



Endüstriyel Kazanlarda Enerji Verimliliği ve Emisyon Azalımı Fırsatları

Fatma ÇANKA KILIÇ^{1,*}

¹Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli MYO, Elektrik ve Enerji Bölümü, İklimlendirme ve Soğutma Teknolojisi Programı, Kocaeli, Türkiye.

Öz

Bu çalışmada bir sanayi kuruluşuna ait 7 bar basınç ve 185 °C' de 4200 kg/h nominal buhar üretim kapasitesine sahip bir doğalgaz yakıtlı kazanda, enerji verimliliğine yönelik yapılan çalışmalar sunulmuştur. Bu doğrultuda, kazan işletme koşullarında kütle ve enerji dengesine yönelik ölçümler gerçekleştirilmiştir. Ölçüm verileri sıcaklık, basınç, hız ve gaz analizleri kullanılarak kütle ve enerji dengesi kurulmuştur. Kütle ve enerji dengelerinden yola çıkılarak, kazan verimi, potansiyel tasarruf alanları, tasarrufun boyutu, yatırım miktarı ve geri ödeme süreleri hesaplanmıştır. Ölçüm verileri kullanılarak kazan verimi %90,20 olarak hesaplanmıştır. Belirlenen temel verim kayıpları: kazanın yüksek hava fazlalık katsayılarında çalıştırılması, yüzey ısı kayıpları ve yüksek baca gazı sıcaklığı kaybı olarak sıralanabilir. Kazanın optimum hava fazlalık katsayılarında çalıştırılması ile yıllık 222.471.949 kcal'lik enerji ve 6.742 USD mali tasarruf; yüzey ısı kayıpları giderilmesi ile 171.525.170,8 kcal enerji, 5198 USD mali tasarruf ve baca gazı sıcaklığının geri kazanımı ile 764.717.800 kcal enerji ve 18.538,62 USD mali tasarruf elde etmek mümkün olacaktır.

Makale Bilgisi

Başvuru: 21/06/2016

Düzeltilme: 25/11/2016

Kabul: 05/01/2017

Anahtar Kelimeler

Buhar Kazanı
Enerji Verimliliği
Enerji Tasarrufu
Enerji Etüdü

Keywords

Steam Boiler
Energy Efficiency
Energy Savings
Energy Audit

Energy efficiency and Emission Reduction Opportunities in the Industrial Boilers

Abstract

In this study, energy efficiency studies have been realized in a natural gas fueled boiler, which has been operating at the pressure value of 7 bar and temperature of 185 °C with a nominal capacity of 4200 kg/h vapor in an industrial establishment. In this context, there have been some measurements were realized to form energy and mass balances in the boiler. The energy and mass balances have been established by using the measurement data such as pressure, temperature, velocity, and gas analysis. By using the energy and mass balances, boiler efficiency, potential energy saving areas, savings amounts, investment costs and payback periods are calculated, accordingly. By using the measured data, the boiler efficiency was also calculated as %90,20. The main efficiency losses can be listed as; operating the boiler at the high air excessiveness coefficient, surface thermal losses and high flue gas temperatures. By operating the boiler at optimum excess air coefficients, the energy and financial savings can be realized as the amount of 222.471.949 kcal and 6.742 USD per year, respectively; by eliminating surface heat losses, the energy and financial savings can be achieved as the amount of 171.525.170,8 kcal and 5.198 USD per year, respectively; by recovering the flue gas temperature the energy and financial savings can be obtained as the amount of 764.717.800 kcal and 18.538,62 USD per year, respectively.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

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

Kullanılan ihtiyaca göre çok değişik türlerde üretilen kazanlar, ilk yatırım ve işletme giderleri bakımından oldukça pahalı enerji üreteçleridir. Bu nedenle, kazan kullanım amacına uygun seçilmeli, işletilmesinde ve bakımında gerekli özen gösterilmelidir. Kazan seçiminde; kazanın kullanım amacı, üretilecek buhar miktarı, basınç ve sıcaklığı, besleme suyunun kazana giriş sıcaklığı, suyun sertlik derecesi, kullanılacak yakıtın cinsi, yakıtın alt ısıl değeri ve analizi ve yakıtın fiyatı gibi esaslar göz önüne alınarak ayrıntılı bir analiz yapılmalıdır [2].

*İletişim yazarı, e-mail: fatmacanka@hotmail.com

Bu çalışma endüstriyel bir kuruluşun isteği üzerine yapılmıştır. Çalışmanın ana amacı kurumda mevcut 4.200 kg/h nominal buhar üretim kapasiteli (7 bar basınç, 185 °C sıcaklıkta) doğalgaz yakıtlı bir buhar kazanında; verim düşüklüğü nedenlerini belirleyerek sorunun çözümüne yönelik öneriler sunmak, kazan ısı verim kayıplarını miktarlarıyla tespit etmek, kayıpları gidermek için gerekli yatırım miktarı ve geri ödeme süresini tespit etmektir.

2. KAZAN VERİMLİLİĞİ VE VERİMİ ETKİLEYEN FAKTÖRLER

Kazan ısı verimleri hesabında direkt ve dolaylı olmak üzere iki yöntem mevcuttur.

