

Makalenin Geliş Tarihi : 26.04.2009
Makalenin Kabul Tarihi : 25.09.2009

FIRINLARIN İLAVE YALITIMLA ENERJİ TÜKETİMLERİNİN AZALTILMASI

Ümran ERÇETİN¹

ÖZET: Enerji maliyetleri, fabrikaların üretim tipine bağlı olarak üretim maliyetlerinin büyük bir kısmını oluşturmaktadır. Seramik ve porselen sektöründe de, proses içindeki yoğun kurutma ve pişirme işlemlerinden dolayı, oldukça yoğun enerji tüketimi söz konusudur. Bu çalışmada, bir porselen fabrikasının sır ve bisküvi fırınlarındaki enerji tasarrufları ve enerjinin geri kazanılabilirliği araştırılmıştır. Bu amaçla sır ve bisküvi fırınlarının yüzey sıcaklıkları ve fırın yüzeylerinden kaybolan ısı miktarı tespit edilip, ilave yalıtım malzemesi uygulandığında sağlanabilecek enerji tasarrufu miktarı hesaplanmıştır.

ANAHTAR KELİMELEER: Doğal taşınım, yalıtım, fırın, enerji tasarrufu.

REDUCING OF THE ENERGY CONSUMPTIONS OF THE FURNACES BY ADDITIONAL INSULATION

ABSTRACT: Energy has a great percentage in the production costs according to variety of production type. Because of intensive drying and aging operations, there is a lot of energy consumption in the ceramic and porcelain industries. In this study, energy saving in silvering and biscuit furnaces of a porcelain factory and recycling of the saved energy have been investigated. For this purpose, the surface temperatures of silvering and biscuits furnaces have been measured and heat rate transferred through furnace surfaces has been determined. Energy saving rate has been investigated by adding an additional insulation material to the furnace surfaces.

KEYWORDS: Natural convection, insulation, furnace, energy saving.

¹ Dumlupınar Üniversitesi, Mühendislik-Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, KÜTAHYA

I. GİRİŞ

Bir fabrikadaki üretim maliyetleri; hammadde, işçilik, işletme ve enerji maliyetlerinden oluşur. Enerji maliyetleri incelendiğinde; metal sanayi başta olmak üzere taş ve toprağa dayalı sanayi, kimya, petrol, kömür, kauçuk ve plastik sanayinde enerji maliyetleri en yüksektir. Araştırmalara göre sektörlerin enerji tüketim yüzdeleri sırasıyla, metal sanayisinde %35, taş ve toprak sanayisinde %22, kimya, petrol ve plastik ürünleri sanayilerinde %19, gıda, içki ve tütün sanayilerinde %9, dokuma, giyim eşyası ve deri sanayilerinde %8 ve diğerlerinde de %7'dir [1]. Enerji kaynaklarının gün geçtikçe azalması ve enerji kullanım fiyatlarının da sürekli artması, fabrikaları, enerjinin nasıl daha verimli kullanılabileceğine dair çalışmalara yöneltmiştir. Enerji tasarruf yöntemleri uygulayan fabrikalar, bu sayede ürettikleri ürünlerini eskisine göre daha ucuza mal edebilmektedirler. Böylece, aynı üretimi yapan fabrikalar arasında enerji tasarruf yöntemlerini uygulayan fabrikaların rekabet gücü artmaktadır.

Enerji tasarrufu için yapılacak prosesler veya uygulanabilecek yöntemler düşük maliyetli olabileceği gibi büyük değerlere de çıkabilir. Ancak bu prosesler kendi yatırım maliyetlerini kısa zamanda geri ödeyebilmektedir [1].

II. MATERYAL VE YÖNTEM

Seramik sektöründeki fabrikalar arasında yapılan bir değerlendirmede, yakıt tüketimlerinin % 55'inin pişirme fırınlarında, % 40'ının ise kurutma fırınlarında tüketildiği, fırınlardan çıkan en büyük ısının baca gazı ve soğutma havası ile gerçekleştiği tespit edilmiştir [1].

Bu amaçla bir porselen fabrikasının ön kurutma, bisküvi ve sır fırınlarının baca ve fırın yüzeylerinden olan kayıpları incelenmiş olup, burada sadece fırın yüzeylerinden kaybedilen enerji miktarları verilmiştir.

