

# İNDÜKSİYON OCAĞI CÜRUFLLARINA FARKLI ORANLARDA MgO İLAVESİ İLE NÖTR ASTARIN AŞINMA DAVRANIŞININ İNCELENMESİ

## INVESTIGATION OF WEAR BEHAVIOR OF NEUTRAL LINING WITH ADDITION OF DIFFERENT AMOUNT OF USED MgO BRICK TO INDUCTION FURNACE SLAGS

Uğur CENGİZ<sup>1</sup>, Oğuzhan SAKARYA<sup>1</sup>, Burak EKİN<sup>1</sup> Muammer BİLGİÇ<sup>1</sup>

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

Anahtar Kelimeler: Refrakter, Çelik, Cüruf, Nötr Astar, İndüksiyon Ocağı, MgO-C tuğla

### Abstract

Continuous improvement activities of refractory materials are required for cost optimization studies in iron and steel production. In order to determine suitability for the usage conditions of monolithic refractories used in induction furnaces, it is important to know the characteristics, application conditions and the sintering parameters and also the wear properties against the different slags. In this study, the slag characteristics which is more compatible with Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> - MgO Spinel Neutral lining was formed by adding recycled MgO-C brick ballast to the induction furnace slags at different rates.

The ladle bricks of Bilecik Demir Çelik A.Ş, dismantled and demolished are broken to roughly 10 - 50 mm grain size. Brick-cut bricks for waste minimization studies have been fed to induction furnaces in certain quantities as slag regulators. The slags' chemical composition of BDC's induction furnaces are composed of CaO = 25.41%, SiO<sub>2</sub> = 34.60%, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> = 13.38%, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> = 10.19%, MnO = 8.68%, and MgO = 3.61%. Minor Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and TiO<sub>2</sub> are present. In our study, MgO-C brick ballasts added to slag and %MgO content was brought to the range of 10.7 - 12.96 and its effect on lining working surface was investigated. At the same time, XRD analysis was performed locally on the demounted neutral lining and the effect of corrosive slag was investigated.

As a result; both quantitative and qualitative improvement of the mechanisms causing the chemical corrosion acceleration due to the slag have been determined.

### Özet

Demir çelik üretiminde maliyet optimizasyonu çalışmaları gereği refrakter malzemelerin performanslarında sürekli iyileştirme faaliyetleri zorunlu olmaktadır. İndüksiyon ocaklarında kullanılan monolitik refrakterlerin özellikleri, uygulama koşulları ve sinterleme parametrelerinin yanı sıra farklı cüruflara karşı aşınma özelliklerini bilmek, kullanım

koşullarına uygunluğunu saptamak açısından önemlidir.

Bu çalışmada indüksiyon ocağı cürufuna farklı oranlarda geri dönüşüm MgO-C tuğla kırığı ekleyerek Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> - MgO Spinel Nötr Astara daha uyumlu cüruf karakteri oluşturulmuştur.

BDC'nin kendi bünyesinde bulunan ve söküme ayrılan pota tuğlaları kaba kırılarak 10 - 50 mm tane boyutu aralığına indirilmiştir. Atık minimizasyonu çalışmaları gereği kırımı yapılan tuğlalar cüruf düzenleyici olarak indüksiyon ocaklarına belirli miktarlarda beslenmiştir. BDC indüksiyon ocağı ilk cürufunun kimyasal kompozisyonu CaO=25.41%, SiO<sub>2</sub> =34.60%, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>=13.38%, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>=10.19%, MnO=8.68%, ve MgO=3.61% olup minör oranda Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve TiO<sub>2</sub> bulunmaktadır. Çalışmamızda cürufa ilave edilen MgO-C tuğla kırığı ile %MgO içeriği 10,7 - 12,96 aralığına getirilerek astar çalışma yüzeyine etkisi incelenmiştir. Aynı zaman söküme ayrılan astara bölgesel olarak XRD analizi yapılmış olup, aşındırıcı cürufun etkisi de incelenmiştir.

Sonuç olarak; cüruftan dolayı meydana gelen kimyasal korozyon ivmelenmesine sebep olan mekanizmaların hem nicel hem de nitel olarak iyileştiği saptanmıştır.

