CAM TEMPERLEME FIRININDA ENERJİ ANALİZİ

Yavuz Tütünoğlu*
TMMOB Makina Mühendisleri Odası
Kocaeli Şubesi, İzmit-Kocaeli
yavuz.tutunoglu@mmo.org.tr

Alpaslan Güven
TMMOB Makina Mühendisleri Odası
Kocaeli Şubesi, İzmit-Kocaeli
alpaslan.guven@mmo.org.tr

İlhan Tekin Öztürk
Prof. Dr., Kocaeli Üniversitesi,
Makina Mühendisliği Bölümü,
Umuttepe Yerleşkesi, Kocaeli
ilhan@kocaeli.edu.tr

ÖZET

Bu çalışmada bir cam temperleme fırınının enerji analizinin nasıl yapılacağı gösterilmiş ayrıca örnek bir cam temperleme fırınının enerji verimi elde edilmiştir. Fırın yüzeyindeki ısı kayıpları ve kaçakları termal kamerayla tespit edilmiştir. Fırının verimi üzerinde etkili olan kayıplar belirlenerek, fırının verimini artırıcı yöntemler gözden geçirilmiştir. Mevcut çalışır durumdaki fırınla ilgili yapılan ölçme sonuçlarına dayanarak fırının verimi % 16,23 olarak elde edilmiştir. Baca gazı ısısının ve yüzeyden iletim ve sızıntıyla olan kayıpların yarısının fırın için geri kazanılması durumunda fırının verimi %27,38 olarak elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Cam, temperleme, temperleme fırını, fırınlarda enerji verimliliği

Energy Analysis of Glass Tempering Furnace

ABSTRACT

In this study, how can apply energy analyses for industrial furnace was described and thermal efficiency of a sample glass tempering furnace was obtained by using experimental energy data of furnace. Heat losses and leakage were detected by thermal camera for furnace. The main heat losses from furnace were defined and energy saving methods were applied. Tempering furnace efficiency was obtained as 16,23% for current working conditions. Then applying energy saving methods such as recovering stack gas heat and reducing surface heat loss and leakage, the tempering furnace efficiency was obtained as 27,38%.

Keywords: Glass, tempering, tempering furnace, energy efficiency in furnace

* İletişim yazarı

Geliş tarihi : 28.05.2012
Kabul tarihi : 11.07.2012

31 Mart - 2 Nisan 2011 tarihlerinde Makina Mühendisleri Odası tarafından Kocaeli'de düzenlenen III. Enerji Verimliliği Kongresi'nde sunulan bildiri yazarlarca güncellenerek ve genişletilerek bu makale hazırlanmıştır.

Tütünoğlu, Y., Güven, A., Öztürk, İ. T. 2012. "Cam Temperleme Fırınında Enerji Analizi," TMMOB MMO Mühendis ve Makina Dergisi, cilt 53, sayı 629, s.55-62

1. GİRİŞ

Bilindiği gibi dünya enerji tüketiminin önemli bir kısmı fosil kökenli yakıtlardan karşılanmaktadır. Enerji tüketiminin hızla artması hem bu fosil kaynakların hızla azalmasını hem de atmosfere salınan karbondioksit artışı ve bunun sonucu oluşan sera etkisi ve iklim değişikleri kaçınılmaz olmaktadır [1]. Bunu önlemenin birinci yolu enerjiyi olabildiğince tasarruflu kullanmak ve diğer yolu da alternatif enerji kaynakları geliştirmektir. Endüstri dünya enerji tüketiminin önemli bir kısmını gerçekleştirmektedir ve sanayide enerjiyi yönetilebilirse önemli miktarlara da enerji tasarrufunun yapılabileceği görülmektedir. Sanayi tesislerinde enerjiyi en yoğun kullanan ünitelerin başında endüstriyel fırınlar gelmektedir [2].

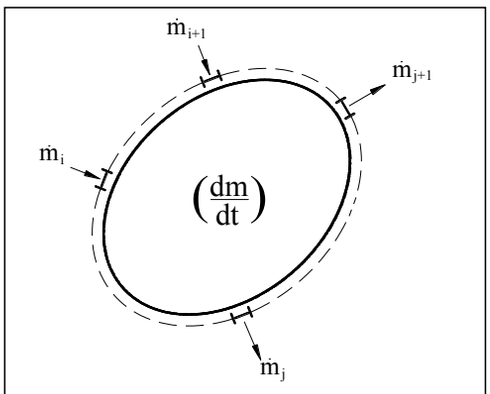
Endüstriyel fırınlar ergitme, ısıl işlem, pişirme, kurutma, temperleme ve benzeri işlemleri gerçekleştirmek için sanayide yaygın bir biçimde kullanılmaktadır [2]. Örneğin çimento fabrikalarında dönel fırın içerisinde yüksek sıcaklıkta çimento üretimi, seramik veya tuğla fabrikalarında pişirme ve kurutma fırınları, demir çelik endüstrisinde ergitme ve tavlama fırınları, cam üretiminde ergitme ve temperleme fırınları şeklinde bir dizi örnek verilebilir. Fırınlar tasarlandıkları prosesi gerçekleştirebilmeleri için gerekli ham maddelerin beslenmesiyle birlikte gerekli enerjinin de beslenmesini gerektirir. Fırınlar beslenen ham maddenin ürüne dönüşmesi sonucu açığa çıkan ürün dışı atıkları fırından uzaklaştıracak, gerekli yakıt yakma sistemleri ve elektrik enerji besleme sistemleriyle donatılabilmektedir [2].

