. Söz konusu kazanlarda ve boru tesisatında yıllar içerisinde küçük çaplı yenileme yapılmıştır. Ancak kazanlar ile ısı iletim hatları eskimiş, bakım onarım masrafları artmış ve ekonomik ömrünü tamamlamış durumdadır. Şekil 3.10.'da tesise ait mevcut durum verilmiştir.

Buhar kazanının sadece yemekhane ve çamaşırhane için kullanılması, işletmedeki güçlükleri ve potansiyel tehlikeleri nedeniyle enerji yönetimi teşkilatı ve tesisin işletmesini yapan personel sıcak su kazanı ile değiştirilmesine karar vermiştir.

Söz konusu ısıtma merkezinin hemen yakınına işletme personelinin barınma ihtiyacı için yeni bir bina yapılması gerekliliği ortaya çıkmıştır. Yapılacak olan bu tesisin ısıtması ve sıcak su ihtiyacı da bu ısıtma merkezinden karşılanacağı için mevcut kazanların kapasiteleri yetersiz kalacaktır.



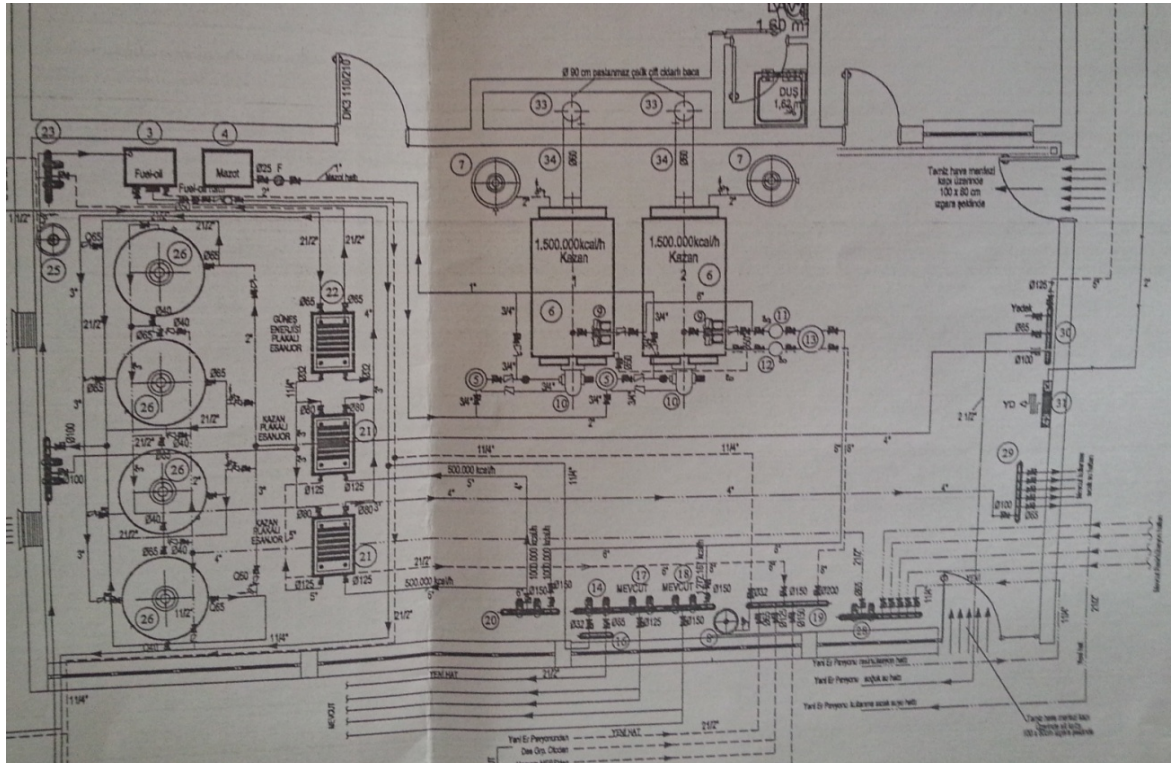
Şekil 3.10. Isıtma merkezinin mevcut durumu.