### 1. Giriş

Demir & çelik üretimi yapan tesislerde prosesin her basamağında refrakter malzemelerin kullanımı gerekmektedir, refrakter performansı sadece maliyet açısından değil, aynı zamanda çelik iç yapı temizliği ve sürdürülebilir metalürjik proses açısından da çok önemlidir. Prensip olarak, yaygın inancın tersine, refrakter performansında proses koşullarının ve dizaynının, refrakter ürün kalitesinden daha önemli olduğunu düşünmekteyiz.

İndüksiyonla ergitme yapan geri dönüşüm tesislerinde çoğunlukla kuru, dövülebilir, şekilsiz (monolitik) refrakterler kullanılmaktadır. Refrakter uygulamalarında her geçen gün kullanımı artan şekilsiz refrakterler, uygulama şekline göre dövme harçları, döküm harçları, püskürtme harçları, sıvama ve

örgü harçları olarak sınıflandırılır. Monolitik refrakter kullanımı özel şekilli tuğla kullanımına olan ihtiyacı azaltmıştır ve fırın tamirlerini daha kolay hale getirmiştir. Aynı kompozisyona sahip monolitik refrakterler tuğlalara göre daha yüksek kimyasal dayanım, daha yüksek ısıl şok direnci ve daha düşük ısıl geçirgenlik sağlayabilmektedirler [1,2].

Refrakterlerin bozunma dayanımı; matriste meydana gelen evrelerin kimyasal yapısı, yüzey dokusu, gözeneklilik, koruyucu tabakaların oluşup oluşmaması, termomekanik mekanizmalar, kimyasal korozyon, mekanik erozyon ya da aşınma vb. gibi birçok etkene bağlıdır [3]. Kimyasal olarak bozunmanın cüruf - refrakter etkileşimi ve eriyik metal - refrakter etkileşimi olmak üzere iki temel sebebi vardır. Bu iki temel nedenden en etkili olanı refrakterin cüruf ile kimyasal etkileşimidir [4].

Çelik üretim prosesi dışarıdan takviye cüruf yapıcılar ile cüruf kimyasının değiştirilmesine fırsat tanımaktadır. Cüruf tanımı birçok kişi için bir anlam ifade etmese de metal endüstrisinde çok önemli bir kavramdır, cüruf ve proseste kullanılacak refrakter biri birine uyumlu olmak zorundadır, uygun / dizayn edilmiş cüruf, metalürjik proseslerin olmazsa olmazıdır. Metal üretimi sırasında oluşan cürufun kimyasal yapısı çeşitli katkı malzemelerinin ilavesi ile refrakterlere daha az zararlı hale getirilebilmektedir. Cüruf kimyası sıvı metal işleme proseslerinin en önemli unsurudur.

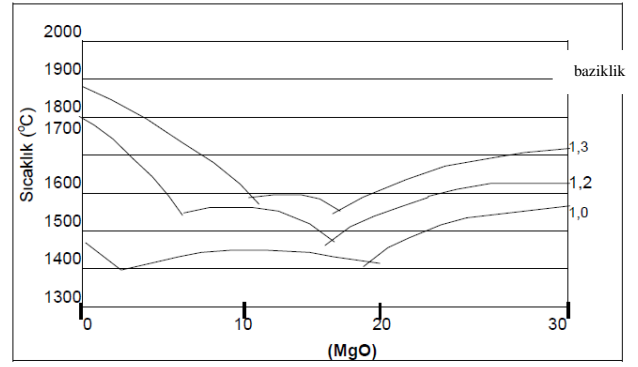
Refrakterlerin cüruf tarafından kimyasal olarak bozunmasında, asidiklik ve baziklik kavramları önemlidir. Çelik cüruflarında asidiklik ve baziklik kavramları malzeme içerisindeki  $\text{SiO}_2$  ve  $\text{CaO}$  ile açıklanabilir. Basitçe  $\text{CaO}/\text{SiO}_2$  oranı 1 den büyükse yapı bazik, küçükse asidik olarak nitelendirilir.  $\text{SiO}_2$  ve  $\text{ZrO}_2$  gibi asidik refrakterler asidik cüruflarla,  $\text{MgO}$  ve  $\text{CaO}$  bazik refrakterler bazik cüruflarla uyum içerisinde çalışabilirler. Genellikle indüksiyonla ergitme yapan geri dönüşüm tesislerinin ergitme fırınlarında yüksek alümina içerikli (Spinel) monolitik refrakterler hem asidik hem de bazik ortama karşı yüksek kimyasal direnç göstermesinden dolayı tercih edilmektedir. Çünkü indüksiyon ocağı cürufu EAO'lardan farklı olarak daha düşük Fe oksitler ve  $\text{CaO}$  ile daha yüksek  $\text{Al}_2\text{O}_3$  içerir. Bu anlamda klasik tanımlama ile daha düşük bazikliğe sahiptir. Ancak yüksek sıcaklıklarda çalışılan birçok durumda asidiklik ve bazikliği açıklamak için daha kompleks formülasyonlar gerekir [5].

