

FIRINLARDA ENERJİ VERİMLİLİĞİ

BEYZA BAYRAKÇI

FIRINLARDA ENERJİ VERİMLİLİĞİ

1. Metal Eritme İşleminde Enerji Tasarrufu
2. Fırınlarda Enerji Etüdü İçin Örnek Çalışma
 - 2.1. Ölçme yönetimi ve ölçme cihazları
 - 2.2. Ölçme ve hesaplama sonuçlarını değerlendirme
 - 2.3. Potansiyel tasarruf alanları



1. METAL ERİTME İŞLEMİNDE ENERJİ TASARRUFU

- Metal bütün sanayi tüketiminin yaklaşık %65'ni oluşturur.
- Eritme işleminde farklı özelliklerdeki ocak ve fırınlar kullanılır.

Eritme Fırını Tipi	Isıl Verim(%)
Gaz yakıtlı pota fırını	7-9
Kupol	40-50
Ark fırını	35-45
İndüksiyon	50-76
Elektrikli yansımali fırın	50-76
Gazlı yansımali fırın	30-45
Döner fırın	35
Baca tipi fırın	40-45



1. METAL ERİTME İŞLEMİNDE ENERJİ TASARRUFU

- Fırınlarda enerji kaynağı olarak genellikle doğalgaz ve elektrik kullanılmaktadır.
- Fırınlarda enerjin tüketimini azaltarak, enerji tasarrufu sağlamak için alınması gereken önlemler ve yapılabilecek tasarruf noktaları oranları şunlardır.

Eritme Teknolojisi	Isıl Verim(%)
Dolgunun ön ısıtılması	5-10
Soğutma	5-10
Hava ön ısıtma	10-20
Erimiş metali karıştırma	5-30
İşletmenin iyileştirilmesi	0-30
Oksijen zenginleştirme teknolojisi	0-40



1. METAL ERİTME İŞLEMİNDE ENERJİ TASARRUFU

- Burada verilen önlemler küçük kapasiteli tek eritme teknolojilerinde uygulanabilir özelliklerdedir.
- Bütün demir-çelik sektöründe şarjın ön ısıtılması ve oksijen zenginleştirilmesi tüm ergime işlemlerinde ısıtılması ve oksijen zenginleştirilmesi tüm ergime işlemlerinde uygulanmaktadır.
- Gaz yakıtlı ergime fırınlarında, yakma havasının ön ısıtılması çok uygulanan bir yöntemdir.



1. METAL ERİTME İŞLEMİNDE ENERJİ TASARRUFU

- Metal ergitme süresi; fırının yapısına, enerji türüne, kullanılan refrakter kalitesine, ham maddenin boyutuna, yardımcı ekipmanlara ve ilave yakıt miktarına bağlıdır.



2. FIRINLARDA ENERJİ ETÜDÜ İÇİN ÖRNEK ÇALIŞMA

- Etüdün ilk adımı olarak fırında tüketilen enerjilerin belirlenmesi olmuştur. Fırında yakıt olarak doğalgaz ve elektrik kullanılmaktadır.
- İkinci adım olarak fırın ölçüleri projeden alınarak, gövde ısı kayıplarının hesaplanmasında kullanılmıştır.
- Üçüncü adım da ise baca gazı analizleri yapılmıştır. Bu adımda enerji analizörü ile fırında bulunan elektrik motorlarının tükettiği elektrik ölçülerek belirlenmiştir.
- Son olarak da termal kamera ile fırın gövdesinde ölçümler yapılarak sıcaklık ölçümleri yapılmıştır. Bu ölçümler fırın gövdesinde kaybolan enerji miktarını belirlemede bilgi kaynağı olacaktır.



2.1. ÖLÇME YÖNTEMİ VE ÖLÇME CİHAZLARI

- Tav fırınlarının ısı veriminin hesaplanmasında direkt ve dolaylı yöntem olmak üzere iki yöntem kullanılmaktadır;
- Direkt yöntemde ısı verim, malzemenin aldığı ısının, kullanılan yakıt ısısına bölünmesi ile hesaplanmaktadır. Bu yöntemde aşağıdaki ölçümler gerçekleştirilmelidir;
 - Fırına giren ve çıkan kütük miktarları,
 - Kütüğün fırına giriş ve çıkış sıcaklığı,
 - Yakıt besleme miktarı,
 - Yakıtın alt ısı değeri.



