

# FARKLI İZOLASYON PRATIĞİ VE TUĞLA ÖRÜMÜ UYGULANAN ÇELİK POTALARININ POTA OCAĞI ENERJİ VERİMLİLİĞİNE ETKİSİ

Oğuzhan Sakarya<sup>1</sup>, Burak Ekin<sup>1</sup>, Uğur Cengiz<sup>1</sup>, Muammer Bilgiç<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Bilecik Demir Çelik San. Tic. A.Ş., Türkiye

Anahtar Kelimeler: Çelik, MgO-C, Dolomit, Tuğla, İzolasyon, Enerji, Pota

## Abstract

In this study, the effect of the insulation practice and the type of refractory bricks on the heat loss of liquid steel in the ladles was investigated. Prevention of heat loss in ladles is an important parameter on both of the tapping temperature of the Induction Furnaces and operating time and energy consumption of Ladle Furnace (LF). Accordingly, it was aimed to save energy in the LF due to reduce the heat loss from ladles via using insulating materials which have different thickness and thermal conduction coefficient together with MgO-C and Dolomite refractory bricks.

In this context, the parameters such as temperature differences between the tapping temperature and the inlet temperature of LF, the outlet temperatures of LF, working time and the energy consumption were recorded, and analyzed with the isolation-brick differences.

As a result; Dolomite ladle offers higher energy efficiency than MgO-C ladle due to the properties of Dolomite bricks. However, the type of brick is not only parameter for good insulation and energy efficiency. Due to the insulation materials that provide better thermal insulation, the energy spent in MgO-C ladles for heating 1°C of liquid steel was reduced by 6% while in Dolomite ladles was reduced by 3%.

## Özet

Bu çalışmada, BDÇ'de kullanılan çelik potalarında uygulanan izolasyon pratiğinin ve örülen tuğla cinsinin potadan sıvı çelik sıcaklığı kaybına olan etkisi incelenmiştir. Çelik potalarında sıcaklık kaybını önlemek hem İndüksiyon Ocakları'nın döküm devirme sıcaklığı hem de Pota Ocağı çalışma süresi ve enerji tüketimi üzerinde etkin bir parametredir. Bu doğrultuda, çelik potalarında MgO-C ve Dolomit olmak üzere iki farklı pota tuğlasıyla birlikte farklı kalınlık ve farklı ısı iletim katsayılarına sahip pota izolasyon malzemelerinin kullanılmasıyla potalardan sıcaklık kaybının azaltılarak Pota Ocağında enerji tasarrufu sağlanması amaçlanmıştır.

Bu kapsamda, Döküm devirme ve Pota Ocağı girişi arasındaki sıcaklık farkları, Pota Ocağı çıkış sıcaklıkları,

çalışma süresi ve harcanan enerji gibi parametreler kayıt altına alınmış ve izolasyon-tuğla farklarıyla birlikte incelenmiştir.

Sonuç olarak; Dolomit bir pota Dolomit tuğlaların özelliği gereği MgO-C potalara göre daha yüksek enerji verimliliği sunmaktadır. Ancak iyi bir izolasyon ve enerji verimliliği için tuğla cinsi tek etken değildir. Daha iyi ısı yalıtım sağlayan izolasyon malzemeleri sayesinde MgO-C potalarda sıvı çeliği 1°C ısıtabilmek için harcanan enerji %6 düşürülürken Dolomit potalarda ~%3 düşürülmüştür.

## 1. Giriş

Uluslararası yayınlanan enerji raporlarında, son yıllardaki CO<sub>2</sub> emisyonlarındaki düşüşün büyük bir kısmının geliştirilen enerji tasarrufu teknolojileri sayesinde olduğu belirtilmektedir. Enerji tasarruf uygulamaları, çoğunlukla yüksek enerji tüketiminden dolayı sanayi sektöründe yaygın olarak kullanılmaktadır [1]. Bununla birlikte, endüstriler toplam küresel enerji tüketiminin yaklaşık %37'sinden ve günümüzde çevresel etkilerin büyük bir kısmından sorumlu olduğundan, bu uygulamaları geliştirmek için hala birçok fırsat bulunmaktadır [2].