Asidiklik / baziklik kavramı ile ilgili olarak endüstride B4 oranları kullanılmaktadır. B4 oranlarının hesaplaması aşağıdaki eşitlikle yapılır.

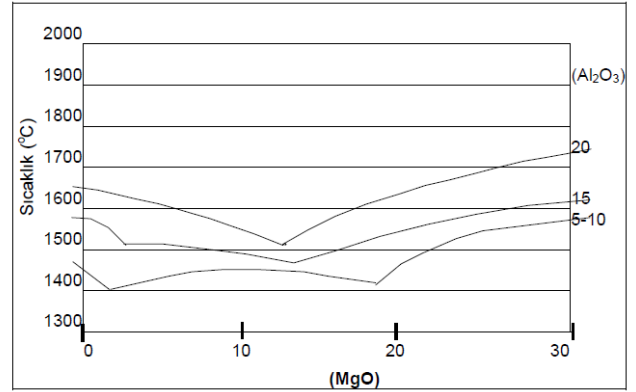
$$B4 \text{ oranı} = \frac{\text{CaO \%} + \text{MgO \%}}{\text{SiO}_2 \% + \text{Al}_2\text{O}_3 \% + \text{TiO}_2 \%}$$

Bir cürufun fiziksel ve kimyasal özellikleri her şeyden önce cüruf kompozisyonunun ve sıcaklığının

fonksiyonudur. Cürufun ergime sıcaklığı cüruf bazikliği ve  $\% \text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\% \text{MgO}$ 'nın artması ile artış göstermektedir. Aynı zamanda  $\text{MgO}$  oranının  $\%8 - 14$  arasında olması halinde ise cüruf bazikliği ya da  $\text{Al}_2\text{O}_3$ 'ün her birinin artması ile sıvılaşmada meydana gelecek artış Şekil 1 ve Şekil 2'de belirtildiği gibi en aza doğru yönelir. Bu durumda yüksek ergime noktasına sahip  $\text{MgO}$ , cüruf ergime sıcaklığını yükselterek cürufun refrakter yüzeyine tutunmasını artırır [6]. Cürufun refrakteri ısıtma özelliklerinin bir fonksiyonu olan bu özellik çok daha detay çalışmalara ihtiyaç gösterir. Refrakter çalışma astarı üstüne kompozisyonu değiştirilmiş proses cürufunun yapışmasının sağlanması refrakter ömrüne olumlu katkı sağlayan bir mekanizmadır. Her ne kadar indüksiyon ocaklarındaki farklı banyo hareketi refraktere cüruf kaplama prosesinin etkinliğini sınırlasa da pratik uygulamalarda kısmi bir fayda sağlanabildiği görülmüştür.



Şekil 1. Sıvılaşma sıcaklığı ve cüruf bazikliği



Şekil 2. Sıvılaşma sıcaklığı ve %10  $\text{Al}_2\text{O}_3$

Bir diğer cüruf & refrakter etkileşim mekanizması; çalışma refrakterinin ana bileşenlerinin cüruf içinde çözülebilmesini sınırlama veya cürufa yapılan bir takım ilaveler ile cürufu bu ana bileşen açısından yapay olarak doyuma ulaştırmaktır. Cürufun, onları oluşturan ana bileşenler açısından çözülebilirlik (Leaching, solubility) sınırları vardır. Herhangi bir cüruf bileşeni ister refrakterden, ister prosesten gelsin, isterse dışarıdan ilave edilsin, cürufun özellikleri tarafından belirlenen bir noktaya kadar çözünür, bu nokta doyum noktası olarak tanımlanır (Saturation