İşletme yönetimi ile enerji yönetimi teşkilatı bahsedilen sorunların çözülmesi ve ihtiyaçların karşılanması için çözüm önerileri üzerinde çalışarak iki aşamalı bir plan hazırlamıştır. Buna göre; 2013 yılında çürümüş ve yıpranmış durumda olan, sürekli bakım onarım gerektiren mevcut boruların ön yalıtımlı borular ile değiştirilmesine karar verilmiştir.

Isıtma merkezinde bulunan kazanlar ile ilgili olarak ise; işletme zorluğu ve çalışma riskleri nedeniyle buhar kazanının sıcak su kazanına çevrilmesine, yeni yapılacak olan tesisin sıcak su ve ısıtma ihtiyacının karşılanabilmesi amacıyla mevcut kazanların değiştirilmesinin uygun olacağı anlaşılmıştır. 2014 yılında mevcut 3 adet kazanın yerine 2 adet 1,500,000 kcal/h kapasiteye sahip kazan kurulmasına karar verilmiştir.

Isıtma merkezinde yeni kurulacak sistemde toplam 3,000,000 kcal/h kapasitesine sahip 2 adet kazan projelendirilmiştir. Kazanlar 4 atü işletme basınçlı, silindirik ve 3 geçişli olacaktır. Kazanlarda kullanılacak olan brülörler ise; tam otomatik oransal ve baca gazı trim kontrollü olacaktır. Bu sayede yanma verimliliği sürekli takip edilebilecektir. Kazanlar için 50,000 kcal/h kapasiteli plakalı eşanjör sistemi tesis edilecektir. Kazanlar için 90cm çapında ve 10 m uzunluğunda çift cidarlı paslanmaz çelikten baca ile 60cm çapında ve 2m uzunluğunda baca kanalı projelendirilmiştir.

Yine enerji verimliliği sağlanması amacıyla ısıtma merkezinin yanına her birisi 1,71 m² yüzey alanına sahip 63 adet panelden oluşan güneş enerjisi sistemi tesis edilmesi projeye dahil edilmiştir. Güneş enerji sistemi için 40,000 kcal/h kapasiteli plakalı eşanjör tesis edilecektir. Isıtma merkezinin yeni hali Şekil 3.11.'de gösterilmiştir.



Şekil 3.11. Isıtma merkezi yenileme projesi.

Isı iletim hatlarının yenilenmesinde Şekil 3.12.'de görülen ön yalıtımlı borular kullanılmıştır. Ön yalıtımlı borular; sıcak veya soğuk akışkanın ısı transferini engelleyecek özellikle imal edilmiş borulardır. Borular değişik malzeme katmanlarından

oluştugu için kompozit boru sınıfına girmektedir. Üç katmanlıdır. İçteki taşıyıcı boru, arada yalıtım malzemesi olarak poliüretan katman (PUR) ve koruyucu kılıf olarak en dışta yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE) borudan oluşmaktadır. Kılıf borunun polietilen olması ile korozyona yüksek dayanım göstermesi, yeraltındaki ve yerüstündeki nemin yalıtım malzemesine etki etmemesi, dış etkilere karşı yalıtım ömrünün uzun olması (30 yıl), yekpare yapısı sayesinde toprak sürünme kuvvetleri ile çelik boru uzaması olmaması gibi nedenlerle bu borular tercih edilmiştir.



Şekil 3.12. Ön yalıtımlı borular ve zeminde uygulaması.

Çalışma kapsamında toplam 1,100 m uzunluğundaki ısı iletim hatlarına ait borular yenilenmiştir. Aynı tesiste ısı iletim hatları yenilenmeden önceki dönemdeki (Kasım 2012- Şubat 2013) yakıt tüketimleri ve ısı iletim hatları yenilendikten sonraki dönemdeki (Kasım 2013 - Şubat 2014) yakıt tüketimleri tablo 3.1’de verilmiştir.