Hesaplamalarda her modülünün (fırının bölümleri) 12 farklı noktasından yüzey sıcaklıkları ölçülerek ortalama bir yüzey sıcaklığı kabulü yapılmış ve ölçümler yaz aylarında yapıldığı için ortam sıcaklığı da 27 °C kabul edilerek, doğal taşınım durumunda ilgili bağıntılar kullanılarak, her modülü 2 m genişliğinde ve 1,5 m yüksekliğinde olan sır ve bisküvi fırınlarının modüllerinin dikey yan yüzeylerinden kaybedilen enerji miktarları hesaplanmıştır.

Daha sonra mevcut durumdaki yapıya ilave olarak yapılan 0,7 mm'lik sac kaplı 3 cm'lik cam yünü levhalı yalıtım ile fırın yüzeyinin kaplanması durumunda, sabit taşınım katsayısı ve ortam sıcaklığı kabulü yapılarak, ortama kaybedilecek enerji miktarı yeniden hesaplanarak ilk duruma göre tasarruf edilebilecek enerji miktarları bulunmuştur.

Ön kurutma fırınının yüzey sıcaklıkları ortam sıcaklığına yakın olduğundan dolayı bu fırın için herhangi bir enerji kaybı hesabı yapılmamıştır.

II.1. Ön Kurutma Fırınının İncelenmesi

Şekillenen mamüller bisküvi arabalarına yüklenmek suretiyle ön kurutma fırınına gönderilir. Bu fırının girişindeki sıcaklık 45 °C'dir ve bu sıcaklık fırın sonuna kadar kademeli olarak 115 °C'ye çıkarılmaktadır. Ön kurutma fırını için gereken ısı, bisküvi fırınının ısı gruplarından fan vasıtasıyla çekilen sıcak havanın, çeşitli noktalardan bu fırına verilmesiyle sağlanmaktadır. Böylece şekillendirilmiş ürünlerin nem miktarlarının ön kurutma sonunda % 1'in altına düşürülmesi gerçekleştirilmektedir. Ürünlerin çok nemli olması ve kurutma sıcaklığının yeterli gelmemesi durumuna karşı, ön kurutma bölümündeki 1 adet brülör yardımıyla, bu bölümün sıcaklığı 160 °C'ye kadar çıkarılabilmektedir.