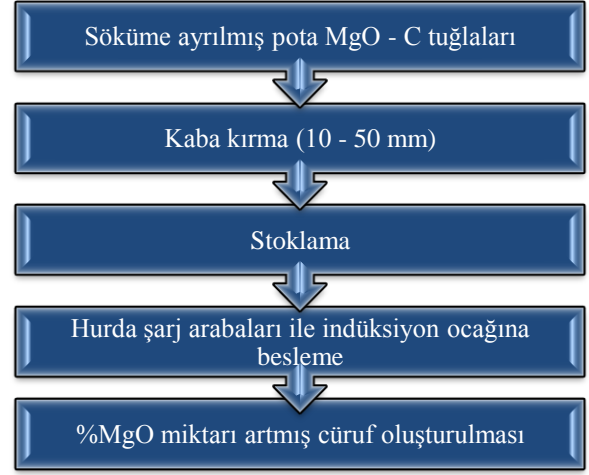
point) . Örneğin İndüksiyon ocağında kullanılan refrakterin ana bileşenleri olan MgO ve Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, ocak cürufunda belli bir noktaya kadar çözünebilir, bunu ötesinde oluşacak bileşiklerin bu bileşeni içinde çözmesi güçleşir. Değişik cüruf kompozisyonları için değişik bileşenlerin doyum noktaları teorik ve deneysel olarak belirlenmiştir. Spinel refrakterler için az olsa da bazı çalışmalar yapılmış ve özellikle proses cürufundaki Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> doyum noktaları belirlenmeye çalışılmıştır. [5]. Değişik prosesler için cürufun refrakterdeki ana bileşenleri içinde çözme hızını yavaşlatmak veya durdurmak için bu bileşeni dışarıdan ve cürufun doyum noktasına kadar ilave etme uygulaması yaygın bir proses enstrümanıdır. Bu konuda en yaygın bileşenler MgO ve Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, dır. Dışarıdan ilave, doyum noktasına kadar cürufun ergime derecesini ve çözünebilirliğini önemli ölçüde etkiler. Bu tür dışarıdan ilave edilen malzemeler; mineral konsantreleri, kalsine ürünler, kullanılmış tuğla veya harç kırıkları, sentetik cürufur olabilir.

MgO için çok daha yaygın çalışmalar vardır[4]. yüksek Fe oksit içeren Çelik yapım cürufurunda % 13-14 e kadar MgO doyum sınırı değerleri sık görülür, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> için ise Alumina refrakter kullanılan ortamlarda % 5-10-15 oranlarında ilaveler ile cüruf doyum noktaları kontrol edilmeye çalışılmıştır. [7].

## 2. Deneysel Çalışmalar

Bu çalışma kapsamında BDÇ'de ikincil metalürji potalarının ömrünü tamamlamış MgO - C tuğlaları induksiyon ocağı cürufuna MgO kaynağı olarak ilave edilmiştir. Bu süreç içerisinde iskarta olarak ayrılan MgO - C tuğla atıkları geri kazanılmıştır.

Kazanan bu malzemeler induksiyon ocağı cürufunun MgO doyumunu artırarak cüruf bazikliğini düzenlemede kullanılmıştır. BDÇ'de farklı hurda kompozisyonlarının eritildiği induksiyon ocaklarında asidik karaktere kayan cürufun, bazikliğı MgO - C tuğla ilavesi ile artırılmıştır. 28 ton çelik eritme kapasitesi olan 10 mW trafo gücüne sahip induksiyon ocağına sarsaklı arabalar ile beslenen hurdaların yanına kırık MgO - C tuğla atıkları belli miktarlarda Tablo 1'de belirtildiği gibi ilave edilmiştir.



**Tablo 1.** MgO - C tuğla kırıklarının cürufa eklenme işlemi.

## 3. Sonuçlar ve Tartışma

### 3.1. Cüruf kimyasal analizi ve sonuçları

BDÇ 'de induksiyon ocağı ile hurda eritmesi yapılırken farklı kompozisyonlara sahip hurdalardan farklı kompozisyona sahip cürufur oluşur. Bu nedenle cüruf bazikliğini hesaplayabilmek farklı cüruf örneklerinin analizi yapılmıştır.

