

# Kazan Bacalarında Meydana Gelen Enerji ve Ekserji Kayıpları

Kemal ÇOMAKLI<sup>\*</sup>  
Bedri YÜKSEL<sup>\*</sup>  
Bayram ŞAHİN<sup>\*</sup>  
Şendoğan KARAGÖZ<sup>\*</sup>

## Özet

*Enerji girdilerin artması, fosil yakıtların yanması sonucunda ortaya çıkan çevre problemleri, termal sistemlerde enerji verimliliğini ve tasarrufunu gündeme getirmektedir. Özellikle ülkemizde enerji maliyetlerinin yüksek olması enerji, kullanım konusunda daha verimli olmayı gerektirmektedir. Enerji tüketimin önemli kısmı termal sistemlerde özellikle kazanlarda olmaktadır. Bundan dolayı kazanlardaki enerji ve ekserji kayıpları önemle incelenmelidir. Kazanlardaki kayıpların başında baca kayıpları gelmektedir. Bu çalışmada kazan bacalarında meydana gelen enerji ve ekserji kayıpları incelenmiştir.*

## 1. GİRİŞ

Enerji tüketim miktarındaki artış; enerji-kaynak üretimi, enerji-çevre, enerji-ekonomi arasındaki ilişkileri ve sorunları beraberinde getirmektedir. Enerji üretimi ve tüketimiyle birlikte ortaya çıkan ekonomik ve çevre problemleri günümüzde tüm toplumları tehdit etmektedir. Bu problemlerin azaltılması enerji verimliliği ve tasarrufu ile mümkün olmaktadır.

Enerji kaynaklarının sınırlı olması ve her geçen gün artan talepler nedeniyle yeni ve alternatif enerji kaynakları araştırılmaktadır. Enerjinin daha etkili ve verimli bir şekilde kullanılmasına bugün için alternatif bir enerji kaynağı olarak yaklaşılmaktadır. Özellikle enerji tüketimi yüksek olan tesislerde, enerjinin verimli kullanılması, enerji maliyetini düşüreceği gibi, kayıp enerjiyi geri kazan

mak için yapılan sistemlerin maliyetlerini de en aza indirmiş olacaktır. Ayrıca fosil yakıt yakılan sistemlerde enerji dönüşümü sırasında, çevreye atılan zararlı emisyonların minimum miktarda olması çevreyi de daha az kirletecektir.

Enerjinin etkin kullanımı ve sistemlerdeki verim artışı, enerji tasarrufu sağlayarak savurganlığı ve abartılmış talepleri engeller. Buradaki enerji tasarrufu kavramı ekonomik büyümeden ve çağdaş yaşam koşullarından ödün vererek enerjinin az kullanılması değildir. Enerji tasarrufu enerji üretiminin ve tüketiminin maksimum verimle gerçekleştirilmesi, enerji kayıplarının minimuma indirilmesi, ekonomik gelişmeden ve yaşam konforunu engellemeden enerji talebini kontrol altına almaktır. Başka bir deyişle üretim hızı ve kalitesi düşmeden verimliliğin artırılmasıdır[1].

<sup>\*</sup>Atatürk Ü. Müh. Fak. Makine Müh. Böl. ERZURUM  
<sup>\*</sup>Balikesir Ü. Müh. Mim. Fak. Makine Müh. Böl. BALIKESİR

ne daha fazla enerji elde edilebilir veya belli bir enerji için daha az enerji tüketilebilecektir. Özellikle büyük tesislerde enerjinin verimli kullanılması, enerji maliyetini düşüreceği gibi kayıp enerjiyi geri kazanmak için yapılan sistemlerin maliyetlerini de en aza indirmiş olacaktır. Ayrıca fosil yakıt kullanılan tesislerde enerji dönüşümü sırasında, çevreye atılan zararlı emisyonlar da azalmaktadır.

Ülkemizde tüketilen enerjinin büyük bölümü, termal sistemlerde harcanmaktadır. Termik santrallerde, sanayide, konutlarda ve diğer alanlarda ihtiyaç duyulan ısı enerjisi, kazanlarda yakılan yakıtlardan elde edilmektedir. Özellikle enerji tüketiminin %34'ünü kullanan konutların ısınma ihtiyacı hemen hemen tamamı fosil yakıt yakan kazanlar yoluyla sağlanmaktadır. Kazanlar, içerisinde yakılan yakıtın yanma enerjisini, sistemde iş gören akışkana aktarmak için kullanılan elemanlardır[2].