Tablo 3.1.’de görüldüğü gibi ısı iletim hatlarının iyileştirilmesi sonucu yakıt tüketimlerinde önemli miktarda azalma gözlemlenmiştir. Aylık ortalama sıcaklıklara bağlı olarak yakıt tüketimindeki azalma oranları değişmektedir. Kayseri İlinde Kasım 2013 ve Aralık 2013 dönemlerindeki ısıtma gün sayıları bir önceki yılın aynı dönemlerine göre daha fazla olmasına rağmen yakıt tüketimlerinin azalması enerji verimliliği artışı sağlandığının bir göstergesidir.

Tablo 3.1. Yakıt tüketimleri karşılaştırması.

Hatlar Yenilenmeden Önceki		Hatlar Yenilendikten Sonraki		Karşılaştırma	
Dönem	Yakıt Tüketimi (lt)	Dönem	Yakıt Tüketimi (lt)	Fark (lt)	Verim Artışı (%)
Kasım 2012	38,902	Kasım 2013	32,120	6,782	17.43
Aralık 2012	44,937	Aralık 2013	42,018	2,919	6.49
Ocak 2013	55,651	Ocak 2014	38,607	17,044	30.63
3 Aylık	139,490		112,745	26,745	19.17

Geri Ödeme Süresi

2013 Yılında bu ısıtma merkezinde harcanan toplam yakıt miktarı: 320,900 lt

3 Aylık ortalama yakıt tasarruf oranı : % 19.17

Yıllık tasarruf miktarı = 310,850x19.17/100 = 59,590 lt

Yıllık tasarruf miktarının parasal değeri = 59,590 lt x 2.1 TL =125,139 TL

İyileştirme için harcanan toplam bedel = 175,000 TL

Geri ödeme süresi = (Harcanan toplam bedel TL)/(Yıllık tasarruf miktarı (TL/yıl))

$$= \frac{175,000}{125,139} = 1.40 \text{ yıl}$$

Görüldüğü gibi yapılan iyileştirmenin geri dönüş süresi 17 aydır. Ayrıca eski sistemin sıklıkla ortaya çıkan yüksek bakım onarım masrafları da ortadan kalkmıştır.

4. BÖLÜM

TARTIŞMA-SONUÇ VE ÖNERİLER

İşletmede enerji yönetim teşkilatınca verimlilik artırıcı projeler kapsamında iki büyük ısıtma merkezinde çalışma yapılması uygun görülmüştür. Birinci ısıtma merkezinde bulunan kazanların daha yeni olması nedeniyle burada yanma veriminin artırılması hedeflenmiştir. Diğer ısıtma merkezinde 2013 yılında ısı iletim hatlarının iyileştirilmesi konusunda çalışma yapılması kararlaştırılmıştır.

Bu çalışmalar kapsamında birinci ısıtma merkezinde bulunan üç farklı kazanda hava yakıt oranlarının ayarlanarak yanma veriminin artırılması konusunda çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalarda yakıt olarak motorin kullanılmış, çeşitli hava fazlalık değerleri için kazanlardaki yanma ve emisyon davranışları baca gazı ölçüm cihazı vasıtasıyla deneysel olarak tespit edilmeye çalışılmıştır. Yapılan deneysel çalışmalardan, kazanların çalışmasında yanma verimliliğini etkileyen en önemli kriter olan hava fazlalık katsayısı ile yanma verimi ve emisyon dağılımının değişimleri belirlenmiştir.

Deneysel çalışmalardan, yanma veriminin hava fazlalık katsayısı nasıl değiştiği gözlemlenmiştir. CO emisyonunun hava fazlalık katsayısı arttıkça azaldığı görülmüştür. Çalışmada yakıt olarak sadece motorin ile çalışıldığı ve içerisindeki kükürt oranı değişmediği için SO₂ emisyonu dikkate alınmamıştır. NO_x emisyonunun hava fazlalık katsayısı ve yakıt içerisindeki azot miktarına bağlı olarak değişim gösterdiği görülmüştür. Baca gazı sıcaklığı ve NO_x emisyonu hava fazlalık katsayısı arttıkça azalmaktadır. Yanma sonucunda baca gazında yüksek oranda bulunması istenen CO₂ miktarının hava fazlalık katsayısı arttıkça azaldığı görülmektedir. Verimli bir yanma

sonucu baca gazlarında düşük oranda olması istenen O₂ emisyonunun hava fazlalık katsayısı arttıkça yükseldiği görülmektedir. Hava fazlalık katsayısı arttıkça ısı veriminin düştüğü görülmüştür.