Birinci yöntemde (direkt yöntem):

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

Ölçülen bu değerler yardımıyla kazan verimi aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$\eta = \frac{m_b i_b - m_s i_s}{B H_u} \quad (1)$$

Burada,

m_b : Ölçülen buhar debisi (kg/h),

m_s : Ölçülen su debisi (kg/h),

i_b : Buhar entalpisi (kcal/kg),

i_s : Besi suyu entalpisi (kcal/kg),

B : Ölçülen yakıt debisi (kg/h),

H_u : Yakıtın alt ısı değeri (kcal /kg).

Dolaylı yöntemde ısı verim,

$$\eta = 1 - \sum Z \quad (2)$$

ifadesi ile belirlenir. Burada; Z % olarak çeşitli ısı kayıplardır.

Direkt yöntemlerde kazan giriş, yakıt, su, çıkış baca gazı kompozisyonu, buhar çıkış basınç ve sıcaklık gibi değerler ölçülebilmektedir. Dolaylı yöntemlerde ise bu mümkün olmamaktadır bunun yerine kayıplar ayrı ayrı hesaplanarak, toplamı 1'den çıkarılmaktadır. Bir başka ifade ile kazan ısı veriminin hesabı ve kapasitesinin belirlenmesinde kullanılan dolaylı ve dolaysız metotlardan dolaysız (direkt) metotta, kazan anma ısı gücü, ısıtıcı akışkanın aldığı yararlı ısının ölçülmesi ile bulunur [3]. Bu metodun ana içeriği yanma ile oluşan ısının iş yapan akışkana aktarılan kısmının ölçülmesini ifade eder. Yani dolaysız metotta kazan verimi, deney süresince ısıtıcı akışkana geçen ısının, aynı sürede kazana gönderilen yakıtın alt ısı değeri üzerinden hesaplanan ısıya oranlanması esasına dayalı olarak tespit edilir. Yakma havasının harici ısı ile ısıtılması durumunda, havanın taşıdığı ısı, yakıt ısısına eklenir.

Dolaylı metotta kazan anma ısı gücü, kayıpların göz önünde tutularak hesaplanması esasına göre tespit edilir, yani dolaylı metotta kazan verimi yüzde olarak hesaplanan ısı kayıpların toplamının 100'den çıkarılması ile bulunur [2-7].

Başlıca kayıplar şöyle sıralanabilir: eksik yanma, fazla hava, baca gazında su buharı nedeniyle olan ısı kaybı, baca gazı sıcaklığı, yakıt cinsi, kazan yükü, kazan yüzeyinden olan ısı kayıpları, ısıtıcı yüzey kirliliği şeklinde sıralamak mümkündür.

2.1. Eksik yanma

Eksik yanma, katı ve sıvı yakıt içerisinde bulunan yanabilir maddelerin yanmayarak kül içinde kalması veya baca gazında yanmamış hidrokarbon ve karbon monoksit olarak atılması durumunda meydana gelmektedir.

2.2. Fazla hava

Kazanlarda yanma sistemi, yanma problemlerine neden olmayacak minimum hava yakıt oranı 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 fazla ısınıp bacadan atılmasına neden olur. Ayrıca baca gazı miktarının artması, gaz debisinin, dolayısıyla hızının artmasına ve ısı transferinin düşmesine neden olmaktadır. Bu nedenlerden dolayı fazla hava miktarının mümkün olan en düşük seviyede tutulması gerekmektedir. Bunu sağlamak için; baca gazındaki O₂ seviyesi kontrol edilmeli, hava ayarı yapılarak oksijen miktarı mümkün olan en düşük seviyeye getirilmelidir.

2.3. Baca gazındaki su buharı nedeniyle olan ısı kaybı

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

2.4. Baca gazı sıcaklığı

Kazan verimini etkileyen önemli faktörlerden birisi de baca gazı sıcaklığıdır. Baca gazı sıcaklığının kabul edilen değerlerin üzerinde olması halinde bacadan atmosfere fazla enerji atılmış olacaktır. Bu durumda kazan verimi düşer. Bacadan atılan enerjinin yüksek olmasının iki ana nedeni vardır. Birincisi ısı transfer yüzeylerinin yetersiz olmasıdır. Bu durumda bacaya hava ön ısıtıcısı veya kızdırıcıları yerleştirilerek baca gazının ısısından faydalanma olanağı sağlanır. İkincisi ise ısı transfer yüzeylerinde oluşan kirliliklerdir. Bu durumda da kazan boruları belirli aralıklarla temizlenmeli, kazana verilen besi suyunun sertliği kontrol edilmelidir. Baca gazında normal sıcaklığın üzerindeki her 17 °C'lik artış verimde yaklaşık olarak %1'lik bir düşüşe sebep olmaktadır [8,9].

