

BİR ENDÜSTRİYEL KURUTUCU FIRINININ TERMODİNAMİK ANALİZİ

Zafer UTLU
Arif HEPBAŞLI
Muharrem TURAN

ÖZET

Kurutma endüstrisinde, istenilen özelliklere sahip kuru ürün elde etmek için maksimum düzeydeki suyun minimum enerji kullanımı ile uzaklaştırılması amaçlanır. Ekserji analizi, son yıllarda, değişik ısı sistemlerinin tasarımı, işletilmesi ve performansının değerlendirilmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bunlar arasında, enerji yoğun bir işlem olan kurutma büyük önem taşır. Bu çalışmada, gerçek işletme verisi kullanılarak, İzmir’de bulunan, yıllık üretim kapasitesi 24 milyon m² olan bir seramik tesisinin enerji ve ekserji analizleri yapıldı. Kurutma sistemi, üç aşamada analiz edildi. 22 °C’lik bir referans (ölü hal) sıcaklığında sistemin her bileşeninin ve tüm sistemin ekserji yok oluşu ve verim değerleri hesaplandı. 2009 yılının Ocak ayı için, püskürtmeli (spray) kurutucunun enerji ve ekserji verimleri, sırasıyla, % 65,5 ve % 53,7 olarak bulundu. Dikey kurutucunun enerji verimi ise, % 39 olarak elde edildi.

Anahtar Kelimeler: Enerji, Ekserji, Endüstriyel Kurutma, Termodinamik Analiz.

ABSTRACT

In the drying industry, it is aimed at utilizing a minimum amount of energy in order to remove the maximum moisture for the desired final conditions of the product. In the recent years, exergy analysis has been widely used in the design, operation and performance assessment of various thermal systems. Among these, drying, which is an energy intensive operation, is of a great importance. In this study, energy and exergy analyses of a ceramic plant, located in Izmir, with a yearly production capacity of 24 million m² were performed using the actual operational data. Drying system was analyzed at the three stages. The values for exergy destruction and efficiency were calculated for each component of the system and the whole systems at a reference (dead state) temperature of 22 °C. For the month of January 2009, energy and exergy efficiencies of the spray dryer was found to be 65.5% and 53.7%, respectively. The energy efficiency of the vertical dryer was obtained to be 39%.

Key Words: Energy, Exergy, Industrial drying, Thermodynamic analysis.

1. GİRİŞ

Enerji kaynaklarının sürekli azaldığı günümüzde ısı proselerinin termodinamik analizi, proseslerde kullanılan enerjinin etkin ve verimli kullanımı açısından büyük önem taşımaktadır. Bununla birlikte ülkemizdeki enerji maliyetlerinin yüksek olması enerji kullanımı konusunda sektörel bazda işletmelerin daha dikkatli olmasını gerektirmektedir. Enerjiyi yoğun kullanan sektörler arasında yer alan Seramik sektöründe endüstriyel kurutma prosesleri enerji kullanım açısından büyük bir öneme sahiptir. Kurutma endüstrisinde, istenilen özelliklere sahip kuru ürün elde etmek için maksimum düzeydeki suyun minimum enerji kullanımı ile uzaklaştırılması amaçlanır

Kurutma, gaz, sıvı ve katı malzemelerden su ve diğer sıvıların uzaklaştırılması işlemidir. Kurutma işlemi, genelde katı malzemelerden ısı olarak su veya eritkenlerin uzaklaştırılması için yapılır. Nem alma bir gazın kurutma ortamı aracılığıyla, genelde yoğunlaşma veya absorpsiyon (soğurma) işlemiyle kurutulmasıdır. Damıtma ise, sıvıların kurutulması için yapılan bir işlemdir [1].

Kurutma işlemi ile malzemenin ekonomik olarak işlenmesi, transportu için kütlesinin azaltılması, daha sonraki üretim ve satış aşamalarında gerekli koşulların sağlanması, ürünün sterilizasyonu veya korunması, çözeltilerden bazı ürünlerin geri kazanılması gerçekleştirilebilir [2].

Seramik sektörü üretim aşamalarında bulunan yoğun kurutma ve pişirme işlemleri dolayısı ile oldukça yoğun enerji tüketen bir sektördür. Bundan dolayı üretim maliyetleri içinde enerjinin payı diğer sektörlerle oranla oldukça yüksektir. Bu çalışmada Seramik Kaplama Malzemeleri sektöründe üretim yapan bir fabrikanın Kurutma fırınlarını enerji ve ekserji analizleri yapılacaktır.

2. SERAMİK KAPLAMALARI SEKTÖRÜ İNCELEMESİ

2.1. Seramik Sektörüne Genel Bakış

Seramik sektörü, özellikle, 1990'lı yılların başından itibaren hızla büyüyen ve gelişen, bugün 1.5 milyar doları asan bir ticaret hacmine ulaşmıştır. Türk seramik sektörü, Türkiye sanayinin yurt dışında rekabet deneyimine sahip en önemli sektörlerinden biri olma özelliğini de göstermektedir. % 95 oranında yerli ham madde kullanımıyla üretim yapan ve 20 yılda dünyanın en önemli üretici ve ihracatçıları arasına girmiştir. İhracatının % 60'a yakını AB ülkelerine gerçekleştiren Türk seramik sektörü, en çok Almanya, İngiltere, ABD, İsrail ve Fransa'ya ihracat yapmaktadır [3].