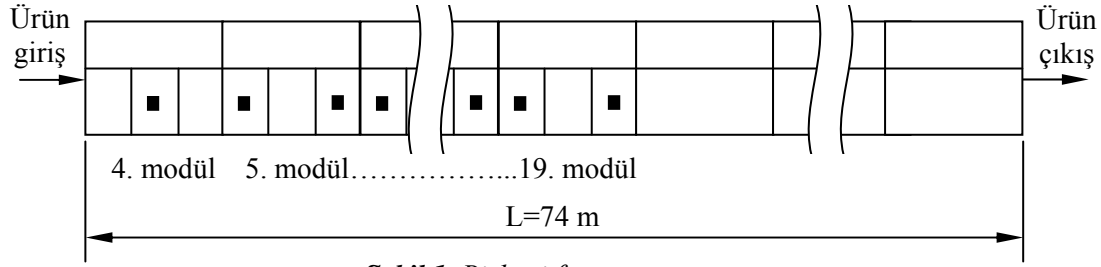
II.2. Bisküvi Fırınının İncelenmesi

Şekillendirilmiş, kurutulmuş ancak henüz sırlanmamış seramik ürünlere bisküvi denir. Ön kurutmadan çıkan bisküviler pişirme için bisküvi fırınına girer. Pişirme fırınının giriş sıcaklığı ortalama 100 °C'den başlamakta ve 6 metre boyunca kademeli olarak yükseltilmektedir. Bu sıcaklık artışı, bisküvi fırınının emiş bacalarından fan yardımıyla emilen sıcak gazın bu bölüme aktarılmasıyla elde edilmektedir. Emiş bacaları, pişirme fırınına giren mamüllerin bünyesinde düşük sıcaklıkta yanabilir maddelerin yanmasıyla oluşan gazların dışarı atılmasını sağlamaktadır. Emiş bacalarından çıkan ve geri kazanılmayan sıcak gazlar ise daha sonra ana bacada toplanarak atmosfere verilmektedir. Fırının ilk kısımlarında geri kazanım ile artırılan sıcaklıklar, ısı gruplarına gelindiğinde brülörler vasıtasıyla gaz ve havanın belirli oranlarla karıştırılarak yakılmasıyla düzenli bir şekilde yükseltilerek, fırının ilk ısı grubunda 350 - 400 °C'ye, 2. grupta 550 °C'ye, 3. grupta ise 800 °C'ye ve 4. grupta 970 °C'ye çıkartılır.

Son ısı bölgesinden çıktıktan sonra tamamen pişmiş olan ürün, soğutma bölgesine girer. Bu sırada fırın sıcaklığı, soğutma bölgesinden kademeli olarak bacalar vasıtasıyla çekilen ısı sayesinde fırın çıkışında 100 °C'ye kadar düşürülür. Soğutma bacaları tarafından geri kazanılan bu ısı ön kurutma fırınına verilerek yeni giren şekillenmiş, nemli ürünlerin neminin alınmasında kullanılmaktadır.

Aşağıda bisküvi fırının teknik özellikleri verilmekte ve modülleri Şekil 1'de gösterilmektedir.

Uzunluk	: 74 m
Kullanılabilir genişlik	: 2,44 m
Kullanılabilir yükseklik	: 0,5 m
Araba uzunluğu	: 1,45 m
Kullanılabilir araba uzunluğu	: 1,40 m
Kullanılabilir araba genişliği	: 2,44 m
Fırın içindeki araba sayısı	: 51 adet
Çalışan toplam araba sayısı	: 150 adet
Fırının çıkabileceği maks. sıcaklık	: 1100 °C
Kullanılan yakıt	: LPG
Yakıtın ısı değeri	: 46000 kJ/kg
Brülör sayısı	: 56 adet
Isı grup sayısı	: 4 adet
Fırına bağlı elektrik yükü	: 200 kW
Fırına bağlı yakıt yükü	: 2789 kW veya 2400000 kcal/h
İşletme sıcaklığı	: 970 °C
1 araba yükü	: 58,75 kg
1 kg ürün başına tüketilen enerji	: 1700 kcal/kg
Kullanılan brülörler	: RGB 40, 250 m ³ /h hava, 9 m ³ /h gaz, 60 mbar



Şekil 1. Bisküvi fırınının görünüşü.

II.3. Sır Fırınının İncelenmesi

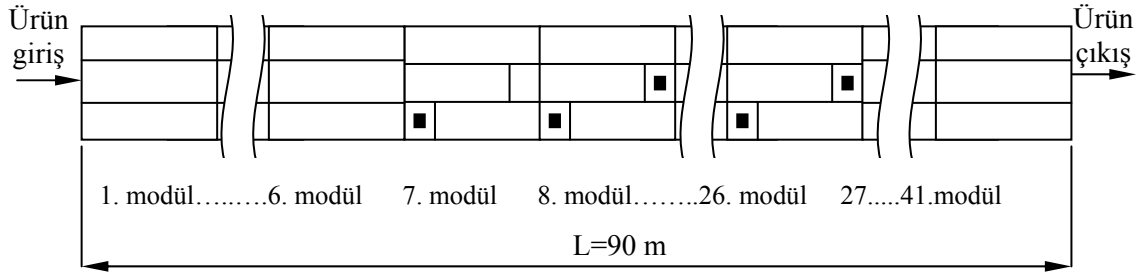
Sır, seramik malzemenin ya doğrudan doğruya yüksek sıcaklıkta kendisinin camlaşması ya da seramik malzeme üzerine sürülen metal oksitlerin, seramik malzemenin pişme sıcaklığında daha düşük bir sıcaklıkta camlaşması suretiyle meydana gelen ve seramik malzemeye belirli yeni özellikler kazandıran bir tabakadır [2].