Demir-Çelik endüstrisi gibi yüksek sıcaklık süreçleriyle çalışan endüstriler, üretim süreçleri sırasında düşük ısı kayıpları elde edebilmek için verimli ısı yönetim kontrol sistemlerinin kullanılması ve bu sistemlerin geliştirilmesi için enerji tasarrufu teknolojilerine yatırım yapmaktadırlar. Dünya Çelik Birliği'ne göre, CO<sub>2</sub> emisyonlarının %7'si demir ve çelik üretiminden kaynaklanmaktadır [3]. Bu nedenle, çelik üreticileri, modern çelik ürünlerine olan talebin artması ve çevresel etkileri nedeniyle çelik üretimindeki enerji tüketimini azaltmak için yeni stratejiler aramaktadır. Çelik üretim süreçlerindeki enerji çözümlerinin çoğu, tüm fırınlarda, potalar ve tandişlerdeki refrakter ve izolasyon tasarımının uygun olmasına direkt bağlıdır. Bu sayede ısı kayıpları kontrol altına alınabilir ve bir ton çelik başına spesifik refrakter tüketimi azaltılabilir.

Özellikle çelik potaları çelik üretiminde önemli bir rol oynamaktadır. Potalar, sıvı metali ana ergitme biriminden (*indüksiyon ocağı*) önce ikincil metalürjik işlem birimine (*LF*) sonra da sürekli döküm makinesine (*SDM*) aktarmak için kullanılan çok işlevli kaplardır. Potalar, sıvı metali

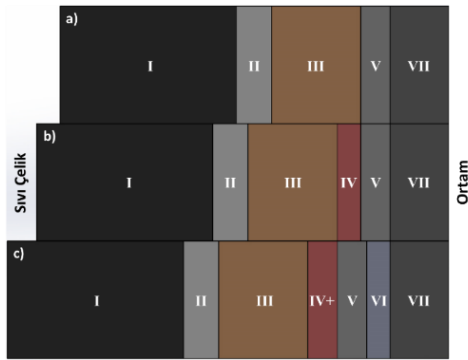
içerisinde tutarken aynı zamanda alaşımlama, gaz giderme ve yeniden ısıtma işlemlerinin gerçekleştirilmesine olanak sağlarlar [4,5]. Çelik potalarının refrakter ve izolasyon optimizasyonlarının doğru olarak yapılması için üretim süreçleri boyunca oluşan parametrelerin, enerji tüketiminin ve ısıl dengenin iyi gözlemlenip doğru anlaşılması oldukça büyük bir öneme sahiptir. Çelik potaları üretim süreçleri içerisinde döngüsel olarak çalışırlar ve bunlar dolu (sıvı metal var iken) ve boş olmak üzere iki durumda bulunurlar. Her iki durumda da karşımıza fiziksel ve kimyasal olarak farklı etmenler çıkar ve potanın döküm sayısına bağlı olarak pota refrakterleri (tuğlalar) başlangıç kondisyonlarına göre değişiklik (aşınma) gösterirler. Her pota döngüsünün enerji tüketimi; içerisinde sıvı çeliğin beklediği durumda sıvı çelik tarafından kaybedilen ısı miktarına (bu ısı kayıplarını geri kazanmak için gereken ekstra enerji tüketimi dikkate alınarak) ve ısıtma basamaklarında harcanan enerji miktarına göre tahmin edilebilir.

Tüm bu etkenler göz önünde bulundurulduğunda bu çalışma kapsamında, BDÇ’de kullanılan 35 ton kapasiteye sahip çelik potalarında ısıl kayıpları azaltmak ve pota ocağı enerji kullanımını daha verimli kılabilmek için pota izolasyon katmanları ve örülen pota tuğlalarının cinslerinin ısı kayıpları üzerindeki etkileri incelenmiştir.