Fırınlardan üretilen ürünlerin kalitelerinin yanı sıra birim ürün başına harcadıkları enerjilerinde sorgulanması gereken önemli konu olduğu unutulmamalıdır. Fırında üretilen ürünün kalitesi ile kapasitesinden ve çevresel etkilerden ödün vermeden birim üretim başına enerji tüketiminin azaltılması enerji verimliliği ve rekabet açısından oldukça önemli bir husustur. Bu çalışmada bir cam temperleme fırınının enerji analizi yapılmaya çalışılacak ve veriminin iyileştirilmesi yöntemleri gösterilmeye çalışılacaktır.

2. ENDÜSTRİYEL FIRINLARIN ENERJİ ANALİZİNDE KULLANILACAK BAĞINTILAR

2.1 Kütlenin Korunumu

Bir sistem için kütlenin korunumu en genel halde aşağıdaki gibi yazılabilir [2].



Şekil 1. Kütle Dengesi İçin Genel Şekil

$$\sum_{i=1}^{n} m_g - \sum_{j=1}^{m} m_j = \left(\frac{dm}{dt}\right)_{sistem} \tag{1}$$

Eğer sistemde kararlı rejim söz konusu ise sisteme giren ve çıkan kütlelerin zamanla değişmediği durum söz konusu olacaktır ve sistem içinde bir birikme olmayacağı için kütlenin korunumu aşağıdaki şekilde yazılabilir.

$$\sum_{i=1}^{n} m_i - \sum_{j=1}^{m} m_j = 0 \tag{2}$$

Eğer sistem içinde kimyasal reaksiyon gerçekleşiyorsa örneğin yanma prosesleri gibi bu durumda sistemden çıkan ürünlerin bileşenleri ve miktarlarının belirlenmesi gerekir. Bunun içinde ilgili bağıntıların kullanılması gerekir. Yanma durumu söz konusu ise yanma denklemleri ve yanmanın dışında kimyasal reaksiyon gerçekleşiyorsa onunda reaksiyon denklemleri açık bir şekilde yazılmalı ve bileşen hesaplamaları ona göre yapılmalıdır. Örneğin fırınlarda fırına enerji genellikle fırın içinde yakıtın yakılması veya yakıttan elde edilen buhar yardımıyla aktarılır.

En genel halde stokiyometrik miktarda hava ile karbon, hidrojen ve oksijen içeren bir yakıtın yanması sonucu, C, H, O ve N atomlarının atom dengesinden aşağıdaki genel ifade elde edilebilir.

$$\begin{aligned} &C_\alpha H_\beta O_\gamma + \left(\alpha + \frac{\beta}{4} - \frac{\gamma}{2}\right)(O_2 + 3.76 N_2) \rightarrow \\ &\alpha CO_2 + \left(\frac{\beta}{2}\right) H_2O + 3.76\left(\alpha + \frac{\beta}{4} - \frac{\gamma}{2}\right) N_2 \end{aligned} \tag{3}$$

Bu bağıntıdaki α, β ve γ yakıtın bir molekülündeki karbon, hidrojen ve oksijen atomlarının sayısını göstermektedir. Ayrıca α, β ve γ karbon, hidrojen ve oksijenin mol yüzdelerini de ifade etmektedir. Fazla hava yüzdesi veya hava fazlalık katsayısı,

$$\% \, Fazla \, Hava = \frac{100.(m_h - m_{hs})}{m_{hs}} = \frac{100.(n_h - n_{hs})}{n_{hs}} = \frac{100.(n_{O_2} - n_{O_2(s)})}{n_{O_2(s)}} \quad (4)$$

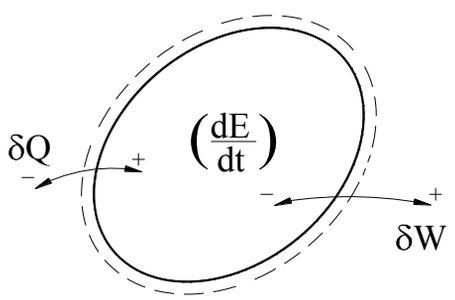
Bağıntısı yardımıyla hesaplanır. Fazla hava miktarı yanma sonucu elde edilen ürünlerin kompozisyonları ölçülerek de elde edilebilir. Ölçülen mol miktarlarından hareketle, yanmadan arta kalan miktarların fazla olacağı yaklaşımıyla

$$\% \, Fazla \, Hava = 100.\left[\frac{(n_{O_2})_{bg}}{((n_{N_2})_{bg}/3.76) - (n_{O_2})_{bg}}\right] \quad (5)$$

şeklinde elde edilir.