Seramik sektörü içinde en yüksek ihracat ve üretim oranı seramik kaplama malzemeleri ürün grubundadır. Bugün, seramik sağlık gereçleri sektörü, üretiminin yaklaşık % 70'ini ihraç etmektedir. Türkiye bu sektörde Avrupa'da en fazla ihracat yapan ülke konumundadır.

2.2. Seramik Kaplama Malzemeleri (SKM) Sektörü Tanımı ve Sınırlarının Çizilmesi

Seramik kaplama malzemeleri yer ve duvar kaplamasında kullanılan, seramikten yapılmış kaplama malzemeleridir. Türkiye'de çoğunlukla seramik yer karolarına "seramik karo", duvar karolarına "fayans" denilmektedir [4].

Seramik kaplama malzemeleri sektörü ülkemize istihdam ve döviz girdisi sağlayan, ülke ekonomisinde etkin ve önemli yeri olan bir sanayi dalıdır. Büyük oranda yerli girdiler kullanan sektör, yıllık 1 Milyar ABD Dolarlık üretim değeri, 400 Milyon ABD Dolarlık ihracatıyla, ülkemizin rekabet gücü en yüksek sektörlerinden biridir. Türk seramik kaplama malzemeleri sektörünün doğrudan istihdamı 13.500 kişi olup, sektöre hizmet veren yan sektörler ile birlikte toplam istihdam 50.000 düzeyindedir. Ülkemiz seramik kaplama malzemeleri üretimi ve ihracatı bakımından basta Avrupa olmak üzere dünya genelinde önemli bir konuma sahiptir. Özellikle 1990'lı yıllardan itibaren hızla gelişen ve büyüyen Türk seramik sektörü, bugün 100'den fazla ülkeye ihracat yapmaktadır. Ülkemiz seramik kaplama malzemeleri üretiminde Avrupa'da üçüncü Dünyada ise yedinci ülkedir. İhracatta ise ülkemiz Avrupa'da İtalya ve İspanya'dan sonra üçüncü ülke, dünyada ise besinci ülke konumundadır [5].

2.3. Seramik Kaplama Malzemeleri (SKM) Sektörü Enerji Kullanımı

Seramik sektörü genel itibariyle emek yoğun gerektiren bir sektör olduğundan birçok girdisi bulunmaktadır. Dolayısıyla bu girdiler de maliyet anlamına gelmektedir. Seramik kaplama malzemeleri sektöründe başlıca girdi maliyetlerini; hammadde, elektrik, doğalgaz, işçilik ve işletme malzemesi oluşturmaktadır.

Girdi maliyetleri içerisinde diğer önemli bir maliyet kalemi de enerjidir. Türkiye, seramik kaplama malzemeleri sektöründe hammadde maliyetindeki yararını enerji maliyetlerinde kaybetmektedir. Çünkü enerji maliyetlerinin seramik kaplama malzemeleri sektöründeki rakip ülkelere göre yüksekliği bunun en büyük nedenidir [7]. Firmaların enerji tüketimlerinin büyük kısmının gerçekleştiği

kurutma sistemleri, doğalgaz kullanımının yaygınlaşmasından ötürü doğalgaz ile yapılmaktadır. Sektördeki firmaların kullandıkları enerji türlerine göre dağılımları Tablo 1’ de verilmiştir.

