

**Makale
(Article)**

Endüstriyel Bir Fırının Atık Isısının Enerji Verimliliğine Etkisinin Deneysel Olarak İncelenmesi

Osman KARA*, Ertaç HÜRDOĞAN*, Önder KAŞKA**

*Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Müh. Fak. Enerji Sistemleri Müh. Böl., 80000 Osmaniye/TÜRKİYE

**Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Müh. Fak. Mak. Müh. Böl., 80000 Osmaniye/TÜRKİYE

osmankara@osmaniye.edu.tr

Özet

Enerji, sanayileşmenin alt yapısı ve günlük hayatın vazgeçilmez bir unsurudur. Bu nedenle, enerji ihtiyacı ulusal ve uluslararası gündemde oldukça önemli bir yer tutmaktadır. Artan nüfus ve gelişen teknoloji ile birlikte enerji kullanımı sürekli artmaktadır. Üretilen enerjinin özellikle tüketimin fazla olduğu sanayi sektöründe yüksek verimle kullanılması büyük önem taşımaktadır. Endüstriyel tesislerde, enerji verimliliği ile ilgili en önemli uygulamalardan bir tanesi atık ısının geri kazanılmasıdır. Bu tür uygulamalarda, bacadaki atık ısı temel olarak bir ısı değiştiricisi olan bir ekonomizer veya rekuperatör kullanımı ile geri kazanılmaktadır. Bu çalışmada, Adana'da faaliyet gösteren bir işletmenin fırın bacalarındaki atık ısının geri kazanımının, enerji verimliliğine etkisi yapılan ölçümlerle değerlendirilmiş ve sonuçlar tartışılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Enerji verimliliği, Atık ısı, Tav fırını

The Experimental Investigation of the Effect of Waste Heat from an Industrial Oven on Energy Efficiency

Abstract

Energy is the keystone of the industrialization and the indispensable element of daily life. Therefore, energy needs keep extremely important place in the national and international agenda. Energy use has continual increasing with a growing population and developing technologies. Using produced energy highly efficient; in particular, in industries at which energy consumption is high has paramount importance. One of the most important applications in terms of energy efficiency in industry is waste heat. Waste heat in stack gas is recovered by an economizer or a recuperator, which are principally a heat exchanger, in such applications. In this study, Effects of waste heat recovery from the furnace stack gas on energy efficiency in a company in Adana, are evaluated by measurements and result are discussed.

Keywords: Energy efficiency, Waste heat, Tav oven

1. GİRİŞ

Birçok endüstriyel proses, enerjinin başka şekle dönüştürülerek kullanılmasını gerektirmekte ve bu da genellikle önemli miktarlarda dönüşüm kayıplarına neden olmaktadır. Bazı kayıplar kaçınılmazdır, ancak sanayi sektörümüzde bu kayıpların yer yer büyük miktarlara ulaştığı gözlemlenmiştir. Son yıllardaki teknolojik gelişmeler ve enerji fiyatlarındaki artış, kayıp enerjiyi geri kazanmak için yapılacak yatırımları karlı hale getirmiştir [1]. Bilindiği gibi enerji kullanımı sanayi, binalar (ticari ve konut) ve ulaştırma

Bu makaleye atıf yapmak için

Kara O.*, Hürdoğan E.*, Kaşka Ö.**, " Endüstriyel Bir Fırının Atık Isısının Enerji Verimliliğine Etkisinin Deneysel Olarak İncelenmesi " Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi 2015, 12(4) 95-101

How to cite this article

Kara O.*, Hürdoğan E.*, Kaşka Ö.**, " The Experimental Investigation of the Effect of Waste Heat from an Industrial Oven on Energy Efficiency " Electronic Journal of Machine Technologies, 2015, 12(4) 95-101

olmak üzere üç ana grupta gerçekleştirilmektedir. Bunlardan sanayi sektörü, ülkemizdeki nihai enerji tüketimi içindeki yaklaşık %36 ve elektrik tüketimindeki %55 düzeyindeki payı ile önemli bir yere sahiptir [2].