2.2 Enerjinin Korunumu

Şekil 2'de kapalı bir sistem görülmektedir. Bu kapalı sistem için termodinamiğin birinci kanunu uygulanırsa [3],



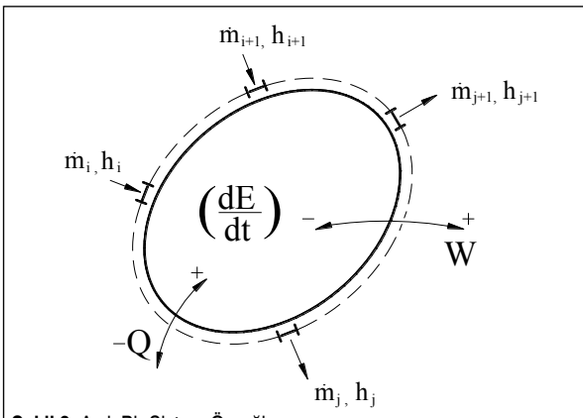
Şekil 2. Kapalı Bir Sistem Örneği

$$\delta \dot{Q} - \delta \dot{W} = \left(\frac{dE}{dt}\right)_{sistem} \quad (6)$$

bağıntısı elde edilir. Bu bağıntıda δQ, sisteme iletilen ısıyı, δW, sistemden üretilen işi, eşitliğin sağındaki terimde sistemin enerjisindeki değişmeyi ifade etmektedir.

Açık sistem içinde termodinamiğin birinci kanunu Şekil 3 esas alınarak, en genel durum için aşağıdaki gibi yazılabilir [3].

$$\left(\frac{dE}{dt}\right)_{sistem} = \sum_{i=1}^{n} \dot{m}_i \left(h + \frac{V^2}{2} + gZ\right)_i - \sum_{j=1}^{p} \dot{m}_j \left(h + \frac{V^2}{2} + gZ\right)_j + \sum \dot{Q} - \sum \dot{W} \quad (7)$$



Şekil 3. Açık Bir Sistem Örneği

Bazı durumlarda çözümlerin sürekli rejim şartlarında zamandan bağımsız olarak elde edilmesi gerekebilmektedir. Bu durumda ilgili denklemlerdeki zamanla ilgili terim, devre dışı kalmaktadır. Sistemler ısı alış verişinde bulunmayabilir veya iş alışverişi yapmayabilir ya da sisteme giren çıkan kütlelerin hızından dolayı olan kinetik enerjiler ihmal edilebilir ayrıca potansiyel enerji değişimi olmadığı varsayılabilir. Sisteme giriş çıkışlar tek hat üzerinden olabilir. Bu durumlarda denklem daha basit ifadelere indirgenebilmektedir.

Ayrıca bazı basitleştirici yaklaşımlar yapılarak zaman bağlı problemler de çözülebilir. Bu durumda sistemdeki değişim başlangıç ve son hâl arasında yazılırsa aşağıdaki ifade elde edilir [3].

$$\sum_{i=1}^{n} \dot{m}_i \left(h + \frac{V^2}{2} + gZ\right)_i - \sum_{j=1}^{p} \dot{m}_j \left(h + \frac{V^2}{2} + gZ\right)_j + \sum \dot{Q} - \sum \dot{W} = \left[m_2\left(u_2 + \frac{V_2^2}{2} + gZ_2\right) - m_1\left(u_1 + \frac{V_1^2}{2} + gZ_1\right)\right]_{\substack{kontrol \\ hacmi}} \quad (8)$$

Kimyasal reaksiyonların gerçekleştiği sistemlere enerji korunumu kanunu uygulanırken reaksiyonun gerçekleşmesi sonucu açığa çıkan veya sisteme ilave edilmesi gereken ısılarda (oluşum entalpileri de) göz önünde bulundurularak denklemelere ilave edilmelidirler.

2.3 Fırınların Enerji Analizinde Kullanılabilecek Diğer Bağıntılar

Enerji analizinde sistemdeki entalpilerin bir referans sıcaklığın temel alınarak hesaplanması oldukça önemlidir. Farklı kaynaklardan alınan entalpi değerleri farklı referans sıcaklıkları için hazırlanmış olabilir aynı referans sıcaklığındaki entalpi değerleri esas alınmazsa hesaplamalar hatalı olacaktır. Bu yüzden enerji analizlerine başlamadan önce bir (0 °C, 20 °C, 25 °C veya çevre sıcaklığı) referans sıcaklığı olarak se-

çilmeli ve tablolardan alınan değerler, bu referans sıcaklığına dönüştürülmeli.

Yakıtla sisteme beslenen enerji

$$\dot{Q}_{ya} = \dot{m}_y \left(H_o + C_{ya}(T_{ya} - T_r) \right) \quad (9)$$

Eğer baca gazında su buharının yoğuşması sonucu kullanılan ısı hesaba katılıyorsa; sisteme yakıtla beslenen enerjide yakıtın üst ısıl değeri esas alınmalıdır.

Havanın ve baca gazının entalpilerinin hesabı

Hava ve baca gazları içeriğinde su buharı bulunduğu için entalpilerinin hesabında nemin de hesaba katılması gerekir.

$$\dot{Q}_g = \dot{m}_g \left[C_g(T_g - T_r) + \left(w\,(C_{sb}(T_g - T_r) + 2501,6 \right) \right] \quad (10)$$

Kuru baca gazı için sabit basınçtaki özgül ortalama yaklaşık (Cg)=1,0 (kJ/kg K) alınabilir. Yine aynı yaklaşımla su buharının özgül ısısı (Csb)=1,9 (kJ/kg K) olarak kullanılabilir. Unutulmamalıdır ki sıcaklık aralığı büyük olan sistemlerde, bu denklemlerde sıcaklığın fonksiyonu olan özgül ısı denklemleri kullanılmalıdır.