2.5. Yakıt cinsi

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

2.6. Kazan yükü

Kazanlardan genellikle düşük ve aşırı yükte çalıştırılmadıkları zaman yüksek verim elde edilir. Çekilen yük oranı %50'nin altına düştüğünde ise verim eğrisi hızla düşmektedir. Bu yük düşüşüne bağlı olarak kazan yüzeyinden olan ısı kayıplarının yüzdesi artacaktır. Kazanlar çalıştırılırken, kazan kapasitesi göz önüne alınarak mümkün olduğunca bunlara uyulmalıdır [1]. Kazan aşırı yüklenmesi durumunda yanma verimi düşecek ve baca gazı sıcaklıkları artacaktır. Öte yandan düşük yüklerdeki kayıplar esas olarak durma kayıplarından kaynaklanır. Kazan duruşa geçtiğinde hem dış yüzeylerden hem de baca çekişi nedeniyle iç yüzeylerden soğumaktadır [3]. Kazan yükünün değişmesiyle yakılan yakıt miktarı da değişmektedir. Genel olarak, maksimum verimlere kazan tam yükünün %70'inden yukarı çalıştığı durumlarda ulaşılmaktadır. Bundan dolayı, kazanlar mümkün olduğu kadar tam yüke yakın bir yükte çalıştırılmalarıdır [1].

2.7. Kazan yüzeyinden olan ısı kayıpları

Kazan yüzeyinden oluşan ısı kayıpları, radyasyon ve konveksiyon şeklinde olmaktadır. Modern kazanlarda bu kayıp genel olarak kazan tam yükte çalışıyorsa %1'den küçüktür. Bununla birlikte eski tip kazanlarda bu kayıplar %10'a kadar çıkmaktadır. Kazan yüzey sıcaklığını ortam sıcaklığının yaklaşık 30 °C üstündeki

bir değere düşürecek şekilde yapılmış bir yalıtkan, bu tür kayıpları en aza indirmek açısından yeterli ve uygun olarak kabul edilmektedir.

2.8. Isıtıcı yüzey kirliliği

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

Kazalarda son zamanlarda enerji verimliliğine yönelik yoğun çalışmalar yapılmaya başlanmıştır ve bu da endüstriyel gelişim ve verimlilik artırılması bakımından önemlidir [10-14]. Örneğin Kaya ve diğ. (2014) [11] yaptıkları çalışmada bir endüstriyel kuruluştaki bir "enerji verimliliği" çalışması gerçekleştirmiştir. Bu sanayi kuruluşunun kazanı farklı yakıtlarla çalışan, karışık yakıtlı bir kazan olup (katı+gaz) kömür, kok gazı ve yüksek fırın gazı kullanılarak 7000 kPa (70 bar) basınç ve 778.15 K (505 °C) sıcaklıkta çalışmaktadır, nominal kapasitesi 27.77 kg/s (100.000 kg/h) buhardır. Bu bağlamda, çalışma sıcaklığı, basınç, hız ve yanma gazı ölçümleri kazan normal çalışma koşullarında gerçekleştirilmiştir. Tüm bu ölçümlerle birlikte enerji ve kütle denge denklemleri belirlenmiş ve kazan verimliliği %85.91 olarak hesaplanmıştır. Başlıca verim kayıpları, kazanın yüksek hava fazlalık katsayısında çalıştırılması, döner tip hava ısıtıcılarındaki hava sızıntısı ve yüzey ısı kayıpları olarak belirlenmiştir. Toplam enerji tasarrufu potansiyeli 2.029.692 kcal/h olup yapılacak iyileştirmeler gerçekleştirilebildiğinde kazan verimliliğinin %88.94 olacağı tespit edilmiştir. Bu durumda yılda 4.861,7 ton karbondioksit (CO₂) emisyonu azaltılması da öngörülmüştür.

Bilindiği gibi suyun içindeki mineraller içindeki ısı transfer yüzeylerinde çökerek kirli bir tabaka oluşturmaktadır (kireç tabakası). Bu kireç tabakası kalınlığı belirli boyutlara ulaştığında yakıt sarfiyatı artmakta, metal deformasyonuna oluşmakta ve beraberinde de delinme ve patlama gibi tehlikeli sonuçlara sebep olmaktadır [15]. Aşağıda Tablo 1’de kazanlarda yüzeylerde oluşan kireç tabakası kalınlıkları ve buna karşılık oluşan yakıt kayıpları görülmektedir.

Tablo 1. Kazanlarda yüzeylerde oluşan kireç tabakası kalınlıkları ve buna karşılık oluşan yakıt kayıpları [15]

Kireç tabakası kalınlığı (mm)	Yakıt kaybı (%)
1	5-8
2	10-15
3	25-30
4	30-35
5	35-40

Kazanlarda 2 mm kireç tabakası kalınlığından sonra adım adım termal gerilmelerle konstrüksiyon zorlanmakta, aynalar ve borular arası gerilmelerle irtibat her ısınma ve soğutma işlemleri arasında peş peşe düzeliş bozulmalar yaşanmaktadır. Çünkü metal ile metali örten kireç tabakasının ısı iletkenliği ve gerilmeleri farklıdır. Böylece kazanda ayna-boru bağlantılarından sızdırmalar başlar. Kireç tabakası kalınlığı arttıkça sızdıran boru sayısı da doğal olarak artar. Kireç tabakası kalınlığı 4 mm’ye ulaştığında ise metalin kristal yapısı bozulur ve sertleşme oluşur ve bu yüzden, kazan sistemi güvenli bir şekilde çalıştırılmaz. Ayrıca, külhan çökmesi, boru patlaması, ayna çatlakları gibi tehlikeler de oluşabilir ve yine kirlenme sebebi ile boru çeperlerinin daralması yüzünden hacim küçülmesi, tahliye pompalarının zorlanması gibi sorunlar da ortaya çıkabilir.