		MgO-C Tuğla İlavesiz					
BDÇ İndüksiyon Ocağı Cüruf Kimyasal Analizleri	%MnO	10,25	8,88	8,6	7	8,68	
	%TiO <sub>2</sub>	1,54	2,14	1,8	1,06	1,64	
	%Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,66	1,69	2,27	2,41	2,01	
	%CaO	27,62	29,2	26,82	18	25,41	
	%MgO	3,49	2,87	4,69	3,37	3,81	
	%Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	10,98	7,67	8	14,1	10,19	
	%SiO <sub>2</sub>	31,4	35	35	37	34,6	
	%Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	12,33	12,2	12,8	18	13,83	
	Toplam(%)	99,27	99,65	99,98	100,94	99,96	
	B4 Ratio	0,69	0,65	0,64	0,38	0,59	
			50 kg MgO-C Tuğla İlaveli				
	%MnO	8,7	10,6	9,7	10,8	9,95	
	%TiO <sub>2</sub>	1,6	0,51	1,12	1,45	1,17	
	%Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,3	1	1,13	1,24	1,17	
	%CaO	29	25	25,3	22,2	25,38	
%MgO	6,31	7,76	8,45	9,05	7,89		
%Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	9,9	7,4	17,2	11,23	11,43		
%SiO <sub>2</sub>	29,14	33,81	26	30,12	29,77		
%Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13,9	11,09	11	13,13	12,28		
Toplam(%)	99,85	97,17	99,9	99,22	99,03		
B4 Ratio	0,79	0,72	0,89	0,7	0,77		
		75 kg MgO-C Tuğla İlaveli					
%MnO	9,66	10,08	9,18	10	9,73		
%TiO <sub>2</sub>	0,9	1,55	0,44	1,6	1,12		
%Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,9	1	0,9	1,1	1,23		
%CaO	27,05	29,47	25	25,47	26,75		
%MgO	10,68	13,13	15,9	12,13	12,96		
%Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15	7,19	9	12,19	10,85		
%SiO <sub>2</sub>	24	23,33	28,12	22,3	24,44		
%Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	11,17	15	11,1	14,46	12,93		
Toplam(%)	93,91	99,16	99,64	99,25	97,99		
B4 Ratio	0,8	0,69	1,03	0,98	0,88		

**Tablo 2.** İndüksiyon ocağı cüruf analizlerinin MgO-C ilavesi ile değişimi

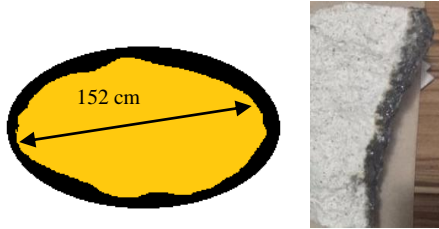
BDÇ'de bulunan 28 tonluk induksiyon ocaklarında bir döküme yaklaşık 800 kg cüruf oluşmaktadır. Bu cürufun MgO-C tuğlası ilavesi yapılmadan önceki analizi ve belirli miktarlarda MgO-C tuğla ilavesi

yapıldıktan sonraki analizleri baziklik değerleri (B4 oranı) ile birlikte Tablo 2'de verilmiştir.

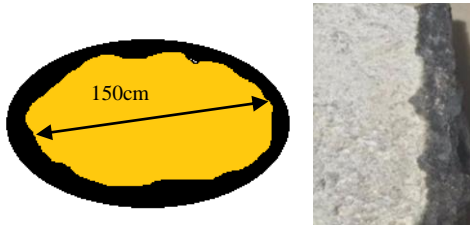
Tablo 2'deki sonuçlar incelendiğinde MgO-C ilavesi yapıldığında, cüruf içerisindeki MgO yüzdesi artarken SiO<sub>2</sub> yüzdesi azaldığı ve buna bağlı olarak cüruf bazikliğinin de arttığı görülmüştür. Bu değişimler göz önünde bulundurulduğunda indüksiyon ocaklarının refrakter kesitlerindeki değişimler Şekil 3., Şekil 4. ve Şekil 5.'de verilmiştir.

### 3.2. İndüksiyon ocağı çalışan astar çap ve kesit analizi

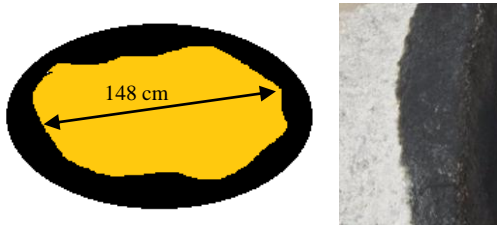
İndüksiyon ocağı cürufuna MgO-C tuğla kırığı ilavesi yapılmamış ocak astarının ilk aşamadaki çapı 152 cm olarak Şekil 3'de gösterilmiştir. Daha sonra ayrı ayrı 50 ve 75 kg cürufa ilave edilen MgO - C tuğla kırığının 152 cm'lik ocak astarı çapını Şekil 4 ve Şekil 5'de belirtildiği gibi 150 cm'ye ve 147 cm'ye daralttığı gözlenmiştir.