Malzeme akışlarıyla ilgili enerjinin hesaplanması

Fırınlara beslenen malzemeler bir ön ısıtmadan geçirilerek fırına sevk edilebilir. Ayrıca fırında ısınmış malzemeler, fırını terk ederken dış ortama enerji taşımaktadırlar. Bu enerjilerin miktarı aşağıdaki denklem yardımıyla hesaplanabilir.

$$\dot{Q}_m = \dot{m}_m C_m (T_m - T_r) \quad (11)$$

Eğer özgül ısı sıcaklığın fonksiyonu ise ilgili denklemde yerine yazılarak ilgili sıcaklık sınırları arasında elde edilen bu integral çözülmelidir.

Sıcak Yüzeylerde Kaybolan ısı miktarı

Sıcak yüzeyler bulundukları ortama ile ışınım ve taşınım yoluyla ısı alış verişinde bulunur. Bu ısı alışverişi aşağıdaki bağıntı yardımıyla hesaplanır [4], [5].

$$\dot{Q}_{kayıp} = (u_{taş} + u_{ışıma})\, A (T_y - T_o) \quad (12)$$

Fırınların yüzeyinden ısı taşınım katsayısı doğal taşınım ve türbülanslı akış için aşağıdaki ifade kullanılabilir [5].

$$u_{taş} = 1,32 \sqrt[3]{\Delta T} \quad (13)$$

Fırınların yüzeyinden ışınımla ısı geçişini hesaplayabilmek için kullanılan ışınıma eşdeğer ısı taşınım katsayısı için aşağıdaki ifade kullanılabilir [5].

$$u_{ışıma} = \left(\frac{\varepsilon\sigma}{T_y - T_o} \right) \left(T_y^4 - T_o^4 \right) \quad (14)$$

3. ÖRNEK İNCELENEN CAM TEMPERLEME FIRINI

Temperleme işlemi yatay hat üzerinde camın dış yüzeylerine basınç gerilimi, cam ortasına ise dolaylı bir çekme gerilimi kazandırmak için ısıtma ve soğutma aşamalarını içerir. Temperli cam işlemsiz cama göre yaklaşık beş kat daha dayanıklı olup; kırıldığı zaman çok küçük parçalara ayrılarak yaralanma riskini azalttığından güvenlik camı olarak kullanıma uygundur.

Temper işleminden sonra camlara herhangi bir kesim, delik delme, kenar ve yüzey işlemi yapılamaz (kumlama hariç) [10].

Yalnızca bazı bakış açıları ve ışık koşullarında fark edilebilen "temperleme izleri" ile "kamburluk" ve "dönüklük" toleransları içinde kalmak kaydıyla ortaya çıkan distorsiyonlar, ısıl işlemin kaçınılmaz ve önlenemeyen sonucudur. Temperleme işlemi sırasındaki hassas bir ısı rejimi uygulamasıyla minimuma indirilmiş izler, başlı başına bir kusur olarak nitelendirilmemektedir [10].

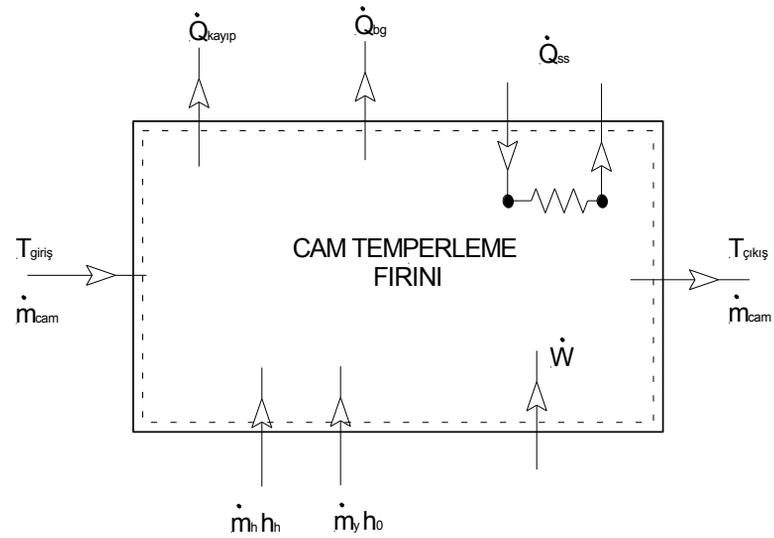
Temperlemenin değişik şartlarda yapılmasının temperlemeye etkisi konusunda bir dizi çalışma yapılmıştır [6].

Temperleme işlemindeki temel problemlerden bir tanesi de temperleme maliyetlerinin yüksek olmasıdır. Bunun nedeni ise temperleme de yakıt sarfiyatının yüksek olması ve fırının verimsiz çalışması gösterilebilir. Bununla birlikte uygun stratejiler uygulanıp atık enerjiler geri kazanılarak fırına katkı sağlanabilir [8].