Değişik sektörlerde yapılan enerji denetleme çalışmalarında ortaya çıkan Tablo sonucunda sanayi tesislerinin ve endüstriyel işletmelerin % 95'inde % 5 ile % 40 arasında enerji tasarrufu yapılmasının mümkün olduğu görülmektedir. Daha da çarpıcı olan konu ise sanayi tesislerinde ve endüstriyel işletmelerde hiç yatırımsız veya az yatırımlı önlemlerin uygulanması ile asgari % 10 oranında enerji tasarrufu sağlamanın mümkün olduğudur. Bu oran enerji tüketimine ve enerji tasarrufuna verilmesi gereken önemi gözler önüne sermektedir [3]. Endüstriyel işletmeler açısından bakıldığında, verimliliği artırıcı çalışmalar yakıttan tasarruf sağlar, kaynakların verimli kullanımına ve çevre kirliliğinin azaltılmasına önemli ölçüde katkıda bulunurlar. Enerji verimliliğinin artırılması, ısı kayıplarının yerlerinin ve miktarlarının belirlenmesi ile mümkün olmaktadır. Fırınlara, özellikle yüksek sıcaklıklarda çalışan tavlama fırınları, endüstriyel işletmelerde gerek yakıt tüketimi açısından gerekse çevreye verdiği atık gazların oluşturduğu kirlilik açısından mümkün olduğunca verimli çalıştırılması gereken sistemlerdir [4].

Literatürlerde endüstriyel kazan ve fırınlar ile ilgili birçok çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalarda sistemler genel olarak ele alınabildiği gibi, sadece kazanların belirli kısımları da incelenmiştir. Bu çalışmalar da; endüstri kazan dairelerinde enerji tasarrufu çalışmalarında öncelikle sistem tasarımında ve tesisinde kullanım şartlarının en uygun seçiminin yapılmasının sağlanması, sistemin çalışması esnasında iyi bir yanmanın sağlanması, atık duman gazı, atık sudan ve flaş buhardan geri kazanımının sağlanması gerektiği ve son olarak işletmeler de iyi bir periyodik bakım sistemlerinin olmasının gerekliliği vurgulanmıştır [5].

Ersöz tarafından yapılan çalışmada [6] baca gazları ile atılan ısı'nın geri kazanılmasının ısı borusu (12 mm çapında 50 cm boyunda 7 adet) yardımıyla yapılması deneysel olarak incelenmiştir. Yapılan deneylerde; farklı baca gazı sıcaklıklarında (140 °C, 150 °C, 160 °C ve 170 °C) ve farklı ısıtılan akışkanlar (su, motorin, fueloil ve hava) kullanılarak ısıtılan akışkanın sıcaklık değişimleri ölçülmüş. Bunların sonucu olarak ısı geri kazanım miktarları belirlenmiştir. Çomaklı ve Terhan [7] tarafından yapılan çalışmada ise merkezi ısıtma sistemi kazan bacalarından atılan kayıp enerjinin geri kazanımı ve geri kazanılan bu enerjinin kullanım potansiyeli incelemiştir. Yapılan çalışmada baca gazı kayıp oranı ise ortalama % 8,87 civarında hesaplanmıştır. Bu kayıp enerjiden mahal ısıtmasında ve sıcak su eldesin de yararlanılabileceği tespit edilmiştir. Bilgin tarafından yapılan çalışma da [8] kazanların verimli işletilebilmesi, baca gazı analizlerinin irdelenerek brülörlerde alınması gereken önlemler, kazanlarda iç soğumaya neden olan faktörler ile yakıt ve yakıcılardan kaynaklanan emisyonlar konusunda çalışılmıştır.

Eyidoğan [9] tarafından yapılan çalışma da bir sanayi kuruluşun ait tav fırınında, fırın verimliliği ve tasarruf potansiyellerinin belirlenmesine yönelik ölçüm verileri kullanılarak kütle ve enerji dengesi kurmuştur. Hesaplama neticesinde, fırın genel verimi %52,76 olarak bulunmuştur. Verimi etkileyen diğer parametreler, yüksek hava fazlalık katsayısıyla çalıştırılması, reküperatör ısı transfer yüzey alanının yetersiz kalması ve fırın yüzeyi ısı kayıpları olarak belirlenmiştir. Ayrıca, baca gazı sıcaklığı "yoğuşma sıcaklığı" olarak belirlenen sınırın (110-120 °C) altına düşürülmeden bacadan atılan bu enerji, yüksek verimli bir ısı değiştiricisi ile fırına tekrar kazandırabileceğini belirtmiştir.