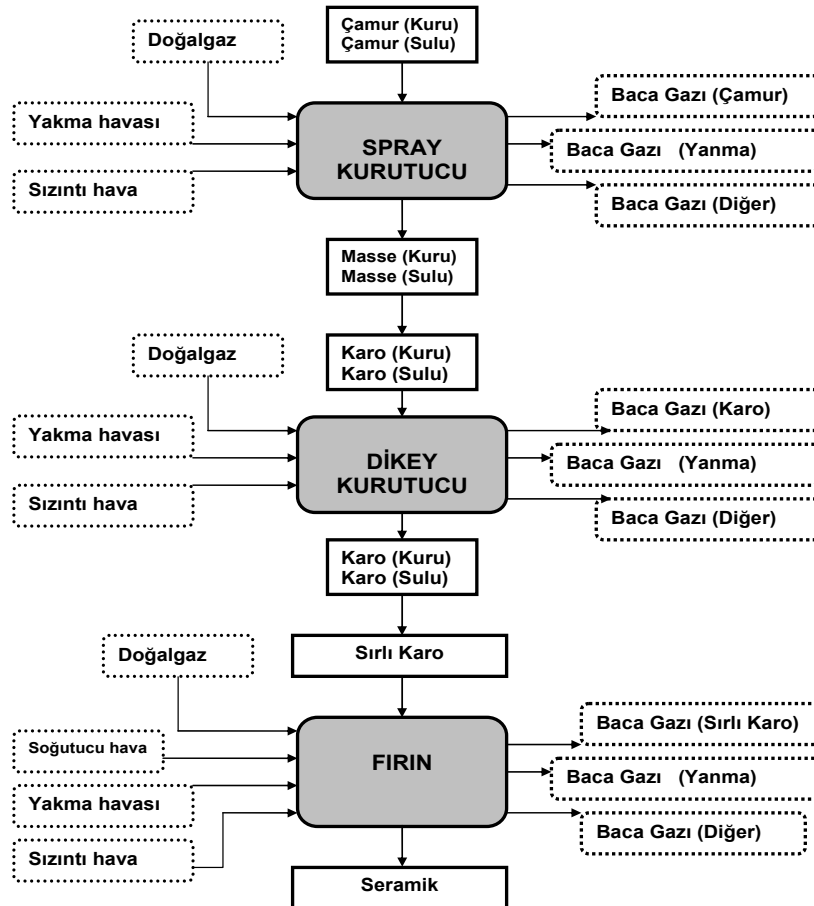
Tablo 1. Firmaların Kullandıkları Enerji Türlerine Göre Dağılımları [6]

Firmalar	Kapasite (m ²)	Toplam Kapasiteye Oranı
Doğalgaz kullananlar	352700000	% 98
LNG kullananlar	5800000	% 1,60
LPG kullananlar	1500000	% 0,40
Toplam	360000000	% 100

3. SERAMİK KURUTMA SÜREÇLERİ VE FIRININ GENEL YAPISI

3.1. Seramik Kurutma Süreçleri

Seramik kurutma işlemi temel üç aşamada gerçekleşmektedir. Şekil 1’ de seramik kurutma sistemi akış şeması gösterilmiştir.



Şekil 1. Seramik kurutma sistemi akış şeması [8]

3.2. Fırının Genel Yapısı

Pişirme kurutma sistemindeki enerjinin büyük miktarının harcanması ile üretimdeki en önemli aşamalardan biridir. Fırında sırlanmış karonun seramik haline dönüşmesi işlemi gerçekleşir. Sırlı karo fırın içerisinde sıcaklığın 1200 °C'ye yükseldiği cehennem bölgesinden geçerken kristalimsi bir yapıya dönüşür ve çıkışta artık seramik formuna gelir.

3.3. Fırının Enerji Tüketim Değerleri

Fabrikadaki enerji tüketim değerleri aylık olarak alınmıştır. 2007 Ocak ayı için tüketim değerleri Tablo 2' de verilmiştir. Bu çizelge hazırlanırken enerji tüketim değerleri aylık toplam tüketimin aylık çalışma saatine bölümü ile elde edilmiştir.

Tablo 2. Fırın Ocak Ayı Ortalama Enerji Tüketim Değerleri [8]

No	Parametre	Birim	Değeri
1	Giren sırlı karo miktarı	kg/h	42678
2	Çıkan seramik miktarı	kg/h	40544
3	Giren sırlı karo nem oranı	%	5
4	Dış ortam sıcaklığı	K	295
5	Sırlı karo giriş sıcaklığı	K	298
6	Yakma havası giriş sıcaklığı	K	385
7	Soğutucu hava giriş sıcaklığı	K	298
8	Sızıntı hava giriş sıcaklığı	K	298
9	Seramik çıkış sıcaklığı	K	343
10	Baca gazı çıkış sıcaklığı	K	403
11	Doğalgazın kütleli debisi	kg/h	1821
12	Yakma havası kütleli debisi	kg/h	43704
13	Soğutucu hava kütleli debisi	kg/h	41543
14	Sızıntı hava kütleli debisi	kg/h	11847
15	Baca gazı kütleli debisi	kg/h	101049
16	Yakıt alt ısı değeri	kJ/m ³	34541
17	Toplam elektrik tüketimi	kWh	3795

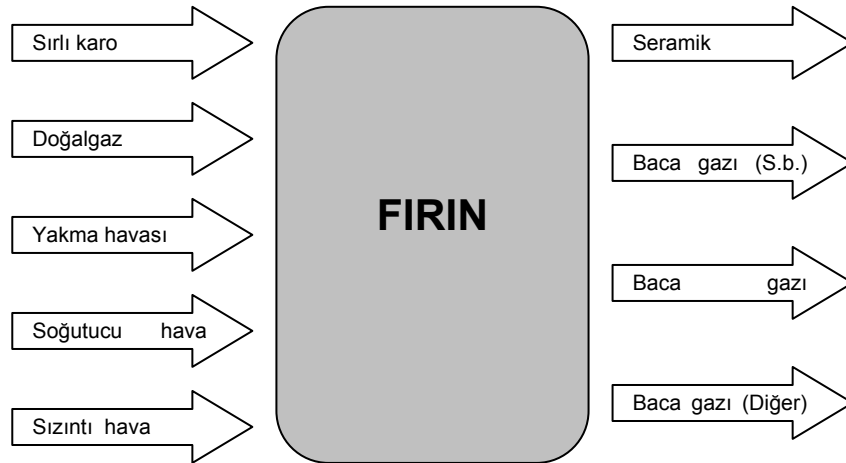
4. SERAMİK KURUTMA FIRINI ENERJİ VE EKSERJİ ANALİZİ

Bu çalışmada sistemdeki fırın elemanın enerji ve ekserji analizleri yapılacaktır.