Bisküvi fırından çıkan ürünler sır fırınına alınır. Sır fırınının ilk 14 metresinde fırının sağında ve solunda emiş bacaları yardımıyla iç kısımlardan emilen sıcak gaz sayesinde sır fırını girişi sıcaklığı 200-250 °C'den başlamakta ve ilk ısı grubu olan 8. modüle kadar 700 °C'ye çıkmaktadır. Sır fırını girişindeki emiş bölümünde, pişirilecek ürünlerin ön ısıtılması esnasında, ürün üzerinde bulunan yabancı maddelerin yanmasıyla oluşan gazlar, emiş bacaları vasıtasıyla dışarı atılır. Böylece fırının ileriki bölümlerinde meydana gelebilecek bir yanma sonucu oluşacak kül vb. etkenlerden ürünlerin zarar görmemesi sağlanır. Sır fırınında ön ısıtılma sonrası yaklaşık 700 °C'de ısı gruplarına giren ürünlerin sıcaklıkları bu bölümden sonra kademeli bir şekilde 1380 °C'ye kadar artırılır ve ürünler sırlanır.

Aşağıda sır fırının teknik özellikleri verilmekte ve modülleri Şekil 2'de gösterilmektedir.

Uzunluk	: 90 m
Kullanılabilir genişlik	: 1,55 m
Kullanılabilir yükseklik	: 0,5 m
Araba uzunluğu	: 1,76 m
Kullanılabilir araba uzunluğu	: 1,65 m
Kullanılabilir araba genişliği	: 1,55 m

Fırın içindeki araba sayısı	: 55 adet
Fırının çıkabileceği maks. sıcaklık	: 1420 °C
Kullanılan yakıt	: LPG
Brülör sayısı	: 78 adet
Isı grup sayısı	: 10 adet
Fırına bağlı elektrik yükü	: 160 kW
Fırına bağlı yakıt yükü	: 4416 kW veya 3800000 kcal/h
İşletme sıcaklığı	: 1380 °C
1 araba yükü	: 58,75 kg
1 kg ürün başına tüketilen enerji	: 3700 kcal/kg
Sır fırınında kullanılan brülörler	: RGB 80, 520 m ³ /h hava, 20 m ³ /h gaz, 60 mbar



Şekil 2. Sır fırının görünüşü.

II.4. Hesaplama Yöntemi

Bir levha, sıcaklığı kendi sıcaklığından farklı bir akışkan içinde bulunuyorsa ısı geçişinden dolayı levhaya dik doğrultuda sıcaklık basamağı oluşur. Bu sıcaklık basamağı; yoğunluk farkına, bu da doğal taşınımına neden olur. Doğal taşınım hareketi de zorlanmış taşınımındaki gibi laminer ve türbülanslı olabilir. Akışın karakteri, zorlanmış taşınımında Reynolds sayısı ile doğal taşınım da ise Grashof sayısı ile belirlenir. Grashof sayısı akışkandaki doğal kaldırma kuvvetinin viskoz kuvvetlere oranı olarak tanımlanır [3, 4].

$$Gr_L = \frac{gL^3 \Delta T \beta}{\nu^2} \quad (1)$$

g : Yerçekimi ivmesi (m/s^2)

L : Levhanın boyu (m)

ΔT : Levha yüzeyi ile akışkan ortam arasındaki sıcaklık farkı (K)

β : Ortalama sıcaklıktaki hacimsel ısıl genleşme katsayısı (K^{-1})

ν : Ortalama sıcaklıktaki kinematik viskozite (m^2/s)

Akışım karakterine göre Grashof sayısı aşağıdaki gibi sınıflandırılmaktadır.

$$Gr < 10^8 \Rightarrow \text{Laminer doğal taşınım}$$

$$10^8 < Gr < 10^9 \Rightarrow \text{Geçiş bölgesinde doğal taşınım}$$

$$Gr > 10^9 \Rightarrow \text{Türbülanslı doğal taşınım}$$

Bu sınıflandırmaya göre, incelenen modüllerin hesaplanan Grashof sayıları $2,12 \times 10^9$ ile $1,82 \times 10^{10}$ arasında değiştiğinden türbülanslı doğal taşınım grubuna girmektedir.