Dünya genelinde enerji kullanımının gün geçtikçe arttığı, konvansiyonel yakıtların da ters orantılı olarak azaldığı görülmektedir. Bu kapsam da yüksek enerji tasarruf potansiyeline sahip sanayide, enerji tasarrufu iyileştirmeleri öncelikle incelenmesi gerekir. Bu çalışma da, sanayide yer alan bir işletmenin baca gazından çıkan atık ısısının değerlendirilerek, aynı işletmede farklı bir proseste kullanılan elektrikli ısıtıcılarının sarfiyatının azaltılması amaçlanmıştır.

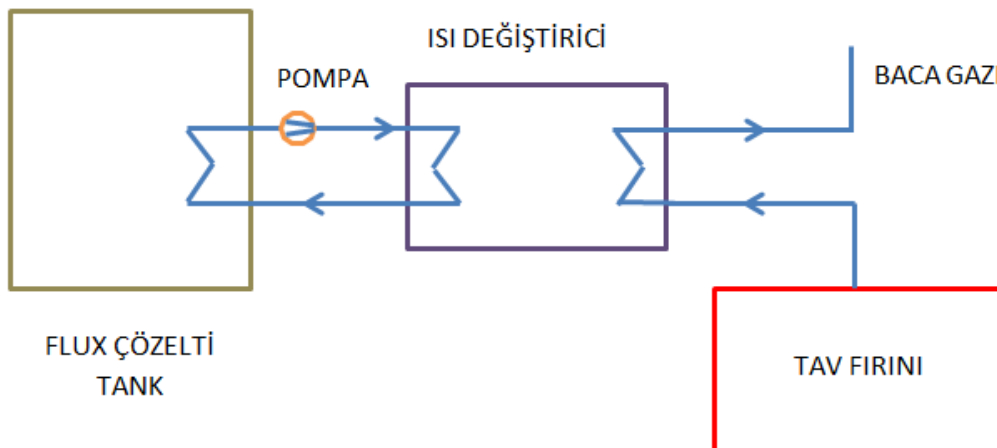
2. YAPILAN ÇALIŞMA

Bu çalışmada, Adana’da demir çelik sektöründe faaliyet gösteren bir işletmede çelik hasır üretiminde kullanılan galvaniz hattında yer alan tav fırını (Şekil 1) ele alınmıştır. Doğalgazın yakıt olarak kullanıldığı, 20 adet brülöre sahip açık alev tipli fırın, işletmede tellerin mukavemetini istenilen değere getirmek amacı ile kullanılmaktadır. Tav fırınından çıkan teller galvaniz ocağına girmeden önce bazı işlemlerden (temizlenme, soğutma, fluxlama vb.) tabii tutulmaktadır. Bu işlemlerden en önemlisi fluxlama ünitesinin kullanıldığı işlemdir. Bu ünitenin görevi, temizlenmiş telin galvaniz ocağına varıncaya kadar yüzeyinin oksitlenmesini engellemek ve telin yüzeyine çinkonun daha iyi temas etmesini sağlamaktır. Fluxlama ünitesinde bulunan sıvı kimyasalın proses boyunca sabit 60 °C’de kalması istenmektedir. Bu durum 40 kW’lık elektrikli ısıtıcılar kullanılarak sağlanmaktadır.

Çalışma kapsamında, fırının baca atık ısısının, galvaniz hattında fluxlama ünitesindeki sıvı flux çözeltisinin ısıtılması amacıyla kullanılan elektrikli ısıtıcıların enerjisinin karşılaması ve işletmede sağlanacak tasarruf miktarı hesaplanmıştır. Şekil 2’de işletmede kullanılması düşünülen prosesin akış diyagramı verilmiştir. Şekilde, iki farklı ısıl döngünün olduğu bir ısı değiştiricisinin (çelik çekme borulu dikey tip) kullanıldığı görülmektedir. Fırının bacasından yanma sonrasında çıkan egzoz gazı ısısını ısı değiştiricisi yardımıyla suya aktarılmaktadır. Suya aktarılan enerji, fluxlama tankı içerisinde bulunan çözeltinin ısıtılmasında kullanılmıştır. Fırın da yanma sonrasında oluşan baca gazının ölçümlerinde Testo 350 Baca Gazı analizörü kullanılmıştır.