Bu çalışmada kullanılan üç kazan için hem yanma verimliliği, hem de çevreye yayılan zararlı emisyonlar açısından en uygun hava fazlalık değerinin $\lambda=1.35-1.50$ arasında olduğu anlaşılmıştır. Mevcut kazanların verimli olarak işletildiği görülmüştür. Brülörlerin özellikle hava yakıt oranını ayarlayan klapelerinin yenilenmesi gerektiği ve bu sayede daha hassas hava yakıt oranı ayarlamasının mümkün olacağı görülmüştür.

Enerji yönetim teşkilatı tarafından diğer ısıtma merkezinde de verimlilik artırıcı çalışmalar yapılmıştır. Burada iki önemli aksaklık tespit edilmiştir. Birinci aksaklık; mevcut kazanların eskimiş, verimlerinin düşmüş ve ekonomik ömrünü tamamlamış olması ve bu tesisten ısıtılması gereken yeni bir binanın 2014 yılında yapılacak olması nedeniyle ilave kazan ihtiyacı çıkmasıdır. İkinci aksaklık ise; ısı iletim hatlarındaki borularda yer yer çürümeler olması nedeniyle sürekli arızalar meydana gelmesi, hatlardaki yalıtımın bozulmuş olması nedeniyle yüksek oranda ısı kayıpları oluşmasıdır. Söz konusu tesiste öncelikli olarak ısı iletim hatlarının iyileştirilmesi konusunda çalışma yapılmasına karar verilmiştir.

Üretilen sıcak suyu istenen mahallere taşıyan ısı iletim hatlarındaki boruların ön yalıtımlı (jeotermal) borular ile değiştirilmiştir. Ön yalıtımlı borular çok uzun süre dayanması, kendiliğinden yalıtımlı olması, 3 katlı yapısı (taşıyıcı çelik boru, PUR, HDPE yalıtım kılıfı) sayesinde düşük ısı iletim katsayısına sahip olması, ilave galeri gerektirmemesi, hızlı işçilik ve uzun süre bakım onarım gerektirmemesi nedeniyle tercih edilmiştir. 1,100 m uzunluğundaki iletim hattı ısıtma sezonu başlamadan önce yenilenmiştir.

Isı iletim hatlarının iyileştirme çalışmaları sonucunda ısıtma merkezinde 2012-2013 yakma sezonunda harcanan yakıt miktarları ve 2013-2014 yakma sezonunda harcanan yakıt miktarları karşılaştırıldığında dış ortam sıcaklığına bağlı olmakla birlikte 3 aylık ortalamada %19.17 oranında yakıt tasarrufu sağlandığı görülmüştür. Yapılan hesaplama ile bu iyileştirmenin geri ödeme süresinin 17 ay gibi makul bir süre olduğu görülmüştür.

Bununla birlikte hatlardaki kayıpların ve sıklıkla meydana gelen arızaların bitirilmesi sonucu bakım ve onarım masrafları azaltılarak işçilikten de önemli oranda tasarruf sağlanmıştır.

Bu tez çalışması çerçevesinde gerçekleştirilen deneyler ve iyileştirmeler sonucunda yapılan karşılaştırmalar sonucunda aşağıdaki yargılara varılabilir.