4.1 Fırın Kütle Denge Analizi

Burada fırına giren ve çıkan maddeler arasındaki kütle denge analizi yapılmıştır. Fırında sisteme sırlı karo, doğalgaz, yakma havası, soğutucu ve sızıntı hava girerken, çıkan maddeler ise seramik ve baca gazlarıdır.

Fırında % 5 nem içeren sırlı karo nemden arınarak mamul madde olan seramik meydana gelir. Baca gazları ise, karonun su buharı, yanmadan gelen ve sızıntı havanın çıkış hali diğer olarak üç kısımda incelenmiştir. Ocak ayı için sisteme giren ve çıkan maddelerin akış seması Şekil 2' de, sistemin kütle denge analizi ise, Tablo 3' de verilmiştir.



Şekil 2. Fırının Akış Şeması [8]

Tablo 3. Fırın Kütle Denge Analizi [8]

No	GİREN			ÇIKAN		
	Maddeler	$T (K)$	$\dot{m} (kg/h)$	Maddeler	$T (K)$	$\dot{m} (kg/h)$
1	Karo	298	42678	Seramik	343	40544
2	Doğalgaz	298	1821	Karonun nemi	403	2134
3	Yakma havası	385	43704	Baca gazı (Yanma)	403	45525
4	Soğutucu hava	298	41543	Baca gazı (Diğer)	403	53390
5	Sızıntı hava	298	11847			
	TOPLAM		141593	TOPLAM		141593

Sistemde kütle dengesinde bulunan maddelerin kütleli ve elementel analizleri ve baca gazı bileşenleri, kütlelerinin yüzdesel dağılımları Şekil 3 ve Tablo 4' de görülmektedir.

Tablo 4. Fırına Giren Maddelerin Elementel ve Kütleli Analizleri [8]

Giren maddeler	Elementler	Sıcaklık (K)	Dagılım (%)	Kütleli debi (kg/h)
Sırlı karo	Al ₂ O ₃	298	14,53	6201
	SiO ₂	298	73,85	31518
	Na ₂ O	298	7,8	3329
	Fe ₂ O ₃	298	0,14	60
	CaO	298	0,37	158
	MgO	298	0,71	303
	Diğer Ham.	298	2,6	1110
Toplam				42678
Yanıcı gaz (CH ₄)	C	298	75	1365,75
	H ₄	298	25	455,25
Toplam				1821
Yakma havası	N ₂	385	77,37	33814
	O ₂	385	20,76	9073
	CO ₂	385	0,03	13
	Ar	385	0,92	402
	H ₂ O	385	0,01	4
	Diğer	385	0,91	398
	Toplam			
Soğutucu hava	N ₂	298	77,37	32142
	O ₂	298	20,76	8624
	CO ₂	298	0,03	12
	Ar	298	0,92	382
	H ₂ O	298	0,01	4
	Diğer	298	0,91	378
	Toplam			
Sızıntı hava	N ₂	298	77,37	9166
	O ₂	298	20,76	2459
	CO ₂	298	0,03	4
	Ar	298	0,92	109
	H ₂ O	298	0,01	1
	Diğer	298	0,91	108
	Toplam			

Tablo 5. Fırından çıkan maddelerin elementel ve kütleli analizleri [8]

Çıkan maddeler	Elementler	Sıcaklık(K)	Dagılım(%)	Kütleli debi(kg/h)
Seramik	Al ₂ O ₃	343	14,6	5919
	SiO ₂	343	73,7	29881
	Na ₂ O	343	7,8	3162
	Fe ₂ O ₃	343	0,14	57
	CaO	343	0,37	150
	MgO	343	0,71	288
	Diğer Ham.	343	2,68	1087
	Toplam			
Baca gazı (H ₂ O)	H ₂ O	403	100	2134
Toplam				2134
Baca gazı (Yanmadan gelen)	CO ₂	403	1,56	710
	CO	403	0,005	2
	NO	403	0,02	9
	NO ₂	403	0,002	1
	O ₂	403	17,55	7990
	H ₂ O	403	3,12	1420
	N ₂	403	77,753	35397
	Toplam			
Baca gazı (Diğer)	N ₂	403	77,37	41308
	O ₂	403	20,76	11084
	CO ₂	403	0,03	16
	Ar	403	0,92	491
	H ₂ O	403	0,01	5
	Diğer	403	0,91	486
	Toplam			

4.2 Fırının Enerji Analizi

Ocak ayı için Fırının çalışması esnasında ortalama elektrik tüketimi 3795 kWh dir. Bu değer, giren elemanlarda ısıya dönüşen elektrik enerjisi olarak hesaba katılmıştır. Sisteme giren ve çıkan maddelerin toplam enerji değerleri Tablo 6. ve 7’de verilmiştir.