Şekil 1. İşletmede kullanılan galvaniz hattındaki tav fırınından bir görünüm



Şekil 2. İşletmede kullanılması düşünülen prosesin akış diyagramı

Sistemde ısı değiştiricisi ile flux çözelti tankı arasındaki su hattında kullanılacak pompanın seçimi (su debisi) için aşağıda verilen Eşitlik kullanılmıştır. Eşitlikte Q_e (kW); flux çözelti tankı için gerekli olan ısı aktarım oranını, cp_s (kJ/kg K); suyun özgül ısısı, $T_{sç}$ ve T_{sg} ($^{\circ}\text{C}$); sırasıyla suyun flux çözelti tankına giriş ve çıkış sıcaklıklarını, m_s (kg/s) ise sistemde dolaşacak olan su miktarını ifade etmektedir.

$$Q_e = \dot{m}_s c_{ps} (T_{sç} - T_{sg}) \quad (1)$$

Baca gazından transfer edilecek olan ısı miktarı (E_y , kW) aşağıda verilen eşitlik kullanılarak hesaplanmıştır. Baca gazından suya ve sudan çözeltiliye ısı aktarımı sırasında enerji kayıpları ihmal edilmiştir. Aşağıda verilen Eşitlikte, m_b baca gazı kütleli debisini (kg/s), cp_b (kJ/kg K) baca gazı özgül ısısını, T_{bg} , $T_{bç}$ ($^{\circ}\text{C}$); sırasıyla ısı değiştiricisine giren ve çıkan baca gazı sıcaklıklarını ifade etmektedir. Baca gazı debisi hesaplanmasında teorik hava miktarı (V_0 , Nm^3/Nm^3) ve hava fazlalık katsayısı (m_0) için aşağıda verilen Eşitlikler kullanılmıştır. Baca gazının özgül ısı ve yoğunluk (ρ , kg/m^3) değerlerinin hesabında referans [10] kullanılmıştır.

$$E_y = \dot{m}_b c_{pb} (T_{bç} - T_{bg}) \quad (2)$$

$$V_0 = \frac{1}{0.21} (2xCH_4 + 3.5xC_2H_6 + 3xC_2H_4 + 5xC_3H_8 + 4.5xC_4H_{10}) \quad (3)$$

$$N_2 = 100 - (CO + CO_2 + O_2) \quad (4)$$

$$m_0 = \frac{1}{1 - 3.76 \frac{O_2}{N_2}} \quad (5)$$

Proseste kullanılması düşünülen ısı değiştiricisinin etkinliği (ε) için aşağıda verilen Eşitlikler kullanılmıştır [11].

$$\varepsilon = \frac{\dot{Q}}{\dot{Q}_{\max}} \quad (6)$$

$$\dot{Q}_{\max} = C_{\min} (T_{hg} - T_{cg}) \quad (7)$$

$$C_h = \dot{m}_h x c_{ph} \quad (8)$$

$$C_c = \dot{m}_c x c_{pc} \quad (9)$$

Bu Eşitliklerde (Eş. 6-9), $\dot{Q}$; transfer edilen gerçek ısıyı (kW), $\dot{Q}_{\max}$; transfer edilebilecek en yüksek ısıyı (kW), T_{hg} ve T_{cg} ; sırasıyla sıcak ve soğuk akışkanların giriş sıcaklıklarını ($^{\circ}\text{C}$), $C_{\min}$; sıcak ve soğuk akışkanların ısı kapasitelerinden (C_h , C_c) küçük olanını (kW/s), ve m_h , m_c ; sırasıyla sıcak ve soğuk akışkanların kütleli debilerini (kg/s), cp_h ve cp_c ise sıcak ve soğuk akışkanların özgül ısılarını (kJ/kg K) ifade etmektedir.