## 2. Deneysel Çalışmalar

### 2.1. Malzemeler

BDÇ bünyesinde kullanılmakta olan çelik potalarında, enerji verimliliği sağlanması ve ısıl kayıpların azaltılması amacıyla farklı izolasyon malzemeleri kullanılarak üç farklı tipte izolasyon pratiği uygulanmıştır. Potaların yan duvar katmanlarının görünüşü *Şekil 1*’de ve taban katmanlarının görünüşü *Şekil 2*’de verilmiştir.



**Şekil 1.** a) Standart izolasyon, b) ilave katmanlı izolasyon ve c) ilave iki katmanlı izolasyon tiplerindeki pota yan duvar katmanları

Pota yan duvarı katmanlarının isimleri, et kalınlıkları ve ısıl iletkenlik katsayıları *Tablo 1*’de verilmiştir. Buna göre; *Şekil 1a*’daki konfigürasyonda toplam pota duvar kalınlığı

317 mm olur iken *Şekil 1b* konfigürasyonu için 323 mm ve *Şekil 1c* konfigürasyonu için de 332 mm olmaktadır.



**Şekil 2.** a) Standart izolasyon, b) ilave katmanlı izolasyon ve c) ilave iki katmanlı izolasyon tiplerindeki pota taban katmanları

**Tablo 1.** Pota yan duvar katmanlarının isimleri, et kalınlıkları ve ısıl iletkenlik katsayıları

	Malzeme Adı	Kalınlık (mm)	Isıl İletkenlik Katsayısı (W/K <sup>2</sup> m)
<b>I</b>	MgO-C/ Dolomit Tuğla	150	3,64/2,05
<b>II</b>	Toz Dolgu	30	2,5
<b>III</b>	%80 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Emniyet Tuğlası	76	0,95
<b>IV/IV+</b>	Nefalit 16	6/10	0,30
<b>V</b>	1000°C Mikroporoz	11	0,03
<b>VI</b>	1100°C Mikroporoz	5	0,034
<b>VII</b>	Pota Sacı	50	52

*Şekil 2*’de taban katmanları gösterilen potaların katman isimleri, et kalınlıkları ve ısıl iletkenlik katsayıları ise *Tablo 2*’de verilmiştir.

**Tablo 2.** Pota taban katmanlarının isimleri, et kalınlıkları ve ısıl iletkenlik katsayıları

	Malzeme Adı	Kalınlık (mm)	Isıl İletkenlik Katsayısı (W/K <sup>2</sup> m)
<b>I</b>	MgO-C/ Dolomit Tuğla	250	3,64/2,05
<b>II</b>	Toz Dolgu	10	2,5
<b>III</b>	%80 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Emniyet Tuğlası	181	0,95
<b>IV/IV+</b>	Nefalit 16	6/10	0,30
<b>V</b>	1000°C Mikroporoz	11	0,03
<b>VI</b>	1100°C Mikroporoz	5	0,034
<b>VII</b>	Pota Sacı	50	52

Tablo 2'deki et kalınlığı değerleri incelendiğinde Şekil 2a'da belirtilen taban konfigürasyonu için toplam kalınlık 502 mm olur iken Şekil 2b ve Şekil 2c konfigürasyonları için sırasıyla 508 mm ve 517 mm olmaktadır.

## 2.2. Yöntem

Yukarıda konfigürasyonları (Şekil 1 ve Şekil 2) ve kullanılan malzemelerin özellikleri (Tablo 1 ve Tablo 2) verilen izolasyon pratiklerinin pota ocağı enerji verimliliğine etkisini belirlemek adına potaların kaybettiği enerji miktarları ve pota yüzeyine ilettiği sıcaklıklar Fourier Kanunu (Eşitlik 1) ile hesaplanarak üretim süreci verileriyle karşılaştırılmıştır.

$$Q_{\text{kayıp}} = Q_{\text{kayıp-yan yüzey}} + Q_{\text{kayıp-taban}} + Q_{\text{kayıp-yayınım}} \quad (1)$$

Eşitlik 1 kullanılarak Pota Yan Yüzeyleri, Taban Yüzeyi ve Pota ağzından kaybedilen ısı miktarı hesaplanarak izolasyon katmanları arası sıcaklıkları tek tek belirlenmiştir. Bu hesaplamalar yapılırken kullanılan sabitler Tablo 3'de verilmiştir.