Tablo 6. Fırına Giren Maddelerin Enerji Değerleri [8]

No	Giren maddeler	T (K)	c_p (kJ/kgK)	\dot{m} (kg / h)	\dot{Q} (kJ / h)
1	Sırlı Karo	298	0,749	42678	9525815
2	Doğalgaz yanma ısı				95337990
3	Doğalgaz duyulur ısı	298	2,22	1821	1204701
4	Yakma havası	385	1,005	43704	16910170
5	Soğutucu hava	298	1,005	41543	12441713
6	Sızıntı hava	298	1,005	11847	3548058
7	Isıya dönüşen elektrik enerjisi				13662000
Toplam					152630447

Tablo 7. Fırından Çıkan Maddelerin Enerji Değerleri [8]

No	Çıkan maddeler	T (K)	c_p (kJ/kgK)	\dot{m} (kg/h)	\dot{Q} (kJ / h)
1	Seramik	343	0,771	40544	10721982
2	Baca gazı (Karbonun su buharı)	403	1,916	2134	1647764
3	Baca gazı (Yanma)	403	1,055	45525	19355637
4	Baca gazı (Diğer)	403	1,014	53390	21817396
5	Isı kaybı				99087668
Toplam					152630447

4.3. Fırının Enerji Verimliliği

Enerji verimliliği hesabında kullanılan yöntem, termodinamiğin 1. yasa ifadesinden yararlanılarak toplam enerji değerinden kayıp olan enerjinin çıkarılıp, giren maddelerin toplam enerji değerine oranı şeklinde hesaplanır. Bu durumda verim ifadesi:

$$\eta = \frac{\sum Q_{\text{çıkan}} - Q_{\text{kayıp}}}{Q_{\text{giren}}}$$

şeklinde yazılabilir. Bu ifadeye göre Ocak ayı için, fırının enerji verimliliği;

$$\eta = \frac{152630447 - 99087668}{152630447} = 0,35 \text{ olarak bulunur.}$$

4.4. Fırının Ekserji Analizi

Referans çevre ifadesinde daha önce dış sıcaklık $T_0 = 295$ K ve basınç $P_0 = 1$ bar olarak alınmıştır. Ekserji analizinde, fırında yapılan işlem sürekli akışlı kapalı bir sistem olarak kabul edilmiştir.

Tablo 8. Fırına Giren Maddelerin Ekserji Analizi [8]

GİREN MADDE NO	BİLEŞE Y ADI	M (kg/mol)	e (kJ/mol)	T ₁ (K)	T (K)	ln (T ₁)	m (kg/h)	C _p (kJ/kgK)	R (kJ/kgK)	Enthalpi (kJ/h)	Entropi (kJ/h.K)	Fiziksel ekserji (kJ/h)	Kimyasal ekserji (kJ/h)	Toplam ekserji (kJ/h)	Genel toplam ekserji (kJ/h)	
1	Sırlıkaro						42678								31885813	
	Al ₂ O ₃	0,1019	200,4	295	298	0,01	6201	0,77	0,081	14325	48	239	11907557	11907796		
	SiO ₂	0,06	7,9	295	298	0,01	31518	0,74	0,138	69969	233	1166	3759460	3760626		
	Na ₂ OH	0,0629	296,6	295	298	0,01	3329	1,49	0,132	14880	50	248	15366096	15366344		
	Fe ₂ O ₃	0,1596	16,5	295	298	0,01	60	0,65	0,052	117	0	2	144	146		
	CaO	0,056	110,2	295	298	0,01	158	0,75	0,148	355	1	6	272019	272025		
	MgO	0,0403	66,8	295	298	0,01	303	0,92	0,206	836	3	14	411037	411051		
	Diğer	0,06	8,2	295	298	0,01	1110	0,74	0,138	2463	8	41	167784	167825		
	Doğalgaz yanma ürünü															95337990
3	Doğalgaz duyurur ürünü						1821								51716619	
	C	0,012	413,6	295	298	0,01	1365,75	0,71	0,692	2909	10	48	46992737	46992785		
	H ₂	0,04	418,44	295	298	0,01	455,25	6,7	2,078	9151	31	153	4723681	4723834		

Tablo 8. (Devam)