Bütün bu problemlerin çözümü için kazanlarda, eşanjörlerde, boilerlerde, kimyasal şartlandırma yapılarak kireç tabakası oluşumuna engel olunması gerekir. Kireç tabakası oluşan sistemlerde kimyasal temizlik uygulaması ise en ucuz ve etkin çözüm sağlamaktadır.

3. ÖLÇÜM YÖNTEMİ VE ÖLÇÜM CİHAZLARI

Kazan sistemi esas olarak kazan, brülörler, fanlar ve bacadan oluşmuştur. Bu çalışmada, incelemelerin yapıldığı firmaya ait 1 No'lu buhar kazanında enerji tasarrufu potansiyelini belirlemek amacıyla gaz analizi, hız ve sıcaklık ölçümleri yapılmıştır. Ölçüm verileri (sıcaklık, basınç, hız, gaz analizleri) kullanılarak kütle ve enerji dengesi kurulmuştur. Kütle ve enerji dengelerinden hareketle, kazanda verim, potansiyel tasarruf alanları ve tasarrufun boyutları hesaplanmıştır. Kazanda yakıt olarak kullanılan doğal gazın debisi sayaçtan alınmış, debi değerleri kullanılarak yanma ürünlerinin bileşenleri ve debileri hesap edilmiştir. Hesap edilen bu değerler kazan çıkışı ve baca çıkışında yapılan gaz analizi, basınç, hız ve sıcaklık ölçümleriyle de doğruluğu kontrol edilmiştir.

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

Kazana giren havanın debileri ise "Testo 435" marka hız-ölçer kullanılarak belirlenmiştir. Baca gazı ve kazan çıkış gaz analizlerinin ölçümleri için ise elektrokimyasal detektör yöntemi ile çalışan "Testo 350" marka gaz analiz cihazları kullanılmıştır.

"Testo 435" marka cihazla baca gazı hız ve basınç değerleri ölçülmüş ve baca gazı debileri hesaplanmıştır. Baca gazı debilerinin ölçümünden sonra, baca çıkış O₂ yüzdesi ile kazan çıkışta ölçülen O₂ yüzdelere faydalanılarak kazan yanma gazı debisi hesaplanmıştır. Kazana giren besi suyu debisi ise PT878 marka ultrasonik debimetre cihazı kullanılarak ölçülmüştür. Aşağıda ölçümlerde kullanılan cihazlar ve bunlara ait ölçüm parametreleri, ölçüm aralığı ve hassasiyet dereceleri Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Ölçümlerde kullanılan cihazlar ve bunlara ait ölçüm parametreleri, ölçüm aralığı ve hassasiyet dereceleri

No	Ölçüm Cihazı	Ölçüm Parametresi	Ölçüm Aralığı	Doğruluk
1	TESTO 350 BACA GAZI ANALİZ CİHAZI	Gaz (ppm) Sıcaklık (°C) Basınç (hPa)	95 - 210,8 90 - 110 9 - 11	±%2 ±0,27°C ±0,05 hPa
2	TESTO 435-416 MM PERVANELİ HIZ PROBU	Hız (m/s)	2,5 - 10,1	±0,1
3	TESTO 435-460 MM HIZ PROBU	Hız (m/s)	2,60 - 10,73	±0,2
4	PT878 ULTRASONİK DEBİMETRE	Debi (m ³ /h)	68,5 - 319,7	±2,61
5	TESTO 435-4 PİTOT TÜP HIZ PROBU	Hız (m/s)	2,5 - 9,8	±0,1

3.1. Ölçüm ve Hesap Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Kazan verimi, buhar debisi, ortalama doğalgaz ve buhar debileri, buhar ve suyun giriş entalpi değerleri kullanılarak hesaplanmış ve sonuçlar Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3. Kazan verim hesabı

Buhar debisi (m_b , kg/h)	4.080
Buhar giriş entalpisi (i_b , kcal/kg)	656,7
Su giriş entalpisi (i_s , kcal/kg)	103
Entalpi farkı (i_b-i_s , kcal/kg)	553,71
Suya verilen ısı ($Q_s=m_b*(i_b-i_s)$, kcal/h)	2.259.151
Doğal gaz debisi (m , Nm ³ /h)	304
Yakıt alt isil değeri (kcal/kg)	8.250
Yakıt isisi ($Q_y=m*Hu$, kcal/h)	2.504.700
Genel verim (Q_s/Q_y, %)	90,20

Seçilen kazanın (1 No'lu kazan) işletme şartları için kullanılan kazan yanma gazı oksijen oranı ve yanma gazı sıcaklığı Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 4. 1 No'lu kazan yanma gazı oksijen oranı ve çıkış sıcaklığı

Kazan çıkış gazı oksijen oranı (%)	4,81
Kazan çıkış gazı sıcaklığı (°C)	185

Yakıt miktarı, kazan yanma gazı oksijen yüzdesi ve yakıtın elementel analizleri kullanılarak yanma gazı analizleri yapılmış ve sonuçlar Tablo 5'te verilmiştir.