Şekil 4'te temperleme fırının genel bir resmi görülmektedir. Temperleme işlemi, homojen olarak yaklaşık 720°C sıcaklığına sahip bir fırının içerisinde çevre şartlarında cam levhaların konveyör yardımıyla beslenmesiyle başlamakta; fırın içerisinde yaklaşık 680-700 °C sıcaklığa ulaşarak fırını terk etmesi ve fırının çıkışında yüksek hıza sahip hava ile ani soğutulması işlemidir. Fırın değişik noktalardan yakıcılarla ısıtılan ve havayı homojen hâle getiren homojen fanlarıyla donatılmış ve dört noktasından sıcak gazları dışarı tahliye eden baca sistemi ve üzerinde bir davlumbazla bu gazları toplayarak dışarı sevk eden davlumbaz bacasından oluşmaktadır. Ayrıca homojenizasyon fanlarının yataklarını suyla soğutan bir sisteme sahip olup bu suyun ısısı dışarıdaki bir soğutma kulesi yardımıyla atmosfere atılmaktadır. Bu çalışmada sadece temperleme fırın ünitesinin enerji analizi yapılacaktır.

Temperleme fırının sistem olarak ele alındığı ve kütle ile enerji akışlarının ifade edildiği şema Şekil 5'te verilmiştir.

Şekil 4. Cam Temperleme Fırınının Genel Görünümü



Şekil 5. Cam Temperleme Fırını İçin Kütle ve Enerji Akışlarının Genel Görünümü

Temperleme işlemi camların fırına yüklenmesini sağlayan fırın öncesi bir konveyör daha sonra fırın ve fırın çıkışında da yüksek hızda ani soğutma işlemleriyle gerçekleşmektedir.

Bu sisteme giren enerji olarak yakıtla giren enerji (Q_y), brülör fanlarıyla iletilen mekanik enerji (W), fırının arkasına yerleştirilmiş fırın içi hava fanlarının tükettiği enerji sayılabilir. Çıkan enerjiler ise; malzemeyle çıkan enerji (Q_m), baca gazı ile dışarı atılan enerji (Q_{bg}), arka fanları soğutmak için kullanılan soğutma suyu ile çekilen ısı ve yüzeyden kaybolan ısı ($Q_{yüzey}$) olarak ifade edilebilir.

3.1 Cam Temperleme Fırını İçin Yapılan Ölçümler ve Enerji Dengesi

Karalı rejimde çalışma durumunda ve (4) numaralı denklem esas olmak üzere temperleme fırını için enerji dengesi aşağıdaki bağıntı şeklinde yazılır.

$$\dot{Q}_y + \sum \dot{W} + \dot{Q}_{camgiren} + \dot{Q}_{hava} = \dot{Q}_{camcık} + \dot{Q}_{bg} + \dot{Q}_{ss} + \dot{Q}_{kayıp} \qquad (15)$$

Bu örnek için ilgili fabrikada cam temperleme biriminde gerekli ölçümler yapılarak ekteki tablo doldurulduktan sonra ve gerekli hesaplamalar yapılarak temperleme fırınının verimi çıkartılıp bu verimin yükseltilmesi için yapılması gerekenler tartışılacaktır.

Temperleme fırınıyla ilgili yapılan ölçüm sonuçları aşağıdaki tablolarda verilmiştir.

Şekil 6' dan, 7'ye kadar temperleme fırının çeşitli kısımlarından alınan termal kamera görüntülerinden görüleceği fırın yüzeyinden, ısı kaybı ve çeşitli kısımlarındaki ısı kaçakları oldukça fazladır ve fırın yüzeyinde yer yer 450 °C çıkan sıcaklıklar bulunmaktadır. Bu yüksek sıcaklığın bulunduğu bölgeler, aynı zamanda fırın içerisinden atmosfer havasına sızıntının en yoğun olduğu bölgelerdir.

Tablo 1. Baca Gazı Sıcaklığı ve Analizi Ölçüm Sonuçları

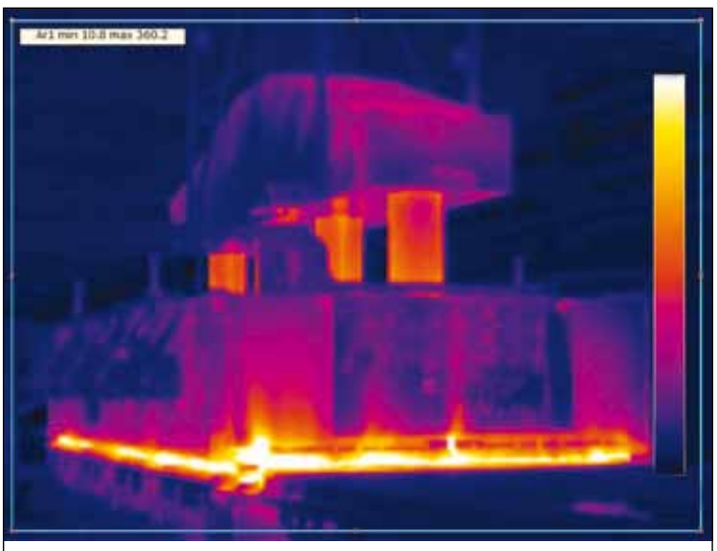
Baca gazı sıcaklığı (°C)	549
% O_2	8,1
CO (ppm)	164
% CO_2	7,18
Hava Fazlalık Katsayısı %	1,63

Tablo 2. Diğer Ölçüm Sonuçları

Ortam sıcaklığı (°C)	15,8
Bağıl nem (%)	45,6
Doğal gaz tüketimi (Nm^3/h)	102
Temperlenen cam miktarı (kg/h)	1973
Ton başına yakıt tüketimi (Nm^3/h Ton)	51,7
Ürün çıkış sıcaklığı (°C)	620