2.1. ÖLÇME YÖNTEMİ VE ÖLÇME CİHAZLARI

- Bu ölçümler doğrultusunda ısı verim ifadesi genel olarak şu şekilde verilebilir:

$$\eta = \frac{m_k c_{p2} T_2 - m_k c_{p1} T_1}{BH_u}$$

- Dolaylı yöntemde ise ısı verim, fırın kayıplarının çıkarılması ile hesaplanabilmektedir. Bu kayıplar; baca gazı kayıpları, açıklık kayıpları, tufal kayıpları, duvar kayıpları, soğutma suyu kayıpları ve diğer hesaplanmayan kayıplardır.

$$\eta = 1 - \sum Z$$



2.1. ÖLÇME YÖNTEMİ VE ÖLÇME CİHAZLARI

- Dolaylı yöntemle ısı verim hesaplanırken aşağıdaki ölçümler gerçekleştirilmeli ve sonuç verileri göz önüne alınmalıdır:
 - Fırına giren ve çıkan kütük miktarları,
 - Fırına giren ve çıkan kütük sıcaklıkları,
 - Yakıt besleme miktarı,
 - Yakıtın alt ısı değeri ve elementel analizi,
 - Baca gazı analizi (baca gazında sıcaklık, hız, basınç ve gaz ölçümleri),
 - Yakma havası sıcaklığı,



2.1. ÖLÇME YÖNTEMİ VE ÖLÇME CİHAZLARI

- Fırın sıcaklığı,
- Fırın dış cidar sıcaklıkları,
- Rekuperatör öncesi ve sonrası egzoz gazı sıcaklığı,
- Rekuperatör öncesi ve sonrası oksijen oranı,
- Soğutma suyu debisi,
- Soğutma suyu giriş ve çıkış sıcaklıkları.



2.1. ÖLÇME YÖNTEMİ VE ÖLÇME CİHAZLARI

- Baca gazı, fırın çıkışı egzoz gazı ve reküperatör çıkışı egzoz gazı analizleri için elektrokimyasal detektör yöntemi ile çalışan TESTO 350S ve TESTO 350XL marka gaz analiz cihazları kullanılmıştır.
- TESTO 445 marka cihaz ile baca gazı hız ve basınç değerleri ölçülmüş ve baca gazı debileri hesaplanmıştır.
- Baca gazı debilerinin ölçümünden sonra, baca çıkışı O₂ yüzdesi ve fırın çıkışı O₂ yüzdelerinden faydalanılarak fırın yanma gazı debisi hesaplanmıştır.
- Sisteme beslenen kütük ve oluşan tufal miktarı bilgileri ise işletmeden alınmıştır. Ayrıca bunlara ait giriş ve çıkış sıcaklık değerleri sıcaklık ölçüm cihazlarıyla belirlenmiştir.



2.2. ÖLÇME VE HESAPLAMA SONUÇLARINI DEĞERLENDİRME

- Demir-çelik haddehanesine ait tav fırınlarında, enerji tasarrufu potansiyelini belirlemek amacıyla; yanma gazı analizi, hız, basınç ve sıcaklık ölçümleri yapılmaktadır.
- Ölçüm verileri kullanılarak kütle ve enerji dengeleri kurulmaktadır. Kütle ve enerji dengelerinden hareketle, her bir fırında verim, potansiyel tasarruf alanları ve tasarrufların boyutları hesaplanmaktadır.



2.2. ÖLÇME VE HESAPLAMA SONUÇLARINI DEĞERLENDİRME

- Verim kayıplarında etkili koşullar;
 - Fırınlarda yüksek hava fazlalık katsayılarında çalıştırılması
 - Mevcut reküperatörün düşük verimle çalışması
 - Baca gazı kayıpları



2.2. ÖLÇME VE HESAPLAMA SONUÇLARINI DEĞERLENDİRME

Haddehane Tav Fırını Ölçme Sonuçları

- Haddehane tav fırını reküperatör öncesi ve sonrası oksijen oranı ve egzoz gazı sıcaklığı ölçüm değerleri ile yakıt debileri şöyledir.

Haddehane Tav Fırını		
	O^2 (%)	Sıcaklık(oC)
Reküperatör öncesi	8,64	587
Reküperatör sonrası	8,64	458
LNG (Nm ³ /h)	506	



2.2. ÖLÇME VE HESAPLAMA SONUÇLARINI DEĞERLENDİRME

- LNG analiz değerleri

Yakıt Bileşimi (kütlesel:%)	CH_4	C_2H_6	C_3H_8	C_4H_{10}	CO_2	N_2	Alt Isıl Değer (kcal/kg)
Organik baz	94.9	3.1	1.0	0.3	0.5	0.2	8.414



2.2. ÖLÇME VE HESAPLAMA SONUÇLARINI DEĞERLENDİRME

- Yakıt miktarı, fırın yanma gazı oksijen yüzdesi ve yakıtın elementel analizleri kullanılarak yanma gazı analizleri yapılmış ve sonuçları aşağıdaki gibidir.