Tablo 5. Seçilen 1 No'lu kazan için yakıtın elementel analizi, yanma ürünleri analizi ve debileri

Yakıt		Gerekli O ₂	Yanma Ürünleri (Nm ³ /h)					
Analiz	%(ob)		CO ₂	SO ₂	N ₂	Argon	H ₂ O	O ₂ (%)
Metan	91,2	553,7	277,6	0,0	2.063,6	24,6	602,2	0,0
Etan	3,2	34,1	19,5	0,0	127,1	1,5	32,2	0,0
Propan	1,2	18,2	11,0	0,0	67,9	0,8	16,2	0,0
Bütan	0,2	4,3	2,6	0,0	15,9	0,2	3,7	0,0
Pentan	0,3	7,4	4,7	0,0	27,7	0,3	6,2	0,0
Azot	3,3	0,0	0,0	0,0	3,3	0,0	0,0	0,0
Karbondioksit	0,6	0,0	0,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Toplam	100,0	617,7	315,4	0,0	2.305,6	27,4	660,4	0,0
Fazla Hava			0,3	0,0	774,2	9,2	18,2	207,7
Gaz Bileşimi %(ob)			7,3	0,0	71,3	0,8	15,7%	4,8

ob: orijinal bazda

Tablo 5 bileşenleri kullanılarak toplam stokiyometrik yanma gazı, teorik yanma havası, fazla hava, teorik toplam yanma havası ve kazan çıkış gazı debileri ve fazla hava oranı hesaplanmıştır (Tablo 6). Hesaplanan debiler, ayrıca baca çıkışında ölçülerek doğruluğu sağlanmıştır.

Tablo 6. Seçilen (1 No'lu) kazan için kazan yanma gazı debisi, teorik yanma havası, fazla hava debisi ve oranı

Debi adı	Miktarı
Toplam stokiometrik yanma gazı (Nm ³ /h) (ob)	3.309
Teorik yanma havası (Nm ³ /h) (ob)	3.003
Fazla hava (Nm ³ /h)	1.010
Teorik toplam yanma havası (Nm ³ /h)	4.012
Baca gazı debisi (Nm ³ /h) (ob)	4.318
Fazla hava oranı (%)	33,63

Ölçülen ve hesaplanan değerler kullanılarak kazan için enerji denklikleri kurulmuş sonuçlar Tablo 7'de verilmiştir.

Tablo 7. Seçilen (1 No'lu) kazan için kurulan kütle ve enerji denklikleri

Girişler	Debi (Nm ³ /h)	Oksijen (%)	Sıcaklık (°C)	Alt ısı değer (kcal/kg)	Cp (kcal/Nm ³ K)	Q (kcal/h)	Toplamdaki pay (%)
Doğalgaz	304		10	8.250	0,44	2.504.700 (y) 1.336 (d)	83,9
Yakma Havası	4.012	20,57	45		0,32	57.777	0,01
Su	4.080*		103		1,000	420.240	14,1
TOPLAM						2.984.053	100
Çıkışlar	Debi (Nm ³ /h)	Oksijen (%)	Sıcaklık (C)	Entalpi (kcal/kg)	Cp (kcal/Nm ³ K)	Q (kcal/h)	Toplamdaki pay (%)
Baca gazı	4318	4,81	185		0,32	255.655	8,6
Buhar	4080*			656,7		2.679.391	89,8
Kayıplar (yüzey ısı, havadaki nem vb.)						49.007	1,6
Toplam						2.984.053	100

3.2. Potansiyel Tasarruf Alanları

a) Fazla havanın azaltılması

Seçilen (1 No'lu) kazanda yapılan ölçümlerde, kazanın optimum (doğalgaz için %10) hava fazlalık katsayısının üzerinde çalıştırıldığı tespit edilmiştir. Bu durumda önemli miktarda hava ısıtılarak atmosfere verilmektedir. Kazanda gaz analizörleri belli aralıklarla alınmalı ve kazan uygun hava fazlalık oranıyla işletilmelidir. Fazla havanın neden olduğu enerji kaybı hesaplanarak Tablo 8'de verilmiştir.

Tablo 8. Fazla havanın azaltılmasıyla yapılacak tasarruf miktarı

Fazla hava debisi (Nm ³ /h)	1.010
Fazla hava oranı (%)	34
Hedef fazla hava oranı (%)	10
Cp (kcal/Nm ³ K)	0,32
Havadaki azalma (Nm ³ /h)	709
Hava giriş sıcaklığı (°C)	45
Baca gazı sıcaklığı (°C)	185

Enerji tasarrufu (kcal/h)	31.782
Yıllık kazan op. süresi (saat)	7.000
Yıllık enerji tasarrufu (kcal)	222.471.949
Mali tasarruf (USD/yıl)	6.742

b) Kazan yüzey kayıplarının azaltılması

Kazanda yüzey kayıplarını belirlemek amacıyla termal kamerayla tüm kazan yüzeyi taranmış ve zayıf yalıtımlı bölgeler tespit edilmiştir. Özellikle seçilen (1 No'lu) kazanda oldukça fazla ısı kaybı tespit edilmiştir. Kazan enerji balansından toplam yüzey kaybı çıkarılmış, bu miktarın %50'lik kısmının giderilmesi durumunda sağlanacak tasarruf Tablo 9'da verilmiştir.