Kazanlarda gerçekleşen yanma sonucunda oluşan ısının tamamı akışkana aktarılamamaktadır. Isının bir kısmı kazanın yüzeylerinden, diğer kısmı ise baca gazı ile atmosfere atılmaktadır. Kullanılmayan ısının büyüklüğü, kazan verimini etkileyen önemli parametredir. Dolayısı ile yakıt tüketimi de verime bağlı olarak değişmektedir. Bu nedenle kazanların verimliliği, hem enerji açısından hem de ekserji açısından incelenmesi gerekir. Isı elde etmek için kullanılan kazanların, enerji tasarrufu ve hava kirliliği açısından incelenmesi, tasarlanması ve kullanılacak sisteme uygun kazan ve yakıt türü seçilmesi gerekmektedir[3].

## 2. Baca Gazında Enerji ve Ekserji Analizi

Birçok termodinamik uygulamada, sistem tek bir gazdan değil birçok gazın karışımından oluşur. Özellikle yanma sistemlerin çözümlenmesinde gaz karışımları kullanılmaktadır. Bu nedenle karışımların özelliklerinin belirlenmesi önemlidir. Karışımın özelliklerini belirleyebilmek için ise karışımı oluşturan gazların miktarlarını ve özelliklerini bilmek gerekir. Karışımı oluşturan gazların miktarları kütleli veya mol olarak verilebilir. Bu durumda karışımın mol oranları ve kütleli oranları[4];

$$x = \frac{v_i}{v} \quad (1)$$

$$Y = \frac{m_i}{m} \quad (2)$$

şeklinde hesaplanır. Bir gaz karışımının özellikle her bir bileşenin özelliklerinin katkısı da dikkate alınarak bulunur. Buna göre gaz karışımlarının özgül ısıları molar ve kütleli olarak;

$$\bar{C}_v = \sum_{i=1}^N x_i \bar{C}_{v,i} \quad (3)$$

$$C_v = \sum_{i=1}^N \psi_i \bar{C}_{v,i} \quad (4)$$

$$\bar{C}_p = \sum_{i=1}^N x_i \bar{C}_{p,i} \quad (5)$$

$$C_p = \sum_{i=1}^N \psi_i \bar{C}_{p,i} \quad (6)$$

şeklinde hesaplanabilir. Bu denklemlerde özgül ısıların birimleri kJ/kmol °C ve kJ/kg °C'dir. Karışımı oluşturan gazların özelliklerinin değişimleri ideal gaz denklemleri kullanılarak bulunur. İdeal gazlarda iç enerji ve entalpinin sadece sıcaklığın fonksiyonu olması nedeniyle sabit hacim ve sabit basınçtaki özgül ısılar sırasıyla  $c_v$  ve  $c_p$  de yalnızca sıcaklığın fonksiyonudur ( $c_v = du / dT$ ,  $c_p = dh / dT$ ). Çengel ve Boles (1994) ideal gazın özgül ısılarının sıcaklıkla değişimini molar olarak veren üçüncü dereceden polinomları ifade eden bağıntıları aşağıdaki şekilde vermişlerdir.

$$C_p = \alpha + \beta T + \gamma T^2 + \delta T^3 \quad (7)$$

$$C_v = (\alpha - \bar{P}) + \beta T + \gamma T^2 + \delta T^3 \quad (8)$$

bu denklemlerdeki a,b,c,d sabit katsayıları her bir gaz için farklı değerler almaktadır. Çeşitli gazlar için bu katsayılar çizelge 1' de verilmiştir.

Çizelge 1 Çeşitli gazlar için özgül ısı katsayıları (Çengel ve Boles 1994)

$c_p = \alpha + \beta T + \gamma T^2 + \delta T^3$ (kJ/kmol.K)				
Gaz	a	b (x10 <sup>-2</sup> )	c(x10 <sup>-5</sup> )	d(x10 <sup>-9</sup> )
N <sub>2</sub>	28.90	-0.1571	0.8081	-2.873
O <sub>2</sub>	25.48	1.52000	-0.7155	1.312
Hava	28.11	0.19670	0.4802	-1.966
CO	28.16	0.16750	0.5372	-2.222
CO <sub>2</sub>	22.26	5.98100	-3.501	7.469
H <sub>2</sub> O(g)	32.34	0.19230	1.055	-3.595
H <sub>2</sub>	29.11	-0.1916	0.4003	-0.8704
SO <sub>2</sub>	25.78	5.7950	-3.812	8.612