Tablo 3. Varsayılan katsayı ve sabitler

Isıl İletkenlikler	Değer
Cüruf ( $\lambda_{\text{cüruf}}$ )	1.21 W/K <sup>0</sup> m
Sıvı Çelik ( $\lambda_{\text{sıvı çelik}}$ )	41 W/K <sup>0</sup> m
Isı Transfer Katsayıları	
Sıvı çelik ( $\alpha_{\text{sıvı çelik}}$ )	7000 W/K <sup>0</sup> m <sup>2</sup>
Ortam ( $\alpha_{\text{hava}}$ )	50 W/K <sup>0</sup> m <sup>2</sup>
Yayınım Sabitleri	
Cüruf ( $\epsilon_{\text{cüruf}}$ )	0.60
Sıvı Çelik ( $\epsilon_{\text{sıvı çelik}}$ )	0.40
Boltzman Sabiti ( $\sigma$ )	5.67x10 <sup>-8</sup> W/m <sup>2</sup> K <sup>4</sup>
Üretim Süreci Değerleri	
T <sub>ortam</sub>	25°C
T <sub>sıvı çelik</sub>	1628°C
Cüruf Kalınlığı (t <sub>cüruf</sub> )	150 mm

## 3. Sonuçlar ve Tartışma

$$Q_{\text{kayıp-yan yüzey}} = q_{\text{iletim-yy}} + q_{\text{yayılm-yy}} + q_{\text{yayınım-yy}} \quad (2)$$

$$Q_{\text{kayıp-taban}} = q_{\text{iletim-t}} + q_{\text{yayılm-t}} + q_{\text{yayınım-t}} \quad (3)$$

Şekil 1 ve Şekil 2'de gösterilen pota yan duvar ve taban izolasyon konfigürasyonlarının ve tuğla cinsinin kaybedilen enerji miktarına etkisi Eşitlik 2 ve 3 kullanılarak hesaplanmıştır. Potalarda toplam kaybedilen enerji Eşitlik 1 kullanılarak hesaplanmış ve Şekil 3c'de verilmiştir.

Şekil 3c'ye göre standart izolasyon (Şekil 1a ve Şekil 2a) olan bir potada sadece tuğla cinsi bile değiştirildiğinde toplamda %5.8 değerinde bir enerji tasarrufu sağlanması mümkün görünmektedir. Şekil 1c'de gösterilen duvar konfigürasyonuna sahip MgO-C potalarda yan yüzeyden %19.9 enerji tasarrufu sağlanabilirken Dolomit potalarda yan yüzeyden %17 enerji tasarrufu sağlanabileceği hesaplanmıştır. Aynı konfigürasyona sahip MgO-C potalardan toplam %6.9 Dolomit potalardan ise %5.2 enerji tasarrufu sağlanabilmektedir. Bu noktada, yan duvar tasarruf miktarları ile toplam tasarruf miktarları arasındaki

fark dikkat çekmektedir. Bu fark, Eşitlik 1'de de yer alan ve  $Q_{\text{kayıp-yayınım}}$  olarak tanımlanan radyasyon (ışınım) yoluyla pota üst yüzeyinden kaybedilen büyük miktarda ısı kaybından kaynaklıdır ve cüruf kalınlığı, pota kapağı kullanıp kullanmama vb. parametrelere bağlıdır.



Şekil 3. Farklı tuğla ve farklı izolasyon konfigürasyonları için hesaplanan a) yan duvar, b) taban ve c) toplam enerji kayıpları

Pota yan yüzeyinde gerçekleşen enerji kayıplarına paralel olarak pota yan yüzeyinde oluşan sıcaklıkların da incelenmesi önemlidir. Bu noktada termal kamera yardımıyla ölçülen yan yüzey sıcaklıkları hesaplanan sıcaklıklarla birlikte Tablo 4'de verilmiştir.