4	Yüklem	43704										49161			
	Parası														
	Nf	0,028	0,72	295	295	0,266	33814	1,05	0,296	3195403	9444		409567	111255	520622
	Ca	0,032	3,97	295	295	0,266	9073	0,92	0,26	751240	2220		96242	32454	128697
	CDe	0,044	19,87	295	295	0,266	13	0,85	0,189	1003	296		128,5	-7	172
	Aç	0,0399	11,69	295	295	0,266	402	0,532	0,208	19251	56,9		2466	1936	4402
	HfO	0,018	9,5	295	295	0,266	4	4,18	0,461	1644	4,86		210,6	-3178	-2967
	Dğer	0,028	0,72	295	295	0,266	388	0,49	0,296	17539	51,8		2247	-152471	-151284
	Sğatırı	41543													
	Parası														
5	Nf	0,028	0,72	298	298	0,01	32142	1,04	0,296	100282	324,3	1671	105754	107426	
	Ca	0,032	3,97	298	298	0,01	8674	0,918	0,26	73751	79,2	39586	30850	31246	
	CDe	0,044	19,87	298	298	0,01	12	0,844	0,189	32	0,11	0,5	-7	-6	
	Aç	0,0399	11,69	298	298	0,01	382	0,52	0,208	286	2,0	10	1840	1850	
	HfO	0,018	9,5	298	298	0,01	4	4,18	0,461	52	0,17	0,9	-3021	-3020	
	Dğer	0,028	0,72	298	298	0,01	378	0,48	0,296	544	1,8	9	-143852	-143873	
	Sğatırı	11847													
	Parası														
	6	Nf	0,028	0,72	295	318	0,075	9166	1,04	0,296	219251	714,9	8341	30158	38300
		Ca	0,032	3,97	295	318	0,075	2439	0,918	0,26	51929	169,3	1975,54	8798	10773
CDe		0,044	19,87	295	318	0,075	4	0,844	0,189	69	0,22	2,6	-2	1	
Aç		0,0399	11,69	295	318	0,075	109	0,52	0,208	1304	4,3	30	525	374	
HfO		0,018	9,5	295	318	0,075	1	4,18	0,461	114	0,37	4,3	-861	-837	
Dğer		0,028	0,72	295	318	0,075	108	0,48	0,296	1190	3,9	4,5	-41602	-41537	
Sğatırı		Genel Toplam													
Parası		17949129													

Tablo 9. Fırından Çıkan Maddelerin Ekserji Analizi [8]

GİREN MADDE NO	BİLEŞEN ADI	M (g/mol)	e (kJ/mol)	T ₀ (K)	T (K)	In (DT ₀)	m (kg/h)	C _p (kJ/kgK)	R (kJ/kgK)	Entalpi (kJ/h)	Entropi (kJ/h.K)	Fiziksel ekserji (kJ/h)	Kimyasal ekserji (kJ/h)	Toplam ekserji (kJ/h)	Genel toplam ekserji (kJ/h)	
1	Seramik						40544									
	Al ₂ O ₃	0,1019	15	295	343	0,15	5919	0,793	0,081	225317	704	17603	10468641	10486244		
	SiO ₂	0,06	8,2	295	343	0,15	29881	0,761	0,138	1091491	3411	85273	3280222	3365495		
	Nb ₂ O ₅	0,0629	296,2	295	343	0,15	3162	1,540	0,132	233767	731	18263	13443691	13461954		
	Fe ₂ O ₃	0,1596	12,4	295	343	0,15	57	0,690	0,052	1880	6	147	126	273		
	CaO	0,056	110,2	295	343	0,15	150	0,830	0,148	5977	19	467	237990	238457		
	MgO	0,0403	59,1	295	343	0,15	288	0,970	0,206	13403	42	1047	359617	360664		
	Diğer	0,06	8,2	295	343	0,15	1087	0,780	0,138	40682	127	3178	152170	155348		
	Baca Gazı (Sıharonun su buharı)						5339									28068434
	H ₂ O	0,018	9,5	295	403	0,311		1,954	0,461	1126700	3244	169579	266950	436529	169381	

Tablo 9. (Devamı)

46525														
3	Baca gazı (Yanma)													
	CO ₂	0,044	19,87	295	403	0,311	710	0,996	0,189	76394	220	11498	158250	169748
	CO	0,028	275,1	295	403	0,311	2	1,059	0,298	260	0,750	39,18	19748	19787
	NO	0,03	88,9	295	403	0,311	9	1,021	0,277	1004	2,9	151	19448	19599
	NO ₂	0,046	55,6	295	403	0,311	1	0,934	0,18	91,8	0,2645	13,82	498	511
	O ₂	0,032	3,97	295	403	0,311	7990	0,964	0,26	831817	2395	125196	1488857	1614053
	H ₂ O	0,018	9,5	295	403	0,311	1420	1,953	0,461	299592	863	45091	89684	134775
	N ₂	0,028	0,72	295	403	0,311	36397	1,053	0,296	4025494	11592	605874	135068	740942
	Baca gazı (Diğer)													
	53.390													
	4	N ₂	0,028	0,72	295	403	0,311	41308	1,053	0,296	4897693	13528	707046	135913
O ₂		0,032	3,97	295	403	0,311	11084	0,964	0,26	1153953	3323	173681	39647	213328
CO ₂		0,044	19,87	295	403	0,311	16	0,996	0,189	1723	5	259	8	268
Ar		0,0399	11,69	295	403	0,311	491	0,60	0,208	31829	92	4791	2364	7155
H ₂ O		0,018	9,5	295	403	0,311	5	1,964	0,461	1127	3	170	3882	4052
Diğer	0,028	0,72	295	403	0,311	486	0,61	0,296	32008	92	4817	187484	192302	
Genel Toplam														
32217294														
2699416														
1260063														