Bir doğal taşınım sınır tabakasında geçiş bölgesi, akışkan içindeki kaldırma ve sürtünme kuvvetlerinin göreceli büyüklüğüne bağlıdır. Bu Rayleigh sayısı ile ifade edilir [3, 4].

$$Ra = Gr Pr = \frac{g\beta(T_s - T_\infty)L^3}{\nu\alpha} \quad (2)$$

Pr : Ortalama sıcaklıktaki Prandtl sayısı

α : Isı yayılma katsayısı (m^2/s)

T_s : Yüzey sıcaklığı (K)

T_∞ : Ortam sıcaklığı (300 K)

$$4.10^8 < Ra < 6.10^{10} \Rightarrow \text{Geçiş bölgesinde doğal taşınım}$$

Düşey levhada doğal ısı taşınımı için yapılan deneylerde, sabit yüzey sıcaklığında, $Ra \leq 10^9$ durumunda 3 numaralı denklem, $10^{-1} < Ra < 10^{12}$ aralığı için ise denklem (4) ile gösterilen ortalama Nusselt sayılarının çok az bir hata ile doğru sonuçlar verdiği Churchill ve Chu tarafından belirlenmiştir [3,4].

$$\overline{Nu} = 0.68 + \frac{0.670Ra^{1/4}}{\left[1 + \left(\frac{0.492}{Pr}\right)^{9/16}\right]^{4/9}} \quad (3)$$

$$\overline{Nu} = \left\{ 0.825 + \frac{0.387Ra^{1/6}}{\left[1 + \left(\frac{0.492}{Pr}\right)^{9/16}\right]^{8/27}} \right\}^2 \quad (4)$$

Ortalama ısı taşınım katsayısı \bar{h} (W/m²K) denklem (5) ile verilmektedir.

$$\bar{h} = \frac{\overline{Nu} \cdot k}{L} \quad (5)$$

burada, k ısı iletim katsayısıdır (W/mK).

Fırınların her bir modülünün farklı noktalarından ölçülen yüzey sıcaklıklarının ortalama bir değeri belirlenerek, Çizelge 1 ve 2’de T_s olarak gürülen, modül sıcaklığı olarak atanan bu yüzey sıcaklığı değerine ve 27 °C ortam sıcaklığına göre yukarıdaki işlemler yapıp, herbir modül için hesaplanan ortalama ısı taşınım katsayısı değerleri, Çizelge 1’de bisküvi fırını ve Çizelge 2’de ise sır fırını için verilmiştir. Bu taşınım katsayılarını (6) numaralı denklemde yerine koyularak her modülden kaybedilen enerji miktarları hesaplanmış, ve Çizelge 1 ve Çizelge 2’de gösterilmiştir.

$$Q = \bar{h}A(T_s - T_\infty) \quad (6)$$

A : Modülün ısı geçişine dik yüzey alanı (m²)

Q : Modülden kaybedilen ısı miktarı (W)

Daha sonra mevcut yalıtıma, 3 cm'lik cam yünü ve bunun üzerine 0,7 mm'lik sacın ilavesi halinde kaybedilecek enerji miktarları, yalıtım sonrası sabit taşınım katsayısı ve 22 °C ortam sıcaklığı kabulü yapılarak yeniden hesaplanmış ve Çizelge 1 ile Çizelge 2'nin en son sütununda belirtilmiştir.

Çizelge 1. Bisküvi fırınının mevcut haldeki ve ilave yalıtımlı durumdaki ısı kayıpları.

Modül	$T_s (^{\circ}C)$	$\bar{h}(W/m^2K)$	$Q_{ilk}(W)$	$Q_{son}(W)$
4	35	2,92	148	76
5	37	3,15	197	88
6	38	3,25	223	93
7	41	3,50	301	110
8	42	3,55	320	114
9	45	3,77	408	131
10	45	3,78	411	132
11	51	4,15	606	168
12	53	4,26	682	181
13	55	4,35	746	192
14	62	4,63	980	231
15	63	4,69	1035	240
16	68	4,86	1212	268
17	73	5,03	1410	298
18	75	5,09	1488	309
19	75	5,07	1468	306
20	73	5,01	1390	295
21	73	5,00	1382	294
22	73	5,00	1378	293
23	72	4,98	1356	290
24	61	4,60	948	226
25	61	4,61	960	228
26	60	4,55	901	218
27	56	4,41	788	200
28	54	4,29	701	185
29	56	4,40	784	199
30	56	4,39	777	198
31	51	4,15	609	169
32	49	4,02	533	155
33	47	3,89	465	142
34	45	3,80	421	134
35	42	3,55	317	113
36	38	3,22	217	92
Isı kayıpları toplamı			25562	6367

Cizelge 2. Sır fırınının mevcut haldeki ve ilave valümlü durumdaki ısı kayıpları.