Tablo 3. Fırın Yüzey Alanları ve Ortalama Yüzey Sıcaklıkları

Yüzey	Alan (m^2)	Ortalama yüzey sıcaklığı (^0C)
Sol Yan Yüzey	17,8	56,93
Sağ Yan Yüzey	17,8	68,04
Ön Giriş Yüzeyi	7,26	91,25
Arka Çıkış Yüzeyi	7,26	105,83
Fırın Üst Yüzeyi	26,7	95,12
Sol Yan Yüzey Roller	3,24	450
Sağ Yan Yüzey Roller	3,24	450



Şekil 6. Temperleme Fırınından Termal Kamerayla Alınan Genel Bir Görüntü

Tablo 4. Temperleme Fırınındaki Enerji Akışları

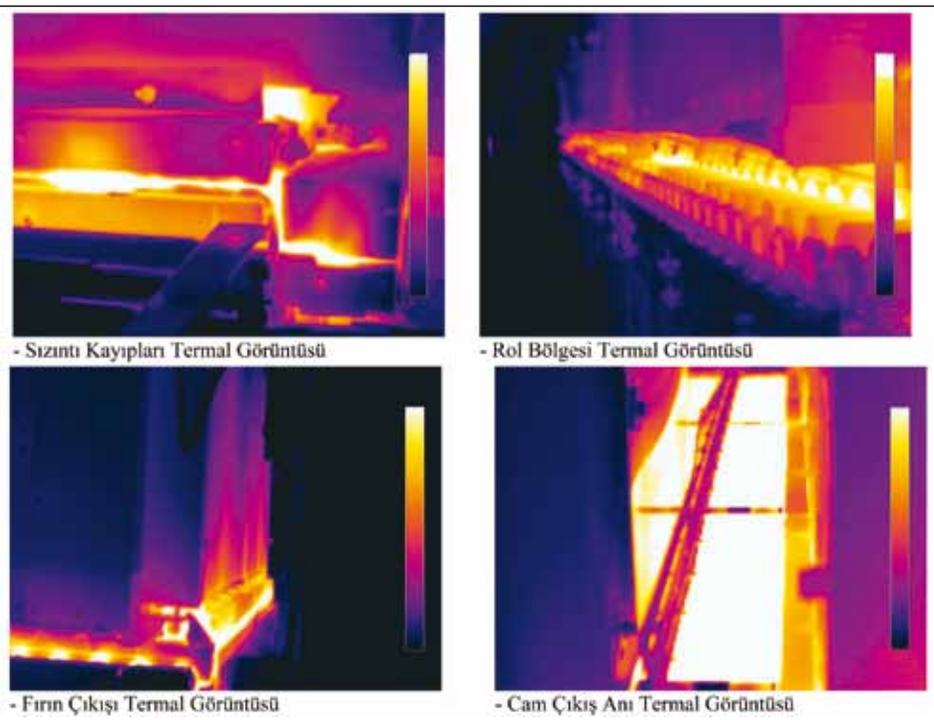
Enerji akışı	Miktar(*kJ/h*)
Yakıtla Beslenen Enerji	3.522.570,00
Elektrik Enerjisi Olarak Sisteme Giren Enerji	151.020,00
Cama Aktarılan Enerji	596.043,30
Fan Yatakları, Soğutma Suyu ile Sistem Dışına Taşınan Enerji	83.050,00
Baca Gazı Kayıpları	1.573.554,68
Rol Yüzeylerinden Olan Kayıplar + Yüzey Kayıpları	679.121,57
Diğer Kayıplar	741.820,45

3.2 Temperleme Fırının Enerji Analizi Sonuçlarının Değerlendirilmesi

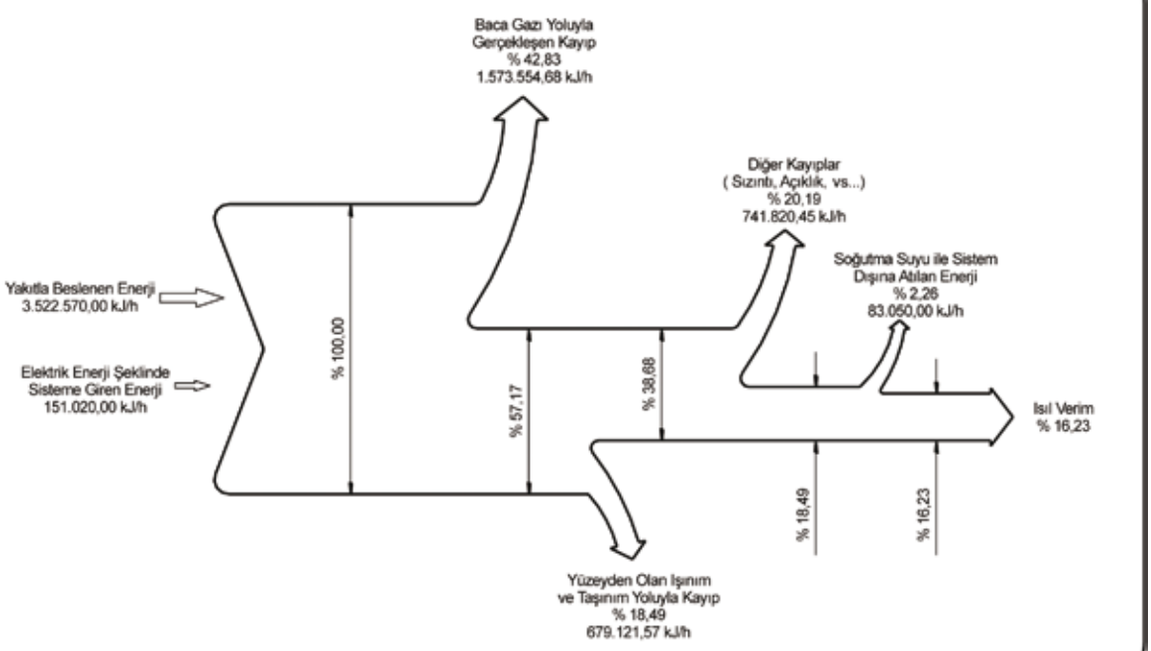
Temperleme fırının verim hesaplaması aşağıdaki denklem yardımıyla yapılır.