Ekserji verimi basit olarak çıkan maddelerin ekserji değerinin giren maddelerin ekserji değerine olan oranıdır.

$$\varepsilon = \frac{Ex_{\xi}}{Ex_g}$$

şeklinde yazılabilir. Bu durumda ekserji verimi

$$\varepsilon = \frac{28856831}{179439129} = 0,16 \text{ olarak bulunur.}$$

Fırın ünitesi için elde edilen sonuçlarda % 67,8'lik bir ısı kaybı olduğu görülmüştür. Fırın ünitesi sistemin en çok yakıt sarfiyatının yapıldığı ve aynı zamanda işlem sıcaklığı olarak da diğer ünitelere nazaran daha yüksek işlem sıcaklıklarında faaliyet gösteren kısımdır. Fırındaki temel sorunları sıralayacak olursak ilk önemli husus, brülör izolasyonunun iyi olmamasıdır. Bununla birlikte dengesiz yanma sıklıkla olmakta ve zaman zaman hava gaz karışımı uygun oranlarda sağlanmadığı için doğalgaz sarfiyatı artmaktadır. Yine diğer ünitelerde olduğu gibi izolasyon sorunu fırın ünitesinde de yetersizdir. Özellikle sıcaklığın en yüksek değerlere ulaştığı cehennem bölgesindeki izolasyonun yetersizliği bu kaybın ana kısmını oluşturmaktadır.

Fabrikanın yıllık üretimi ve enerji değerleri göz önüne alınarak hesaplar sonucunda yıllık ekserji kaybı ve bunun finansal değerlendirmesi Tablo 10. görülmektedir.

Tablo 10. Yıllık Ekserji Kaybının Finansal Değerlendirmesi

Ünite Adı	Yıllık toplam ekserji kaybı miktarı (kJ/h)	Ekserji kaybının doğalgaz olarak değeri (m ³ /h)	2011 yılı güncel doğalgaz birim fiyatı (TL/m ³)	Kayıpların finansal karşılığı (TL/yıl)
Fırın	1.647.811.808.265	47.703.550	0,494348	23.582.155

Termodinamiğin yasalarına göre yaptığımız gerçek hesaplardan görüldüğü üzere % 100 verimli çalışabilen bir sistem henüz mevcut değildir. Bu nedenle sistem hakkında yapılabilecek iyileştirmeler ortaya konulurken yapılabilecek iyileştirmeler ve modernizasyonlar kabul edilebilir değerler çerçevesinde olacaktır. Tablo 10 'dan görüleceği üzere mevcut ekserji kaybının fırın için ise 23 milyon Türk Lirası seviyelerinde bir finansal karşılığı vardır. Bu rakamlardan görüldüğü üzere sistemin iyileştirme yapılmadan kullanılması ciddi maliyetler doğurmaktadır. Sistemde yapılabilecek iyileştirmeler ve modernizasyonlar yıllık kayıpların karşılığı baz alındığında fabrikaya ciddi miktarlarda enerji maliyeti azalması sağlayacaktır.

SONUÇ

Enerji talebinin git gide arttığı buna karşın ise kaynakların ve üretiminin sınırlı olduğu günümüz şartlarında verimlilik ve sürdürülebilirliğin önemi sürekli artmaktadır.

- Çalışmanın yapıldığı fabrika üretim yaptığı sektörün önemli firmalarında biridir. Fabrikanın verimliliği enerji sarfiyatının üretilen ürüne bölünmesi şeklinde oluşan değer baz alınarak sürdürülmesi fabrikanın mevcut sisteminin verimliliğinin sürdürülebilirlik anlamında yöntemlerini geliştirmesi gerektiği görülmüştür.
- Yaptığımız çalışma ile termodinamiğin 1. ve 2. yasasına göre sistemin analizi yapılarak, enerji ve ekserji değerleri ortaya konularak verimliliği hesaplanmıştır.

- Gerek mevcut kojenerasyon sisteminin sağladığı katkı ve gerekse enerji tüketiminde Türkiye ortalamalarının altında olması enerji verimliliği anlamında sadece yerli rakiplerine karşı daha verimli bir tesis olduğunun göstergesidir
- Ortaya konulan sorunların kısa vadede düşük yatırımla veya uzun vadede yüksek meblağlı yatırım ile iyileştirilmesi ile milyon TL mertebelerinde tasarruf sağlayabileceği görülmektedir.
- Yapılabilecek iyileştirmeler hem enerji konusunda tasarruf sağlayacak hemde baca gazı anlamında salınım azalması sağlayarak çevreye katkı sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