Tablo 4. Ölçülen pota yan yüzey sıcaklıkları

Konfigürasyon	MgO-C		Dolomit	
	Ölçülen Sıcaklık (T <sub>ö</sub> , °C)	Hesaplanan Sıcaklık (T <sub>h</sub> , °C)	T <sub>ö</sub> (°C)	T <sub>h</sub> (°C)
Şekil 1a	286.7	285.1	265.0	259.0
Şekil 1b	270.8	269.9	280.5	248.2
Şekil 1c	262.8	253.0	245.5	235.8

Potaların yan yüzey sıcaklıkları ve kaybedilen enerji miktarları incelendiğinde izolasyon seviyesi artırıldığında enerji tasarrufu miktarı artırılırken aynı zamanda yüzeye iletilen sıcaklıkların azaldığı görülmektedir. Tablo 4'de

hesaplanan ve ölçülen sıcaklık değerleri arasındaki farklar; (1) çalışma tuğlalarının (*MgO-C/Dolomit*) döngüsel süreç içerisinde aşınması ve (2) emniyet tuğlalarının aşınma ya da zamanla ömrünü tamamlamasıyla açıklanabilir.

#### 4. Sonuç

Bu çalışma kapsamında BDÇ’de kullanılan çelik potalarının izolasyon seviyeleri, farklı ısıl iletkenlik katsayısına sahip malzemeler ve farklı tuğla cinsleriyle artırılmıştır. Çalışma sonucunda sadece tuğla cinsinin değiştirilmesinin bile toplam enerjide %5.8 tasarruf sağlayabileceği görülmüştür. Ancak tuğla cinsi değişimi tek başına yeterli bir izolasyon yöntemi olmamaktadır çünkü çalışma tuğlasının zamanla aşınmasının ısı iletiminin neden olmaktadır. Bu nedenle üretim sürecinde yer alan potalarda zamanla içten dışarıya doğru ısı iletimi fazlalaşacaktır. Bu durumun etkilerine azaltabilmek için farklı ısı iletim katsayısı ve farklı kalınlıklara sahip izolasyon malzemeleri kullanılmıştır (*Tablo 1* ve *Tablo 2*).

Şekil 3’de görüleceği üzere uygulanan en yüksek izolasyon seviyesi (*Şekil 1c* ve *Şekil 2c*) için MgO-C tuğlalarla yaklaşık %6.9 Dolomit tuğlalarla yaklaşık %5.2 toplam enerji tasarrufu sağlanması hesaplanmıştır.

Üretim sürecimizin verilerine bakıldığında ise standart izolasyona (*Şekil 1a* ve *Şekil 2a*) sahip MgO-C tuğlalı bir potadaki sıvı çeliği 1°C ısıtılmak için 21.58 kWh enerji harcanmışken en yüksek izolasyon seviyesinde ~%6 düşürülerek 20.28 kWh’ye indirilmiştir.

Standart izolasyona sahip Dolomit tuğlalı bir potadaki sıvı çeliği 1°C ısıtılmak için 20.23 kWh enerji harcanmıştır. En yüksek izolasyon seviyesindeyken bu değer ~%3 düşüşle 19.62 kWh olmuştur.

Enerji kullanımı yüksek olan demir çelik endüstrilerinde sürdürülebilir bir üretim süreci için enerji kullanımının verimli hale getirilmesi sürekli gündemde olan bir konudur. Bu nedenle bu tip çalışmaların artırılması ve sistem içerisindeki enerji kaybedilen yerlerin tek tek tespit edilip nedenlerinin belirlenerek uygun çözümlerin uygulanması oldukça önemli verimlilik adımlarıdır.

#### Kaynakça

- [1] International Energy Agency, Energy, Climate Change & Environment, 2016
- [2] E.A. Abdelaziz, R. Saidur ve S. Mekhilef, Renewable Sustainable Energy Review, 15 (2011) 150–168.
- [3] B.B. Ciftci, Global steel industry: outlook, challenges and opportunities, 5<sup>th</sup> International Steel Industry and Sector Relations Conference, 20 April 2017, Istanbul, Turkey.
- [4] T. Fredman, H. Saxen, Metallurgical and Materials Transactions B, 29 (1998) 651–659.

[5] A.V. Zabolotskii, Refractories and Industrial Ceramics, 51 (2010) 263–266.