η= (Temperleme fırınında malzemeye aktarılan enerji / fırına beslenen enerji)

Örnek aldığımız temperleme fırınının verimi Sankey diyagramından da görüleceği gibi,



Şekil 7. Cam Temperleme Fırınında Çeşitli Kayıpların Termal Kamerayla Tespiti



Şekil 8. Temperleme Fırının Enerji Akışının Sankey Diyagramında Gösterilmesi

$$\eta = \frac{596.043,30}{3.673.590,00} = \%\,16,23$$

şeklinde elde edilir.

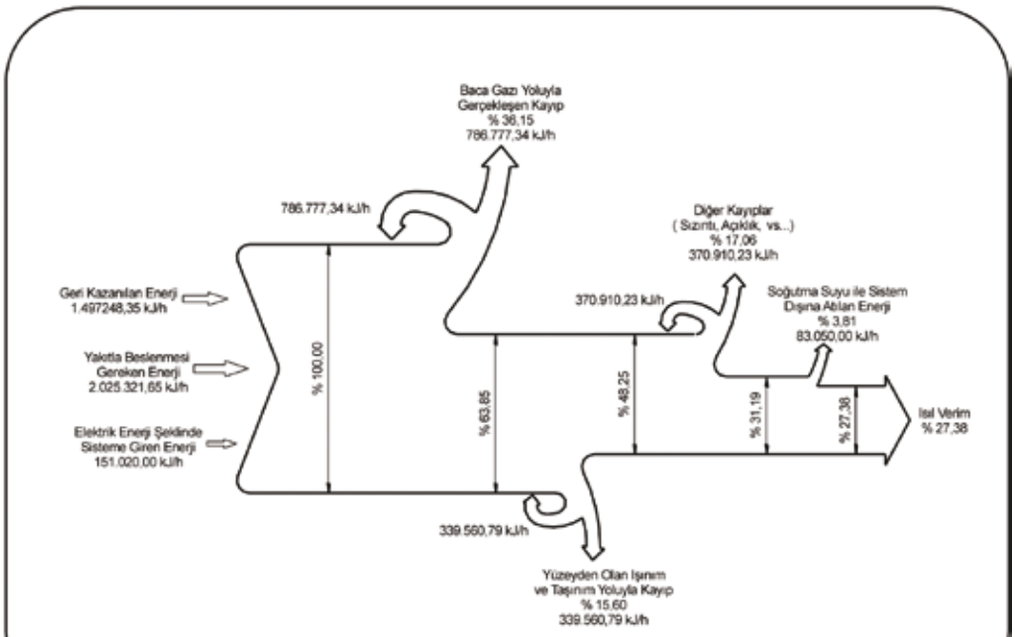
Sankey diyagramından görüleceği gibi baca gazı kayıpları ile fırın yüzey ve sızıntı kayıpları fırının verimini düşüren kayıpların başında gelmektedir. Fırının verimini artırmak için alınacak tedbirlerin başında baca gazı ısısının geri kazanılarak yakma havasının ısıtılması veya fırına beslenen camın ön ısıtılmasını sağlamak olabilir [8]. Yakma havasının baca gazından kazanılan ısıyla ön ısıtılması, brülör sayısının fazla olması ve baca gazıyla ısıtılacak havanın bir ısı değiştirgecinde enerjisi geri kazanılarak kanallarla brülörlerin bulunduğu bölümlere getirilmeleri, sistemi daha karmaşık hâle getirmesiyle beraber geri kazanılacak ısı miktarını da sınırlamaktadır. İkinci bir yol ise fırınlarda uygulama alanı bulmuş olan rekü paratörlü yakıcıların kullanılmasıdır [7], [9]. Fırın yüzey sıcaklıklarını daha da düşürmek için fırının yalıtımının gözden geçirilmesi ve yalıtımın zayıf olduğu bölgeler güçlendirilmelidir. Tambur yataklarının olduğu kısımlar ile açıklık kısımları için özel tedbirler düşünülmelidir. Bu kısımlarda ışıma, kalkanlı ve özel kanal içine alınmalı ve soğutma gereken kısımlar içinde buraların soğutulması için kullanılan havaya yüklenen enerjinin bir şeklide geri kazanılarak fırına beslenmelidir. Baca gazını ve fırını terk eden ısının yarısının fırına tekrar geri kazanılarak beslendiğini ve fırın yüzeyinden ısı geçişi ve sızıntıyla olan kayıpların yarısının önlenebildiği göz önünde bulundurulursa fırının yeni verimi aşağıdaki gibi elde edilir.