### • Baca gazları ile dışarı atılan enerji;

Yukarıdaki eşitlikler dikkate alınarak baca gazı ile atmosfere atılan enerji;

$$\dot{E}_B = \sum_{i=1}^N v_i \bar{C}_{p,i} (T_p - T_o) \quad (9)$$

$$\dot{E}_B = \sum_{i=1}^N v_i \left[ \alpha + \beta T + \frac{\gamma}{2} (T^2 - T_o^2) + \frac{\delta}{3} (T^3 - T_o^3) + \frac{\delta}{4} (T^4 - T_o^4) - \alpha T_o + \lambda v \frac{T}{T} \right]$$

veya;

$$\dot{E}_B = v \bar{X}_n (T_B - T_0) \quad (10)$$

bağıntıları ile hesaplanabilir. Burada n mol sayısını (kmol), Cp, özgül ısıyı (kJ/kmol K), Tb baca gazı sıcaklığını, T0 ise çevre sıcaklığını göstermektedir.

### ● Baca Gazı ekserjisi E<sub>x,B</sub>;

Baca gazı ekserjisi, iki bileşenden oluşur. Bunlar, kimyasal ve fiziksel ekserjidir. Baca gazı birkaç gazların karışımından oluşmaktadır. Baca gazı bileşenlerinin ideal gaz olduğu ve bu nedenle karışımında ideal gaz karışımı kabulü ile karışımın kimyasal ekserjisi ve fiziksel ekserjisi aşağıda verilen bağıntılardan hesaplanır[5].

$$\dot{E}_{x,B} = \dot{E}_{x,Kim} + \dot{E}_{x,Fiz} \quad (11)$$

$$\dot{E}_{x,Kim} = v_T \dot{E}^0 \quad (12)$$

$$\dot{E}^0 = \sum_k \dot{R}_{x_k} \dot{E}_{x_k}^0 + P T_0 \sum_k \dot{R}_{x_k} \lambda v_{x_k} \quad (13)$$

$$\dot{E}_{x,Fiz} = v_x \dot{E}_{x_k} \quad (14)$$

$$\dot{R}_{x_k} \dot{E}_{x_k} = (T_B - T_0) \dot{R}_{x_k} X_{x_k}^E \quad (15)$$

Bu denklemler dikkate alınarak 11 denklemi yeniden düzenlenirse baca gazı ekserjisi;

$$\dot{E}_{x,B} = v_T \sum_k \dot{R}_{x_k} \dot{E}_{x_k}^0 + P T_0 \sum_k \dot{R}_{x_k} \lambda v_{x_k} + (T_B - T_0) \dot{R}_{x_k} X_{x_k}^E \quad (16)$$

bağıntısı ile bulunur. Yukarıdaki denklemlerde; n baca gazı hacmini, E<sup>0</sup> her bir gazın standart kimyasal ekserjisini, x gazların hacimsel oranlarını, Cp her bir gazın baca gazı sıcaklığına tekabül eden ekserjetik ısı kapasitesini göstermektedir. Ekserjetik ısı kapasiteleri Kotas (5) tarafından verilen bağıntı yardımı ile aşağıdaki şekilde hesaplanır.

### 3. Sonuç ve Tartışma

Bu çalışmada, örnek olarak, fuel-oil kullanılan Atatürk Ü. merkezi ısıtma sistemi kazan bacalarının enerji ve ekserji kayıpları analiz edilmiştir. Bir bilgisayar programı yardımı ile ilgili bağıntılar kullanılarak baca enerji ve ekserji kayıpları çıkarılmıştır. Yakıtın kütleli analizi Çizelge 2'de ve baca gazı bileşenleri Çizelge 3'te verilmiştir. Burada diğer çıkan ürünler eser miktarda olduğundan dolayı ihmal edilmiştir.