2.2. ÖLÇME VE HESAPLAMA SONUÇLARINI DEĞERLENDİRME

Yakıt			Yanma Türleri					
Yakıt Analizi	%(ob)	Stok. O_2	CO_2	N_2	Argon	H_2O	O_2	Diğer
CH_4	94.9	960	482	3.579	43	1.044	0	0
C_2H_6	3.1	55	31	205	2	52	0	0
C_3H_8	1.0	25	15	94	1	22	0	0
C_4H_{10}	0.3	10	6	37	0	8	0	0
CO_2	0.5	0	0	0	0	0	0	0
N_2	0.2	0	3	0	0	0	0	0
Toplam	100%	0	0	0	0	0	0	0
Fazla Hava (m^3/h)			1	3.123	37	73	838	0
Gaz Bileşimi % (ob)			5.55	72.57	0.86	12.38	8.64	0.00

2.2. ÖLÇME VE HESAPLAMA SONUÇLARINI DEĞERLENDİRME

- Önceki tablodaki bileşenleri kullanılarak toplam stokiyometrik yanma gazı, teorik yakma havası, fazla hava, teorik toplam yanma havası, fırın çıkış gazı debileri, fazla hava oranı hesaplanmıştır.

Sistemin Toplam Yakma Havası ve Fırın Yanma Gazı Debileri	
Teorik Yakma Havası (Nm^3/h)	5.106
Teorik Fırın Çıkışı Gaz Debisi (Nm^3/h)	5.626
Fazla Hava Miktarı (Nm^3/h)	4.073
Toplam Fırın Çıkışı Gaz Debisi (Nm^3/h)	9.699
Fırına Giren Hava (Nm^3/h)	9.179
Fazla Hava Oranı (%)	79,77

2.2. ÖLÇME VE HESAPLAMA SONUÇLARINI DEĞERLENDİRME

Tav Fırını Verimi

- Tav fırını verimi; kütüğün kütleli debisi, kütüğe verilen ısı miktarı ve toplam yakıt ısısı kullanılarak hesaplanmıştır.

Değişken	Değeri
Kütük debisi (m_b , kg/h)	13,900
Kütüğe verilen ısı Q_s (kcal/h)	2,276,820
Toplam yakıt ısısı Q_y (kcal/h)	4,257,484
Genel verim (%, Q_s/Q_y)	52,76



2.3. POTANSİYEL TASARRUF ALANLARI

1. FAZLA HAVANIN AZALTILMASI

- Tav fırınında yapılan ölçümlerde fırının; fırın dizayn değeri olan optimum (%10) hava fazlalık katsayısının üzerinde çalıştığı tespit edilmiştir. Fırın çıkışı yapılan gaz analizinde, fırının optimum hava fazlalık katsayısının üzerinde çalışmasına rağmen baca gazı analiz sonuçlarında yüksek miktarda karbon monoksit (330~480 ppm) çıktığı da görülmüştür. Bu durumun nedeni; fırın iç basıncının atmosfer basıncından düşük olması nedeniyle fırına dışardan hava girmesidir. Reküperatör sonrası (baca hattına) damper konularak fırın iç basıncı atmosfer basıncını üzerine çıkartılabilir (fırın içi efektif basınç: 0,5 mmSS'ye çıkarılarak bu problem çözülebilir).



2.3. POTANSİYEL TASARRUF ALANLARI

1. FAZLA HAVANIN AZALTILMASI

- Fırına dışarıdan hava girmeyeceği için fırın optimuma yakın hava-yakıt oranıyla çalıştırılabilir. Hava fazlalık katsayısının optimum değerine çekilmesi durumunda yapılacak enerji tasarrufu miktarı aşağıda verilmiştir.



2.3. POTANSİYEL TASARRUF ALANLARI

1. FAZLA HAVANIN AZALTILMASI

Fazla Havanın Azaltılması ile Yapılacak Tasarruf Miktarı

Fazla hava debisi (Nm^3 / h)	4.073
Fazla hava oranı (%)	79,77
Hedef fazla hava oranı (%)	10
C_p ($\text{kcal}/\text{Nm}^3 \text{ K}$)	0,34
Havadaki azalma (Nm^3 / h)	3.563
Hava giriş sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$)	18
Baca gazı sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$)	458
Enerji tasarrufu (Kcal/h)	533.132
Fırın yıllık çalışma süresi (h)	2.300
Yıllık enerji tasarrufu (Kcal)	1.226.203.188
Tasarrufun LNG karşılığı (Nm^3 / h)	63,36



2.3. POTANSİYEL TASARRUF ALANLARI

2. YÜKSEK KAPASİTELİ YENİ REKÜPERATÖR İMALATI

- Mevcut reküperatörün ısı transfer yüzey alanı yetersiz olduğu için baca gazı ısısının çok büyük bir bölümü fırın yakma havasına (taze havaya) aktarılamamaktadır.
- Baca gazı sıcaklığı “yoğuşma” sıcaklığı olarak belirlenen sınırın (110-120 °C) altına düşürülmeden bacadan atılan bu enerji, yüksek verimli bir reküperatör ile fırına tekrar kazandırılabilir.