Modül	$T_s (^{\circ}C)$	$\bar{h}(W/m^2K)$	$Q_{ilk}(W)$	$Q_{son}(W)$
1	32	3,29	80	58
2	33	3,38	102	64
3	34	3,49	128	71
4	37	3,68	186	85
5	38	3,77	220	93
6	41	3,95	292	108
7	52	4,52	628	172
8	63	4,93	1008	236
9	60	4,86	926	222
10	65	5,00	1080	247
11	71	5,20	1329	286
12	72	5,23	1371	292
13	71	5,20	1326	285
14	71	5,20	1328	285
15	71	5,20	1328	285
16	70	5,17	1293	280
17	62	4,90	973	230
18	61	4,87	944	225
19	81	5,44	1694	340
20	89	5,64	2050	390
21	90	5,65	2076	394
22	93	5,72	2210	412
23	91	5,69	2136	402
24	97	5,79	2352	432
25	90	5,65	2064	392
26	89	5,63	2027	387
27	67	5,08	1356	290
28	72	5,21	1167	261
29	56	4,69	1056	243
30	62	4,90	968	229
31	61	4,86	934	224
32	58	4,78	855	211
33	56	4,68	758	194
34	46	4,25	448	139
35	43	4,07	351	120
36	48	4,33	497	148
37	43	4,10	363	123
38	42	4,04	333	117
39	39	3,81	235	96
40	37	3,69	191	86
41	33	3,39	104	65
Isı kayıpları toplamı			40773	9219

III. SONUÇLAR ve YORUMLAR

Yapılan hesaplamalar fırın yüzeylerine ilave yalıtım yapılarak mevcut durumdaki ısı kayıplarının, bisküvi fırınında 19195 W, sır fırınında ise 31554 W kadar azaltılabileceğini göstermiştir. Fırın yüzeylerinden kaybolan bu ısı enerjisinin doğrudan geri kazanımının mümkün olmadığı bilinmektedir. Ancak ilave yalıtım yapılırsa, LPG ile çalışan bisküvi ve sır fırınları içindeki ısının dış ortama geçişi biraz daha engellenerek, fırının gerekli sıcaklığa ulaşması için yakılacak yakıtın miktarında bir düşüş sağlanacaktır. Bu da iki fırın için saatte 4 kg LPG tasarrufu sağlar. Fırın kapasitesi dikkate alındığında elde edilecek tasarruf miktarı her iki fırın için yaklaşık % 0.7'dir. İlave yalıtım ile porselen fabrikasının yakıtı ödediği miktar ve üretim maliyetleri az da olsa azalacak, en önemlisi yalıtım sayesinde fırının içinden ortama doğru olan ısı kaybı da azalacağından ortam sıcaklığı düşecek, böylece işçiler konfor şartına yakın bir sıcaklıkta ve daha verimli çalışacaklardır.

IV. KAYNAKLAR

- [1] Elektrik İşleri Etüt İdaresi, Sanayide Enerji Yönetimi Esasları, Cilt I,II,III,IV, 1997.
- [2] http://www.teknolojikarastirmalar.com/e-egitim/yapi_malzemesi/icerik/seramik.htm
- [3] F. Halıcı, M. Gündüz, “Örneklerle Isı Geçişi”, Nil Matbaacılık, 1998.
- [4] D. Incropera and D.P. Dewitt, “Isı ve Kütle Geçişinin Temelleri”, Literatür Yayıncılık, 2001.
- [5] Ü. Erçetin, Bir Porselen Fabrikasında Kullanılan Fırınların Isıl Optimizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Osmangazi Üniv. Fen Bil. Enst., 2000.