- İşletme ve kurumlarda tüketilen enerji miktarına göre yasal bir zorunluluk olan enerji yönetimi teşkilatı kurulmalıdır.
- Enerji yöneticileri ve enerji çalışma grupları tarafından enerji tüketen tüm sistemler periyodik olarak incelenip, tüketimler raporlanmalıdır.
- Kurum ve işletmelerde enerji verimliliğinin artırılması için, enerji verimliliği bilincinin oluşturulması, doğru politikaların geliştirilip uygulanması, enerji verimliliğine yönelik destek-teşvik sistemlerinin oluşturulması ve hayata geçirilmesi için tüm birimlerin enerji yönetimi teşkilatı ile koordineli bir şekilde çalışması gereklidir.
- Büyük miktarda enerji tüketen kazanlarda verimli bir yanma için; periyodik olarak baca gazı ölçümlerinin yapılması ve hava yakıt oranlarının ayarlanması gerekir.
- Kazanlar için en uygun hava fazlalık katsayısı seçilirken; kazan tipi ve kapasitesi, kullanılan yakıt, verimlilik, çevreye salınan emisyonlar dikkate alınarak seçim yapılmalıdır.
- Çift kademeli veya modülasyonlu brülörler kullanılarak, kazan duruş ve kalkışlarında fazladan yakıt harcanmasının önüne geçilmelidir.
- Elektronik yakma kontrol sistemleri kurularak; tam yanmanın ve sürekliliğinin sağlanması, oransal kontrol yapılması, baca gazı ölçüm değerlerine göre yanmanın sürekli takip edilmesi ve mekanik kaynaklı ayar bozulmalarının önlenmesi sağlanmalıdır.
- Taze hava vantilatör ve baca aspiratör motorlarında frekans kontrol cihazları kullanılarak hem daha hassas hava ayarı hem de elektrik enerjisi tasarrufu sağlanmalıdır.
- Kazanların verimleri kontrol edilmeli, ekonomik ömrünü tamamlayanlar ve düşük verimde çalışanlar değiştirilmelidir.

- Isı iletim hatları incelenmeli ve ısı kayıpları ölçülerek gerekiyorsa ısı iletim hatları yenilenmelidir. Bu sayede bakım onarım ve enerji masrafları önemli oranda düşürülebilir.
- Bölgesel ısıtma yapılan sistemlerde ön yalıtımlı boruların kullanılması ile ısı iletim hatları için galeri açmak için harcanacak masrafa gerek kalmayacaktır.

KAYNAKLAR

1. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Elektrik İşleri Etüt İdaresi Gn.Md.lüğü (Web sayfası : http://www.eie.gov.tr/verimlilik/b_en_ver_b_2.aspx), (Erişim tarihi: Aralık 2012).
2. Capehart, B.L., Turner, W.C., Kennedy, W.J., 2006. Guide To Energy Management. The Fairmont Press. Boca Raten. 566 pp.
3. Du Plessis, G., Liebenberg, L., Mathews, E.H., Plessis, J.N., 2013. A versatile energy management system for large integrated cooling systems. **Energy Conversion and Management**, **66**, P: 312-325
4. Yu, B., Kum, S., Lee,C., Lee, S., 2013. Effects of exhaust gas recirculation on the thermal efficiency and combustion characteristics for premixed combustion system. **Energy**, **49**, P: 375-383
5. Keçebaş A., 2012. Determination of optimum insulation thickness for energy saving thought pipe insulation in district heating systems. **Electronic Journal of Machine Technologies**, **9** (1): 1-14
6. Şevik, S., 2012. Türkiye'nin enerji verimliliği süreci. **Türkiye Tesisat Mühendisleri Derneği Dergisi**, **79**: 30-43.
7. Gordic, D., Babic, M., Jovicic, N., Šušteršič, V. , Končalović, D., Jelić, D., 2010. Development of energy management system – case study of Serbian car manufacturer. **Energy Conversion and Management**, **Volume 51**, (12) : 2783-2790.
8. Kannan,R., Boie W., 2003. Energy management practices in SME case study of a bakery in Germany. **Energy Conversion and Management**, **Volume 44**, (6) p: 945-959.
9. Hepbaşlı, A., Özalp, N., 2003. Development of energy efficiency and management implementation in the Turkish industrial sector. **Energy Conversion and Management**. **Volume 44**, (I. 2): 231-249.
10. Schramek, E-R. , Saraçoğlu, O., Razgat, A., 1998. Isıtma ve Klima Tekniği El Kitabı, Dortmund Üniversitesi, 68. Baskı. pp: 490.
11. Che, D., Liu, Y., Gao, C., 2004. Evaluation of retrofitting a conventional natural gas fired boiler into a condensing boiler. **Energy Conversion and Management**, **Volume 45**, (20) : 3251-3266