Bu bildiri kapsamında yapılan bir diğer çalışma ise geri kazanım için öngörülen sistemin maliyet analizinin yapılmasıdır. Maliyet analizinde net bugünkü değer ve basit geri ödeme süresi yöntemlerine dayalı analiz yapılmıştır. Analizlerde kullanılan eşitlikler aşağıda verilmiştir. Eşitlik (10) da, i ; iskonto

oranını, n ; ısı değiştiricisi için ekonomik ömrü, P_2 ; hurda değerini, P_1 ; yıllık faydayı ve Y ise yatırım maliyetini ifade etmektedir. Yatırım maliyeti otomasyon sistemi, pompa, borulu ısı değiştiricisi maliyeti, Nakliye vb. kalemleri içermektedir.

$$Fayda = P_1 \times \frac{(1+i)^n - 1}{(1+i)^n \cdot i} + P_2 \times \frac{1}{(1+i)^n} \quad (10)$$

$$NBD = Fayda - Y \quad (11)$$

3. HESAPLAMALAR

Yapılan çalışmada ısı kaynağı olarak işletmenin fırınında yanma sonucunda ortaya çıkan baca gazı kullanılmıştır. Fırın bacasından ölçülen sıcaklık, CO_2 , O_2 ve CO değerleri Tablo 1’de verilmiştir. Ölçümden görüldüğü üzere tav fırınının baca gazının sıcaklığının oldukça yüksektir. Elde edilen değerlerle baca gazının özgül ısı ve yoğunluğu hesaplanmıştır.

Fırında yakıt olarak kullanılan doğal gazın bileşimi Tablo 2’ de verilmiştir. Teorik hava miktarının hesaplanmasında, Tabloda verilen değerler ve Eş. (3) kullanılmıştır. Hava fazlalık katsayısının Eş. (5) kullanılarak hesaplanmasında ise baca gazının azot yüzdesi Eş. (4) ve ölçülen oksijen yüzdesi kullanılmıştır. Fırının saatlik doğal gaz tüketimi $56,6 \text{ Sm}^3/\text{h}$ olarak ölçülmüştür. Fırının saatlik doğal gaz tüketimi, hava fazlalık katsayısı, teorik hava miktarı ve yoğunluk kullanılarak fırının bacasından çıkan gazın kütleli debisi bulunmuştur. Hesaplamalarda kullanılan kabullerde Tablo 3 de verilmiştir.

Tablo.1 Fırın bacasından alınan ölçülen değerleri

SICAKLIK	CO_2 (%)	O_2 (%)	CO (PPM)
810,45	10,56	2,49	68,20

Tablo.2 Doğal Gazın % bileşimi

Bileşen	Doğal Gaz Mol Kesri
Metan (CH_4)	0,90
Etan (C_2H_6)	0,05
Propan (C_3H_8)	0,03
Bütan (C_4H_{10})	0,01
Pentan (C_5H_{12})	0,01
Hexan ve Daha ağır (C_6H_{14} ve yukarısı)	<<0,01

Tablo.3 Hesaplamalarda kullanılan bazı değerler

Semboller	Değerler	Semboller	Değerler
cp_s	4,187 kJ/kg K	i	% 10
cp_b	1,2351 kJ/kg K	n	15 yıl
$T_{sç}$ ve T_{sg}	120 ve 90°C	P_1	38466 TL
ρ	$0,241 \text{ kg/m}^3$	P_2	12000 TL
ε	0,65	Y	36240 TL

Baca gazından alınacak ısı miktarı, ısı değiştiricisinin etkinliği için verilen Eş. (6) kullanılarak hesaplanmıştır. Etkinlik değerinin 0,65 kabulüyle baca gazından alınabilecek ısı miktarı (E_y , Q_e) 23,57 kW’tır. Elde edilen bu sonuçtan, işletme için gerekli olan saatlik 40 kW’lık ısı miktarını tümünün karşılanamayacağı görülmektedir. Yapılan hesaplamalarda tasarlanan model ile elektrik ısıtıcısının % 58 karşılanabilmektedir.