2.3. POTANSİYEL TASARRUF ALANLARI

2. YÜKSEK KAPASİTELİ YENİ REKÜPERATÖR İMALATI

- Yüksek kapasiteli yeni bir reküperatör imalatı ile yapılacak enerji tasarruf miktarı şu şekildedir.

Yüksek Kapasiteli Reküperatör ile Yapılacak Tasarruf Miktarı

Mevcut reküperatör çıkışı baca gazı sıcaklığı (°C)	458
Yeni imal edilecek reküperatör çıkışı baca gazı sıcaklığı (°C)	180
Reküperatör çıkışı gazı debisi (Nm^3 / h)	6.136
C_p ($\text{kcal}/\text{Nm}^3 \text{ K}$)	0,35
Enerji tasarrufu (Kcal/h)	704.446
Fırın yıllık çalışma süresi (h)	2.300
Tasarrufun LNG karşılığı (Nm^3 / h)	83,72

2.3. POTANSİYEL TASARRUF ALANLARI

3. TUFAL KAYBININ ÖNLENMESİ

- Çelik, haddeleme sıcaklığına kadar ısıtıldığında oksijenin metal yüzeyi ile reaksiyona girmesi sonucu tufal meydana geldiği bilinmektedir.
- Meydana gelen tufal miktarı: fırındaki hava fazlalık katsayısına, ısıtma süresine, ısıtılan çeliğin kalitesine, fırın atmosferine, ısıtma aparatlarının tip ve kullanım şekillerine bağlı olduğu belirtilmektedir.



2.3. POTANSİYEL TASARRUF ALANLARI

3. TUFAL KAYBININ ÖNLENMESİ

- Tav fırını çıkışı (reküperatör öncesi) yapılan gaz analizinde, fırına gönderilen yakma havası miktarının gereğinden fazla olduğu tespit edilmiştir.
- Yakma havası miktarı gereğinden fazla olduğunda, fırın sıcaklığı düşmekte ve hava fazlalığından dolayı tavlancak malzeme tufal oluşup malzeme kaybı meydana gelmektedir.



2.3. POTANSİYEL TASARRUF ALANLARI

3. TUFAL KAYBININ ÖNLENMESİ

- Ölçümler sonucunda Tav Fırınında tufal kaybı ortalama %2,5'dir. Yapılan araştırmalarda bu değerin ortalama %1,8-2'ye çekilebileceği anlaşılmıştır.



2.3. POTANSİYEL TASARRUF ALANLARI

4. TOPLAM TASARRUF MİKTARI

- Yukarıda belirtilen tasarruf potansiyellerinin değerlendirilmesi durumunda yapılacak toplam enerji tasarrufu ve bu tasarrufun mali karşılığı aşağıda verilmiştir.

Tasarrufun Adı	Enerji (Kcal/h)	Tasarrufun LNG Karşılığı (Nm ³ /h)	Yıllık Mali Değeri (USD)
Fazla havanın azaltılması	533.132	63,36	80.154
Mevcut reküperatörün yüksek verimli (yüksek kapasiteli) bir reküperatörle değiştirilmesi	704.446	83,72	105.910
TOPLAM	1.237.578	147,08	186.063

2.3. POTANSİYEL TASARRUF ALANLARI

5. YATIRIMLAR VE GERİ ÖDEME SÜRELERİ

- Yukarıda hesaplanan potansiyel tasarruf alanlarından “fazla havanın azaltılması” ve “yüksek verimli reküperatörün imal edilmesi” ile yapılacak olan tasarruf miktarları için yatırım miktarları ve geri ödeme süreleri aşağıda verilmiştir.



2.3. POTANSİYEL TASARRUF ALANLARI

5. YATIRIMLAR VE GERİ ÖDEME SÜRELERİ

Tasarrufun Adı	Yapılacak Olan Yatırım	Yatırımın Maliyeti (USD)	Tasarruf Miktarı (USD)	Yatırımın Geri Ödeme Süresi
Fazla Havanın azaltılması	Tav fırını çıkışı oksijen ölçme sistemi	10.000	95.151	1-3 ay
Mevcut reküperatörün yüksek verimli (yüksek kapasiteli) bir reküperatörle değiştirilmesi	Yüksek verimli bir reküperatör imali	55.000	142.180	4-6 ay



KAYNAKÇA

- http://www1.mmo.org.tr/resimler/dosya_ekler/8e4f62a99f58260_ek.pdf
- <http://dergipark.gov.tr/download/article-file/76533>
- Sanayide Enerji Yönetimi ve Enerji Verimliliği
(D.U / H.Ö)