12. Yılmaz, İ., 2001. Sıvı Yakıtlı Yakma Sistemlerinde Yanma ve Emisyon Davranışının Deneysel Olarak İncelenmesi. Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Kayseri, 96 s.
13. Bilgin, A., 2001. Kazanlarda baca gazı analizlerinin değerlendirilmesi, iç soğuma kayıplarının irdelenmesi. *V. Ulusal tesisat mühendisliği kongresi ve sergisi, Ekim 3-6, 2001, İzmir: 617-622.*
14. İlbaş, M., Yılmaz, İ., 2002. Farklı ısı güçlerindeki kazanlarda yanma ve emisyon davranışının araştırılması. **Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 18** (1-2): 18-27.
15. Hızıroğlu, S., 2007. Yakma yönetim ve brülör kontrol sistemleri. **Türkiye Tesisat Mühendisleri Derneği Dergisi, 51:** 20-24.
16. Bilgin, A., 2006. Kazanlarda enerji verimliliği. **Tesisat Mühendisliği Dergisi, 95 :** 13-18.
17. Çomaklı, K., Terhan, M., 2011. Sıcak su üretimi için baca gazı atık enerjinin kullanımı. **Tesisat Mühendisliği Dergisi, 124:** 43-51.
18. Küçüka, S., 2006. Isı geri kazanım cihazlarının bazı şehirlerdeki yıllık toplam ısıtma ve soğutma kazançları. *Tesisat Mühendisliği Dergisi, 93:* 13-19.
19. Sinanoğlu, U., Esen, D., Karakaş E., 1996. Enerji ekonomisi açısından geri kazanım sistemleri. TMMOB 1.Enerji sempozyumu Kasım 12-14, 1996, Ankara: 101-110
20. Ürün, E., Çay, Y., Kurt, H., 2011. Isı borulu ısı geri kazanım performansının deneysel olarak incelenmesi. *6.International Advanced Technologies Symposium (IATS'11), 16-18 May 2011, Elazığ, Turkey*
21. Tarakçioğlu, A., 2006. Sanayide Atık Isıdan Yararlanma Yöntemleri. Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 119 s.
22. Çomaklı, K., Yüksel, B., Sahin, B., Karagöz, Ş., 2006. Kazan bacalarında meydana gelen enerji ve ekserji kayıpları. **Tesisat Mühendisliği Dergisi, 92,** s. 12-16.
23. Albayrak, S., 2007. Kojenerasyonun Bölgesel Isıtma Sisteminde Kullanılabilirliği Ve Klasik Bölgesel Isıtma İle Karşılaştırılması. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Ankara, 1
24. Gulbrandsen, T., Karlsson, P.W., Korsgaard V., 2011. Analytical model of heat transfer in porous insulation around cold pipes . **International Journal of Heat and Mass Transfer, 54** (1-3): 288-292.