$$\eta = \frac{596.043,30}{\left(3.673.590,00 - \frac{1.573.554,68}{2} - \frac{679.121,57}{2} - \frac{741.820,45}{2}\right)} = \%\,27,38$$

Bu yöntemlerin dışında fırında kullanılan hava fazlalık sayısının fırın için uygun olup olmadığı azaltılma yollarının bulunup bulunmadığı incelenmelidir. Fırınlarda kullanılan hava fazlalık sayısı yakmayı verimli gerçekleştirmenin yanında fırında arzu edilen proses sıcaklığını ayarlamak için de kullanılır.

Diğer taraftan fırının nominal cam temperleme kapasitesi ve fırının işletildiği kapasitede de enerji verimliliği açısından önemli parametrelerden biridir. Ayrıca camı temperleme işlemini daha verimli yapabilecek yeni bir fırın tasarımıyla birlikte elektrikli temperleme fırınıyla daha verimli temperleme imkanı bulunup bulunmadığı da ayrıca incelenmelidir.

Fırının bu haliyle atık ısılarından faydalanarak fırının verimini artırmak maliyetli ve uygun görülmüyor olabilir. Bu durumda hiç olmazsa baca gazı ısısı yardımıyla işletmenin diğer işlerinde ısıtma, mutfak ve benzeri işlerde kullanılabilecek sıcak su üretimi gerçekleştirilebilir. Ayrıca yazın absorbsiyonlu soğutma cihazı bu atık ısıyla çalıştırılarak yine işletmenin klima cihazlarında soğutma için tükettiği enerjinin önemli bir kısmı tasarruf edilebilir.



Şekil 9. Temperleme Fırınında Geri Kazanımlar Sonrası Enerji Akışının Sankey Diyagramında Gösterilmesi

4. TARTIŞMA VE SONUÇLAR

Temperleme fırınının enerji analizinde fırının ölçülen şartlarda çalışması durumunda veriminin %16,23 değerinde olduğu ve kayıpların önemli bir kısmının, fırınının baca gazıyla taşınan enerjisi ve yüzey ile sızıntı kayıplarından olduğu ve bu kayıpların yarısının sisteme geri kazandırılmasıyla fırının veriminin % 27,38 değerine çıktığı görülmektedir. Bununla beraber fırının verimliliğini artırmak için diğer yöntemlerinde gözden geçirilmesi gerekmektedir. Endüstriyel fırınların enerji verimlerinin iyileştirilmesiyle bu sektördeki sanayicinin rekabet gücünün artacağı, birincil enerji kaynaklarının korunacağı ve iklim değişikliğine olan etkinin azaltılabileceği görülmektedir.

SEMBOLLER

A	:	Taşınım yüzey alanı (m^2)
C	:	Özgül ısı (kJ/kg K)
h	:	entalpi (kJ/kg)
H	:	Yakıtın ısıl değeri
$\dot{m}$	:	debi (kg/h)
Q	:	ısı
T	:	sıcaklık (K)
U	:	ısı taşınım katsayısı (W/m^2K)
w	:	özgül nem (kgH_2O/ kg kuru gaz)
W	:	iş
V	:	hız (m/s)
Z	:	referans düzleme göre yükseklik
σ	:	Stefan – Bolzman sabiti (5.6697x10-8 W/m^2K^4)
ε	:	yüzey ışınım yayma katsayısı

Alt indisler

g	:	gaz
m	:	malzeme
o	:	alt, çevre
r	:	referans
taş	:	taşınım
ü	:	üst
y	:	yüzey
ya	:	yakıt

KAYNAKÇA

1. International Energy Agency, Key World Energy Statistics Report, 2010.
2. **Topbaş, M., A.** 1992. Endüstri Fırınları, 2.Cilt, Yıldız Üniversitesi.
3. **Çengel, A., Y., Boles, M., A.** 1994. Thermodynamics an Engineering Approach, McGraw Hill.
4. **Incropera, F., P., De Witt, D.P.** 2002. Fundamentals of Heat and Mass Transfer, Fifth edition, John Willey and Sons, New York.
5. TS EN ISO 12241, Bina Donanımları ve Endüstriyel Tesisatlar İçin Isıl Yalıtımı – Hesaplama Kuralları, Nisan 2009.
6. **Türkbaş, S., Ataer, Ö.E.** 2007. "Camın Temperlenmesinde Isıtma ve Soğutma Süreçlerinin Karışık Sınır Şartlarında Sayısal Modellenmesi", Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Dergisi, Cilt 22, No:4, 727-738.
7. **Charles, E., B.** 2003. Industrial Burners Handbook, CRC Press.
8. US Department of Energy, Waste heat Reduction and Recovery for Improving Furnace Efficiency, Productivity and Emissions Performance, Washington DC.
9. http://docuthek.kromschroder.com, son erişim: Mart 2012
10. http://www.yildizcam.com.tr/TR/urunler-temperli-cam.php, son erişim: Mart 2012