Tablo 9. Seçilen (1 No'lu) kazan yüzey kayıplarının azaltılması ile sağlanacak enerji ve mali tasarruf

Kazan ısı kayıpları (kcal/h)	49.007
Hedef Azaltma (%)	50
Enerji tasarrufu (kcal/h)	24.504
Yıllık Kazan operasyon süresi (saat)	7.000
Yıllık enerji tasarrufu (Kcal)	171.525.170,8
Maliyet Kazancı (USD/yıl)	5198

c) Baca gazı sıcaklığının azaltılması

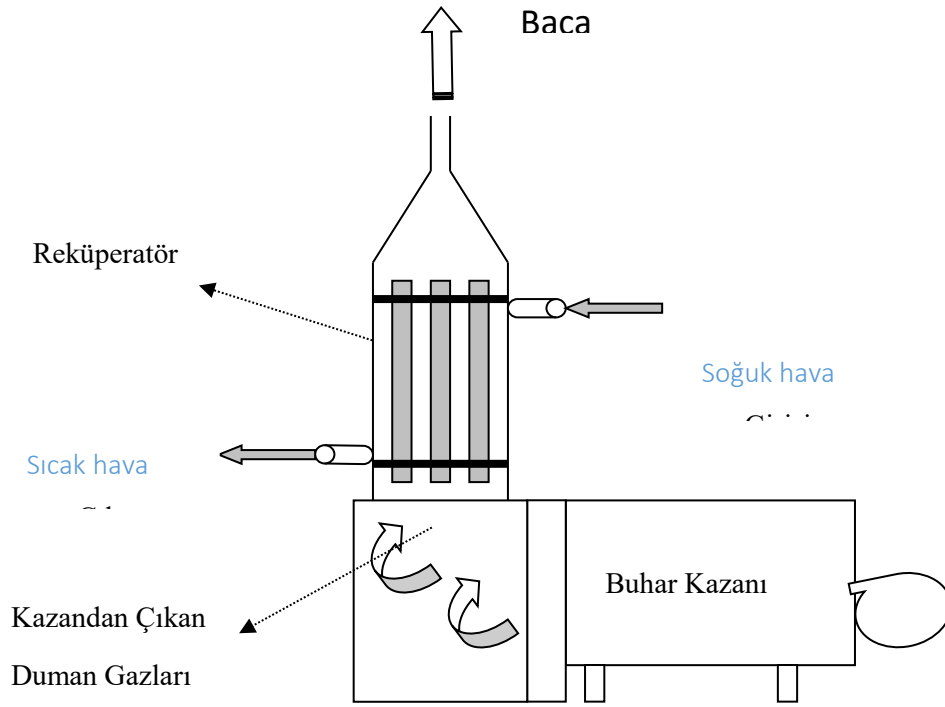
Yanmanın verimli olması ve duman gazlarının verimli kullanılması

1. Brülörde yakıt- hava karışımının otomatik ayarlanması gerekmektedir. (Oransal kontrol). Mevcut sistemde oransal kontrol yapılmış durumdadır.
2. Ekonomizör kullanarak hem baca gazının enerjisinin kullanılması, hem de kazan besi suyunun kazana giriş sıcaklığının yükseltilmesi gerekir. Mevcut sistemde kazanda ekonomizör kullanılmıştır.
3. Besleme havası sıcaklığının, brülör için izin verilen sıcaklığa kadar yükseltilmelidir. Mevcut sistemde 1 No'lu kazan için kompresörlerden gelen hava kullanılmış olup, kazan giriş sıcaklığı 33 °C ölçülmüştür. Bu değerde yakıt ekonomisi açısından yeterli değildir. Yanma havası ısıtılması için "reküperatör" kullanılmalıdır (Şekil 1).

Yanma Havaısı Isıtılması için Reküperatör Kullanımı:

Kazan verimi yanma havasının baca gazıyla ısıtılmasıyla yükseltilebilir. Yanma havasının 56 °C'ye kadar ısıtılmasıyla verim %2 artar [16].

Yanma havasının baca gazlarıyla ısıtılması kazan verimini yükseltecektir. Çünkü bacadan atılan enerji azalacaktır.



Şekil 1. Buhar kazanında rekuperatör kullanımı

Eğer yanma havası başka bir atıl kaynak vasıtasıyla ısıtılırsa, kazan veriminde bir değişiklik olmamasına rağmen yanma kalitesinden dolayı yakıt tasarrufu sağlanacaktır.

Rekuperatör Kullanılması ile Yapılacak Tasarruf

185 °C olan duman gazının 4318 Nm³ debi ile rekuperatöre girip, 110 °C sıcaklıkta terk ettiğini kabul edelim, bu enerji ile 25 °C de kazana verilen yanma havası ısıtılarak kazan veriminin yükselmesi temin edilebilir.