25. Zaki, G.M., Al-Turki, A.M., 2000. Optimization of multi-layer thermal insulation for pipelines. **Heat Transfer Engineering, 21**: 63-70.
26. Karabay, H., 2007. The thermo-economic optimization of hot-water piping systems: A parametric study of the effect of the system conditions. **Strojnicki Vestnik-Journal of Mechanical Engineering, 53** : 548-555.
27. Keçebaş, A., Alkan, M.A., Bayhan, M., 2011. Thermo-economic analysis of pipe insulation for district heating piping systems. **Applied Thermal Engineering, 31**: 3929-3937.
28. Yamankaradeniz, R., Kaynaklı, Ö., 2007. Isıtma süreci ve optimum yalıtım kalınlığı hesabı. *VIII. Ulusal tesisat mühendisliği kongresi, Ekim 25-28, 2007, İzmir: 187-195.*
29. Kılınç, F., Buyruk, E., Fertelli, A., Karabulut, K., 2013. Farklı yalıtım uygulamalarının ısı kaybına olan etkilerinin deneysel ve sayısal incelenmesi. **Tesisat Mühendisliği Dergisi, 136**: 53-64.
30. İzoder, 2013. Bina ve tesisatta ısı yalıtımı. (web sayfası: http://www.izoder.org.tr/tr/dokumanlar/isi_yalitim/giris.pdf), (Erişim tarihi: Aralık 2013)
31. Kaptan, Ş., 2013. Kazanlarda enerji verimliliğinin artırılması. (web sayfası: <http://www.sukrukaptan.com.tr/enerji-verimliliği-kutuphanesi>), (Erişim tarihi: Aralık 2013)
32. Kanoğlu, M., 2010. Enerji Verimliliği Örnek Projeleri. Gaziantep Üniversitesi 31 pp
33. Bilgin, A., 2011. Kazanlarda enerji verimliliği ve emisyonlar. **Tesisat Mühendisliği Dergisi, 122** : 59-65.
34. Baca Gazı Emisyon Ölçümü, Mühendis El Kitabı, Makine Mühendisleri Odası, Yayın No:233.
35. Bilgiç, M., 2003. Endüstri kazan dairelerinde enerjinin kullanılması için; yakıttan baca gazına kadar dikkate alınması gereken hususlar. **Türkiye Tesisat Mühendisleri Derneği Dergisi 31(8)** , 01: 11.
36. İlbaş, M., Studies of Ultra Low NOX Burner, PhD Thesis, University of Wales, Cardiff, UK., 1997.
37. İlbaş, M., Syred, N., 1998. Influence of temperature, air: fuel ratio, geometry and fuel type on the nox emissions of small burners. *Proceedings of the Second*

Trabzon International Energy and Environment Symposium, Begel House, , Turkey. pp. 123-127.

38. Kalorifer Tesisatı Proje Hazırlama Teknik Esasları, MMO, Yayın No: 84, 1989.
39. Bulut, H., 2011. Buhar kazanları ders notları. (web sayfası: <http://eng.harran.edu.tr/~hbulut/buhar.pdf>), (Erişim tarihi: Aralık 2013)
40. Arısoy, A., 2004. Buhar kazanlarında ve tesisatında enerji tasarrufu. **Türkiye Tesisat Mühendisleri Derneği Dergisi 38**, 01: 06.
41. Yeşil, Ç., 2012. Ekonomizerler ve düşük sıcaklık korozyonu. **Tesisat Dergisi 196**, 01:13
42. Ünlü,C., 2008. Buharlı sistemlerde enerji geri kazanımı. **Tesisat Mühendisliği Dergisi, 108** : 53-64.
43. Gümüş, A., 2013. O2 trim ve yanma verimliliği. (web sayfası : http://www.selkoc.com.tr/dosyalar/O2_Trim_ve_Yanma_Verimliliği.pdf), (Erişim tarihi: Ocak 2014)
44. Çallı, E., Keçebaş, A., 2012. Bölgesel ısıtma sistemlerinde boru yalıtımı uygulamasının ekonomik ve çevresel faydaları. **Tesisat Mühendisliği Dergisi, 129** : 5-17.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı, Soyadı: Harun BULANIKOĞLU
Uyruğu: Türkiye (TC)
Doğum Tarihi ve Yeri: 06 Ocak 1979, Sungurlu
Medeni Durumu: Evli
Tel: +90 532 408 13 88
email: hbulanikoglu@gmail.com
Yazışma Adresi: Erenköy Mah. 2HİBM Loj 30/6 38050 Melikgazi/KAYSERİ

EĞİTİM

Derece	Kurum	Mezuniyet Tarihi
Lisans	KOU M.F İnş.Bl.	2001
Lise	Gazi Lisesi, Ankara	1996

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görev
2011- Halen	2 HİBM K.lığı	Subay
2006- 2011	5 Ana Jet Us K.lığı	Subay
2004–2005	DSİ 12.Bölge Md.	İnşaat Müh.

YABANCI DİL

İngilizce,

YAYINLAR