Çizelge 2. Yakıtın kütleli analizi [6]

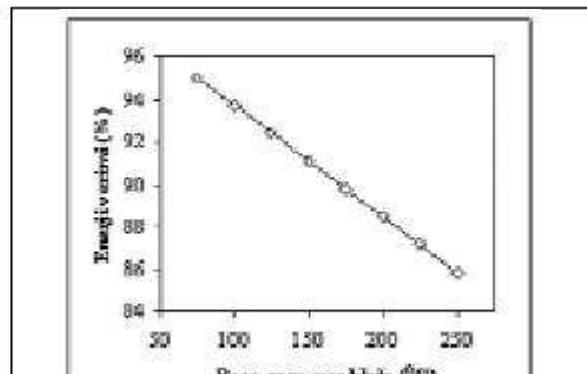
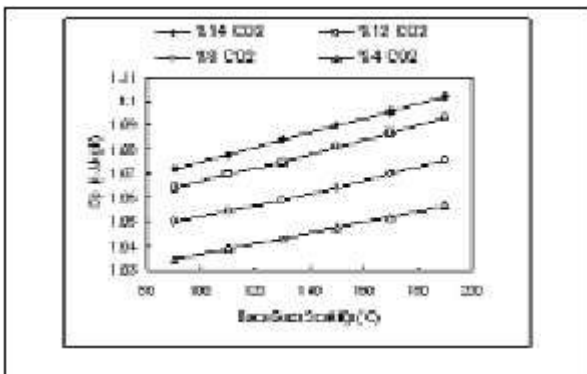
c	h	o	n	S
%	%	%	%	%
0.84	0.11	0.02	0.02	0.01

Çizelge 3. Baca gazı bileşenleri

HFK=1.3		
Bileşen	n(kmol)	x (%)
CO <sub>2</sub>	7000	11.09
H <sub>2</sub> O	5500	8.72
SO <sub>2</sub>	31.25	0.0049
O <sub>2</sub>	2920	4.62
N <sub>2</sub>	47626	75.5

Enerji ve ekserji kayıplarının hesaplanması için baca gazı özgül ısısının bilinmesi gerekir. Ancak baca gazı özgül ısı hem sıcaklık hem de içerisindeki gaz oranlarına göre değişmektedir. Şekil 1'de bu değişim verilmektedir. Bu değişim gaz oranlarına ve baca gazı sıcaklığına göre 1.02 ile 1.1 arasında değişmektedir. Ancak pratik sonuç olması açısından gerek sıcaklık değişimi gerekse gaz oranları dikkate alınmadığında Fuel-Oil için ortalama baca gazı özgül ısı C<sub>p</sub>=1.065 kJ/kgK olarak alınabilir.

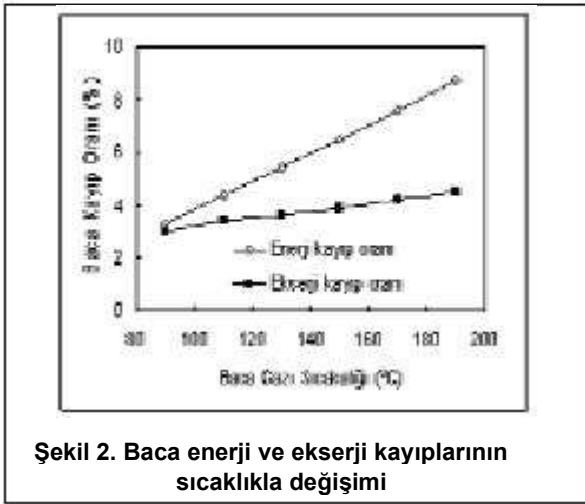
Baca gazı enerji ve ekserji kayıplarının büyüklüğüne etki eden en önemli faktör, baca gazı sıcaklığıdır. Baca gazı sıcaklığı arttıkça baca gazı enerji ekserji kayıpları da artmaktadır. Sistemde baca gazlarından yararlanılmaması durumunda yüksek sıcaklıkta baca gazı önemli ölçüde verim düşmesine neden olmaktadır. Şekil 2'de baca gazı sıcaklığına bağlı olarak baca enerji ve ekserji kayıpları verilmiştir.



**Şekil 1. Baca gazı özgül ısısının, COve Һaca gazı sıcaklığı ile değişimi**

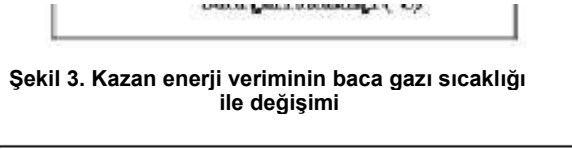
Baca gazı sıcaklığı arttıkça baca kayıpları artmak - tadır. Bundan dolayı baca gazının yüksek olması durumunda baca gazı ısısından faydalanmak ge - rekir. Ancak burada sınırlayıcı bir faktör vardır. Çı - kışta baca gazı sıcaklığının 130 °C'nin altına düşmemesi gerekir. Gaz sıcaklığı bu sıcaklığın altına düşmesi durumunda baca gazı içerisindeki su buharı yoğunlaşır ve SO'lerle birleşerek kü - kört asitleri oluştururlar. Bu asitlerde baca ele - manlarında

korozyona neden olur. Bundan dolayı baca gazı ısısından faydalanılması durumunda çıkışta baca gazı sıcaklığının 130 °C'nin üzerinde (180–220 °C) olmasına özen gösterilmelidir.