Duman gazı için; $c_{p185^{\circ}\text{C}} = 0,33 \text{ kcal/Nm}^3\text{°C}$

$c_{p110^{\circ}\text{C}} = 0,325 \text{ kcal/Nm}^3\text{°C}$

Hava için; $c_p = 0,314 \text{ kcal/Nm}^3\text{°C}$ dir

Rekuperatör verimi: %80 kabul edelim,

$$\begin{aligned}
 Q &= m.(c_{p185^{\circ}\text{C}} \times T_g - c_{p110^{\circ}\text{C}} \times T_ç) \\
 &= 4318 \text{ Nm}^3/\text{h} (0,33\text{kcal/Nm}^3\text{°C} \times 185^{\circ}\text{C} - 0,325\text{kcal/Nm}^3\text{°C} \times 110^{\circ}\text{C}) \\
 &= 109.245,4 \text{ kcal/h} \\
 &= 109.245,4 \text{ kcal/h} \times 7000 \text{ h/yıl} \\
 &= 764.717.800 \text{ kcal/yıl}
 \end{aligned}$$

olarak hesaplanır.

Doğalgazın alt ısıl değeri: 8250 kcal/Sm³

Tasarruf edilecek Doğalgaz miktarı: $764.717.800 \text{ kcal/yıl} \times 0,80 / 8250 = 74.154,46 \text{ Sm}^3/\text{yıl}$

Doğalgazın fiyatı: 0,25 USD/Sm³

Yıllık toplam Tasarruf: 18.538,62 USD/ yıl

(Yalnız duman gazı ile çevreye attığımız, kullanılabilir enerjinin maliyetidir.)

Yatırım ve Geri Ödeme Süresi

Yapılan piyasa araştırmasında reküperatör ve kurulumun yatırım miktarı yaklaşık 41000 USD olarak verilmiştir. Basit Geri Ödeme Süresi ise:

Basit Geri Ödeme Süresi: Yatırım Miktarı / Yıllık Tasarruf Miktarı

Basit Geri Ödeme Süresi: 41.000 USD/18.538,62 USD/ YIL = 2,21 Yıl (26,5 Ay)

Çevresel Analiz

Yapılan hesaplamalar sonucunda sağlanan tasarruf opsiyonları ve bunların miktarları Tablo 10'da verilmiştir.

Tablo 10. Tasarruf opsiyonları ve miktarları

Tasarruf No	Tasarrufun Adı	Yıllık enerji tasarrufu (kcal)	Doğalgaz Eşdeğeri SM ³ /yıl	Tasarrufun içindeki payı (%)
1	Fazla Havanın azaltılması	222.471.949	26,966	19,19
2	Yüzey kayıplarının giderilmesi	171.525.170	20,790	14,80
3	Baca gazı reküperatör uygulaması	764.717.800	74.154	65,99
	TOPLAM	1.158.714.919	121910	100

Toplam yıllık enerji tasarrufu 1.158.714.919 kcal (1,347,342 kWh)'dir. 1 kWh Doğalgaz 0,234 kg eşd. CO₂ Salımı'dır. Bu durumda;

Toplam CO₂ salınımı 1,347,342 kWh x 0,234 kg eşd. CO₂ Salınımı

Toplam 315.278 kg CO₂ salınımı önlenmiştir.

4. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Bu çalışmada bir sanayi kuruluşuna ait seçilen bir buhar kazanında enerji verimliliği çalışmaları gerçekleştirilmiş olup; hesaplamaları gerçekleştirmek üzere çeşitli ölçümler yapılmıştır.

Ölçüm değerleri alındıktan ve mevcut sayaç değerlerinin doğruluğu teyit edildikten sonra gereken tüm hesaplamalar yapılmış, kütle ve enerji dengesi kurulmuş, tasarruf potansiyelleri belirlenerek sunulmuştur. Başlıca verim kayıpları ise şöyle sıralanabilir: kazanın yüksek hava fazlalık katsayılarında çalıştırılması, yüzey ısı kayıpları ve yüksek baca gazı sıcaklığı.

Buna göre kazana ait bulgular aşağıda maddeler halinde sunulmuştur.

- Kazan %34 fazla havayla çalıştırılmakta olup, optimum fazla hava oranı %10 düşürülmesi önerilmiştir. Bu durumda yıllık 222.471.949 kcal'lik enerji ve mali tasarruf 6.742 USD olarak hesaplanmıştır.
- Kazanda önemli oranda yüzey ısı kayıpları tespit edilmiştir. Tespit edilen kayıpların %50'nin giderilmesi durumunda yıllık 171.525.170 kcal'lik enerji ve 5198 USD mali tasarruf sağlanabilir. Gerekli yatırım miktarı ise yaklaşık 2600 USD olup basit geri ödeme süresi yaklaşık 2 yıldır.
- Kazandan 185 °C baca gazı atılmakta olup, geri kazanımı için reküperatör önerilmiştir. Reküperatör kuruluyla gerekli yatırım miktarı 41000 USD, Yıllık enerji tasarrufu 764.717.800 kcal ve mali tasarruf ise 18.538,62 USD, Yatırımın basit geri ödeme süresi ise 2,21 yıldır.
- Yukarıda belirtilen tüm tasarruf opsiyonlarının gerçekleştirilmesi durumunda yıllık toplam 1.158.714.919 kcal'lik enerji ve 30479 USD'lik mali tasarruf yapma imkânı bulunmaktadır.
- Yukarıda sözü edilen tasarrufların sağlanmasıyla yıllık 315.278 kg CO₂ salınımı önenebilecektir.