İşletmede yapılacak olan iyileştirme işlemi için “Net Bugünkü Değer Yöntemi” ele alınmıştır. Eşitlikler (10 ve 11) kullanılarak yapılan hesaplamalarla yapılacak yatırımın net bugünkü değerinin 259210 TL olduğu dolayısıyla sonucun sıfır değerinin üzerinde çıkmasından dolayı yatırımın uygun olduğu görülmüştür. İşletmenin ilave bakım onarımı giderleri hesaplamalarda dikkate alınmamıştır. Yatırımın geri ödeme süresi ise "Basit Geri Ödeme Süresi" yöntemine göre hesaplanarak 0,94 yıl (10 ay) olarak bulunmuştur. Elde edilen sonuçlar Tablo 4 de verilmiştir.

Tablo.4 Hesaplanan değerler

Semboller	Değerler
m_s	675 kg/s
E_y ve Q_e	23,57 kW
V_o	22317 Nm ³ / Nm ³
m_0	1,124
Q_{max}	36,27 kWh
T_{bg} , $T_{bç}$	810 ve 381 °C
NBD	275191 TL

4. SONUÇ

Bu çalışma da, sanayi sektöründe yer alan bir işletmenin baca gazından çıkan atık ısısının değerlendirilerek, aynı işletmede farklı bir proseste kullanılan elektrikli ısıtıcıların enerji sarfiyatının azaltılması amaçlanmıştır. Çalışma kapsamında işletmeye enerji maliyeti olan fluxlama elektrikli ısıtıcısının kullanımının işletmede atık ısı kullanılarak karşılanması hedeflenmiştir. Yapılan hesaplamalarda tasarlanan model ile flux kazanı enerji ihtiyacının % 58'i karşılanabileceği ve yapılacak yatırımın Basit Geri Ödeme Süresi ve Net Bugünkü Değer yöntemine uygun olduğu anlaşılmıştır.

5. KAYNAKLAR

1. Hepbaşlı, A., Günerhan, H., Ülgen, K., 2001, “Enerji yönetim sisteminin altın anahtarları: enerji dengliği ve enerji tasarrufu etüdü”, V. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi ve Sergisi, İzmir
2. Sanayide Enerji Verimliliği, Konya Ticaret Odası, http://www.kto.org.tr/d/file/enerji_verim_rapor.pdf (22.07.2015)
3. Ünlü, O., 2009, “Sanayide Enerji Tasarrufu Çalışmalarının Önemi ve Buhar Sistemleri ile İlgili Uygulama Örnekleri”, IX. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi ve Sergisi Bildirileri
4. Ertem, G., Berrin, Ç., Yeşilyurt, S., 2008, “Endüstriyel tav fırınlarında ısı dengliği hesaplamaları ve enerji verimliliğinin belirlenmesi”, IV. Ege Enerji Sempozyumu, İzmir
5. Bilgiç, M., “Endüstri kazan dairelerinde Enerjinin Etkin kullanılması için; Yakıttan baca gazına kadar dikkate alınması gereken hususlar”, Türk Tesisat Mühendisleri Derneği Dergisi, Temel Bilgiler, Tasarım ve Uygulama Eki, Sayı :8
6. Ersöz, M.A., 2009, “Baca Gazlarındaki atık ısısının ısı borusu ile geri kazanımının deneysel incelenmesi”, IX. Ulusal tesisat mühendisliği kongresi ve sergisi bildirileri
7. Çomaklı, K., Terhan, M., 2011, “Sıcak Su Üretimi İçin Baca gazı Atık Enerjinin Kullanımı”, Tesisat Mühendisliği, Sayı:124 Temmuz-Ağustos
8. Bilgin, A., 2006, “Kazanlarda Enerji Verimliliği”, Tesisat Mühendisliği Dergisi, Sayı: 95, s. 13-18

9. Eyidoğan, M., Kaya, D., Dursun, Ş., Taylan, O., 2014, “Endüstriyel tav fırınlarında enerji tasarrufu ve emisyon azaltım fırsatları”, Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, Cilt 29, No 4, 735-743
10. <http://fluegasknowhow.com/flue-gas-properties/flue-gas-specific-heat-calculator/>
11. Kreider, J. F., ve Rabl, A., 1994, Heating and Cooling of Buildings, McGraw Hill