- [1] Günerhan, H., “Endüstriyel Kurutma Sistemleri”, Türk Tesisat Mühendisleri Derneği Dergisi, Temel Bilgiler ve Uygulama Eki Sayı:13, 2005.
- [2] Güngör, A., Özbalta, N., Endüstriyel Kurutma Sistemleri, 3. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi ve Sergisi, 14 s, 1997.
- [3] Pekin, H.B., Seramik Sektörü, 21. Enerji Tasarrufu Etkinlikleri Ankara, 9s, 2002.
- [4] Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı, Taş ve Toprağa Dayalı Ürünler Sanayi Özel İhtisas Komisyonu Raporu, oik568, 2001.
- [5] DPT Müsteşarlığı, Seramik Kaplamaları Sektörü Dokuzuncu Beş Yıllık Kalkınma Planı, (2007–2013), 2006.
- [6] SERFED (Türkiye Seramik Federasyonu), Türk Seramikleri/Enerji http://www.serfed.com/tr/content.php?content_id=120, Erişim Tarihi: 10 Ocak 2011.
- [7] Dursun, İ.T., Stratejik Yönetim Yaklaşımları Açısından Sektör Analizi: Seramik Kaplama Malzemeleri Sektörü, Sakarya Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, 93s, 2007.
- [8] Turan, M. Bir Endüstriyel Kurutucunun Performansının Enerji ve Ekserji Yöntemleri Kullanarak Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi (Tez Danışmanları: A. Hepbaşlı ve Z. Utlu). Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makina Mühendisliği Anabilim Dalı, Bilim Dalı Kodu: 625.04.00. Sunuş Tarihi: 04.02.2009.

ÖZGEÇMİŞ

Zafer UTLU

Yazar, 1966 Isparta doğumludur. 1988 yılında Gazi Üniversitesinden Lisans, 1999 Yılında Ege Üniversitesinden Yüksek Lisans, 2003 Yılında Ege Üniversitesi Enerji Bölümünden Doktora Ünvanını almıştır. 2010 yılında Doçent olmuştur. Yirmi iki yıllık TSK’ daki çeşitli eğitim kurumlarındaki çalışma hayatından sonra, İstanbul Aydın Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümünde Öğretim Üyesi olarak çalışma hayatına devam etmektedir. Çalışma alanları; Termodinamik Analiz, Enerji, Alternatif Enerji Kaynakları, Yakıtlar ve Yanma, Enerji Ekonomisi, Alternatif Yakıtlar olarak belirlenmiştir. Bu alanlarda 60’ın üzerinde Uluslararası, Ulusal Makale ve Sempozyum, Kongrelerde sunulmuş bildirilerin yazarı ve ortak yazarıdır.

Arif HEPBAŞLI

1958 yılı İzmir doğumlu olup, yaklaşık 29 yıllık iş yaşamı vardır. Bunun, 10 yılı, İzmir’deki değişik fabrikalarda ve farklı pozisyonlarda geçmiş olup, geri kalanı farklı üniversitelerde geçmiştir/geçmektedir. Profesyonel iş yaşamı felsefesi; üniversite (Eğitim + Ar-Ge), sanayi (olmazsa olmaz) ve üretken mesleki kuruluşlarla işbirliğinin dengeli olarak eş zamanda sağlanmasından oluşmaktadır. 440’den fazla bilimsel yayınının (190’dan fazlası SCI kapsamında makale olmak üzere) yazarı/ortak yazarı olup, son zamanlarda “Enerji Verimliliği ve Yönetim Sistemi: Yaklaşımlar ve Uygulamalar” kitabını yazmıştır. Sayısız yurt içi ve dışı bilimsel etkinliğe katılmış ve organizasyonunda yer almıştır/almaktadır. Değişik ülkelerdeki üniversitelerde de, Konuk Profesör olarak bulunmuştur. Beş prestiji uluslararası SCI’li derginin yayın danışma kurulu üyeliği yanında, çok

sayıda ulusal ve uluslararası dergilere ve projelere de hakemlik yapmaktadır. Bunun yanı sıra, uzmanlık alanıyla ilgili olarak da sanayiye danışmanlık hizmeti vermektedir. Almanca ve İngilizce bilmekte olup, bir kız babasıdır.

Muharrem TURAN

Yazar, 1981 Isparta doğumludur. 1999 yılında Haydarpaşa Lisesinden, 2005 yılında Süleyman Demirel Üniversitesi Makina Mühendisliği bölümünden mezun olmuştur. 2005 Eylül ayında Ege Üniversitesi Makina Mühendisliği bölümünde Yüksek lisans eğitimine başlamıştır. Mezuniyetinin ardından 1.5 sene boyunca Doğalgaz İç Tesisatı yapan bir firmada Proje Mühendisi olarak iş hayatına devam etmiştir. 2006 Ağustos'ta başladığı askerliğini Topçu Asteğmen olarak Bolu 2. nci Komando Tugayında tamamlamıştır. Askerlik hizmeti sonrasında Alstom Transport SA ve Doğu Isıtma Soğutma Sistemleri Ltd. Şti'de iş hayatına devam etmiştir.