NOMENKLATÜR (TERMİNOLOJİ)

B: Ölçülen yakıt debisi (kg /h)

H_u : Yakıt alt ısıl değeri (kcal/kg)

H_u : Yakıtın alt ısıl değeri (kcal /kg)

i_b : Buhar entalpisi (kcal/kg)

i_b : Buhar giriş entalpisi (kcal/kg)

i_s : Besi suyu entalpisi (kcal/kg)

i_s : Su giriş entalpisi (kcal/kg)

m: Doğal gaz debisi (Nm³/h)

m_b : Buhar debisi (kg/h)

m_b : Ölçülen buhar debisi (kg/h)

m_s : Ölçülen su debisi (kg/h)

η : Isıl verim

ob: orijinal bazda

Q_s/Q_y : Genel verim (%)

Q_y : Yakıt ısısı

USD: Amerikan Doları

Z: Çeşitli ısıl kayıplardır (%)

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] “Sanayide Enerji Yönetimi Esasları”. Cilt No:3, EİEİ/UETM, Ankara, 1997.
- [2] Onat K., Genceli O., Arısoy A. “Buhar Kazanları Isıl Hesapları”. Denklem Matbaası, İstanbul, 1988.
- [3] Göç, H., YILMAZOĞLU, M. Z., DURMAZ, A. Bir kazan test merkezinin kurulması, devreye alınması, belgelendirme amaçlı ısıl ve çevresel performans testleri. 2010. TMMOB Makina Mühendisleri Odası Tesisat Mühendisliği Dergisi, 4 (19-24).
- [4] Özkan, M., Buhar Kazanları Isıl Hesapları, 1. Cilt, Bizim Büro Basım Evi, Ankara, (1984).
- [5] Türk Standartları Enstitüsü, Kazanlar – Anma ısı gücü ve verim deneyleri esasları, TS4041, TSE, Ankara, (1983).
- [6] Türk Standartları Enstitüsü, Kazanlar – Isı tekniği ve ekonomisi açısından aranacak özellikler, TS4040, TSE, Ankara, (1983).
- [7] “Sanayi Kazanları ve Ek Donatım İşletme El Kitabı”. TMMOB Makina Mühendisleri Odası, Yayın No: 110-7, Ankara, 1998.
- [8] Kaya D., Eyidogan M. 2009. “Energy Conservation Opportunity in Boiler Systems”. Journal of Energy Resources Technology, 131 (3), 032401, 2009. DOI: 10.1115/1.3185440.
- [9] Kaya D., Eyidogan M. 2010. “Energy Conservation Opportunities in an Industrial Boiler System.” Journal of Energy Engineering. 10.1061/(ASCE)0733-9402 (2010) 136: 1 (18), 18-25.

- [10] Kaya D., Eyidogan M., Ozkaymak M., Turhan F., Kilinc E., Kayabasi E., Sahin Z., Sonverdi E., Selimli S. 2013. "Energy-Exergy Efficiencies and Environmental Effects of a Mixed Fuel (Solid + Gas) Industrial Facility Steam Boiler". *Journal of the Energy Institute*, 2013; Number: 4, Volume: 8, 194-2013.
- [11] Kaya D., Eyidogan M., Çanka Kılıç, F., Çay Y., Çağman S., Çoban V. 2014. "Energy Saving and Emission Reduction Opportunities in Mixed-Fueled Industrial Boilers". *Environmental Progress & Sustainable Energy*. Vol:33, No:4, pp. 1350-1356. December, 2014. DOI:10.1002/ep.11925, ISSN: 1944-7450.
- [12] Saidur R., Ahamed J. U., Masjuki H. H. 2010. "Energy and Economic Analysis of Industrial Boilers". *Energy Policy*, 38 (5), 2188–2197. DOI: 10.1016/j.enpol.2009.11.087.
- [13] Saidur, R. 2011. "Energy Savings and Emission Reductions in Industrial Boilers". *Thermal Science*, Vol: 15, No:3, pp. 705–719. UDC: 66.046:536.24, DOI: 10.2298/TSCI091014046S.
- [14] "Improving steam boiler operating efficiency", Enerkon 1987.
- [15] Naturel Kimya. Su Mühendisi. Kartal, İstanbul Türkiye. Son erişim tarihi: 02.12.2016. <http://www.naturelkimya.com.tr/kazan-temizleme-kimyasallari.html>.
- [16] Kaya D., Ozturk H.H., "Sanayide Enerji Yönetimi ve Enerji Verimliliği, Uygulamalı Örneklerle" (2014). Umuttepe Yayınları, ISBN: 9786055100179.