**Şekil 2. Baca enerji ve ekserji kayıplarının sıcaklıkla değişimi**

Yukarıda açıklandığı gibi baca gazı sıcaklığı ile baca gazı enerji ve ekserjilerinin artması kazan ve - rimlerinin düşmesine neden olmaktadır. Şekil 3 ve 4'de bu durum görülmektedir. Baca gazının her 25°C sıcaklık artışında enerji veriminde yaklaşık %1.31, ekserji veriminde ise %0.4 düşme meydana



**Şekil 3. Kazan enerji veriminin baca gazı sıcaklığı ile değişimi**



**Şekil 4. Kazan ekserji veriminin baca gazı sıcaklığı ile değişimi**

na gelmektedir.

Baca gazı içerisindeki karbondioksit ve oksijen yüzdelерinin hava fazlalık katsayısının artması ile değişimi görülmektedir. Karbondioksit oranının hava fazlalık katsayısı ile ters orantılı değişirken, oksijen oranı doğru orantılı olarak değişmektedir. Hava fazlalık katsayısı arttıkça baca enerji ve ekserji kayıpları da artmaktadır. Çünkü hava fazlalık katsayısının artması durumunda yanma sırasında gerekli hava miktarından daha fazla hava yan - ma işlemine girmekte ve enerjinin bir kısmını ala - rak bacadan atılmaktadır. Bundan dolayı yanma işleminde hava fazlalık katsayısına gereken önem verilmelidir.

Bacadan atılan ısıdan faydalanılarak, kazan giriş havasının ısıtılması, tesisin sıcak su ihtiyacının kar - şılanması veya sanayi tesislerinde çeşitli proses - lerin enerji ihtiyacı karşılanabilir. Örneğin 1MW gücündeki bir kazan bacasında baca sıcaklığı 200 °C

ve baca debisinin yaklaşık 2200 kg/h'dir. Fuel-oil için minimum baca gazı sıcaklığı 185°C olduğu düşünülürse bu durumda 15 °C'lik bir sıcaklık farkı için yararlanılabilecek baca gazı enerjisi:

$$E_{YB} = 2200 \cdot 1.07 \cdot (200 - 185)$$

$$E_{YB} = 35310 \text{ kJ/h} = 9.8 \text{ kW}$$

Bu enerji ile bir saatte yaklaşık 280 kg suyu 15 °C den 45°C ye kadar ısıtmak mümkündür. Bu miktar sıcak su tesisin sıcak su ihtiyacını çok rahat karşı - lar. Ancak bu duruma yeterince dikkat edilmediğinden baca enerjisi birçok tesiste atmosfere atıl - maktadır.

Ayrıca özellikle ısıtma sistemlerinde kullanılan ısı pompaları çalışma sistemleri gereği ısı kaynağı - na ihtiyaç duyarlar. Bundan dolayı baca gazı ısı ısı pompaları için çok iyi bir kaynak olabilir. Bu tür

lı ısı pompaları olarak adlandırılırlar.

## 5. Kaynaklar

- [1]. Çomaklı K., 2003, Atatürk Ü. ısıtma mer - kezinin enerji ve ekserji analizi, Atatürk Ü. Fen Bil. Enst.
- [2]. Dağsöz A.K., 1999, Konutlarda ekonomik ısıtma el kitabı, İzocam Yayınları, 120, İstan - bul.
- [3]. Akaya, E., 1995, Kazan bacalarındaki ısı kayıplarının belirlenmesi, Termodinamik Şubat Sayısı, sayfa 47-48
- [4]. Borat, O., Balcı, M., Sürmen A., 1992, Yanma Bilgisi. Teknik Eęitim Vakfı Yayınları.
- [5]. Kotas, T.J., 1995, The exergy method of ther - mal plant analysis, Krieger Publishing
- [6]. Terziođlu, T., 1997, Kazanlarda yanma verimi ve çevre kirlilięine etkisinin incelenmesi,