Şekil 3. MgO - C tuğla kırığı yapılmamış astar çapı ve kesiti



Şekil 4. 50 kg MgO - C tuğla kırığı yapılmış astar çapı ve kesiti

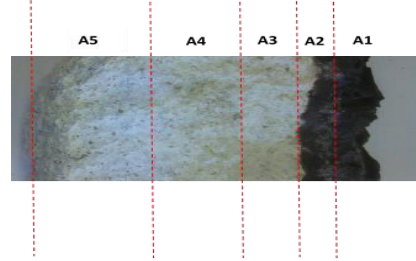


Şekil 5. 75 kg MgO - C tuğla kırığı yapılmış astar çapı ve kesiti

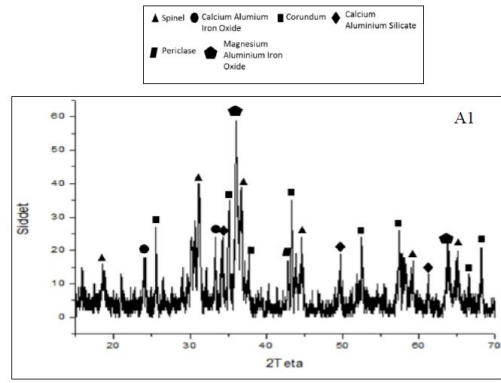
### 3.3. İndüksiyon ocağı söküm astarının XRD faz analizi

İndüksiyon ocağı söküm astarının kesitinden alınan 5 farklı bölgede oluşan fazlar incelenmiştir. Cürufun temas ettiği ve katman oluşturduğu bölgede ki fazlar

astarın refrakterlik özelliğini doğrudan etkilemektedir. Ancak astar yüzeyine yapışan cüruf miktarının kalınlığı refrakterin aşınma miktarını azaltıcı yönde etkilemektedir. Ağırlıkça %12,96 MgO miktarına sahip cüruf kompozisyonunun kesit görüntüsü Şekil 6. belirtilmiştir.

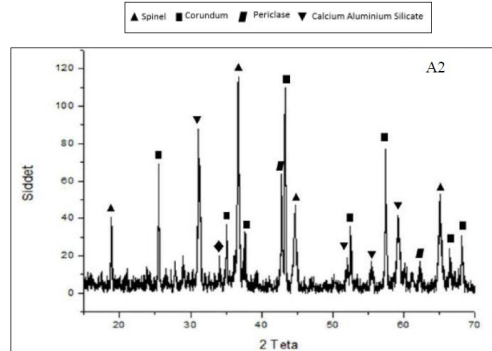


Şekil 6. İndüksiyon ocağından sökümü yapılan nötr astar kesiti



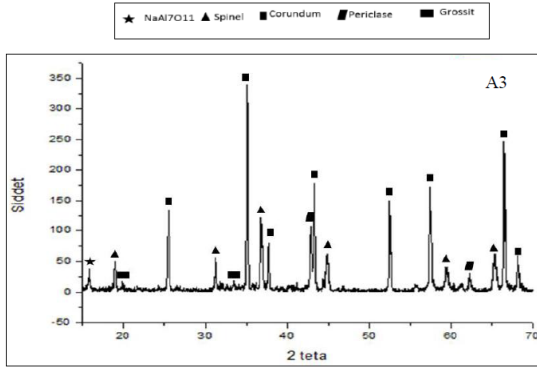
Şekil 7. A1 bölgesinden alınan numunenin XRD analizi

A1 bölgesinin XRD analiz sonucuna göre yapıda kısmen amorflik olduğu gözlemlenmektedir, bu amorflik refrakter yüzeyine yapışan kristallenmemiş cüruf tabakasından kaynaklanmaktadır. Oluşan fazlar incelendiğinde bu bölgede, refrakter yapısında olmayan refrakter ile cürufun etkileşimi sonrasında, Magnezyum Alüminyum Demir Oksit ( $MgFeAlO_4$ ), Kalsiyum Alüminyum Silikat ( $Ca_4Al_2SiO_{11}$ ), Kalsiyum Alüminyum Demir Oksit ( $CaAl_4Fe_8O_{19}$ ) fazları oluşmuştur.

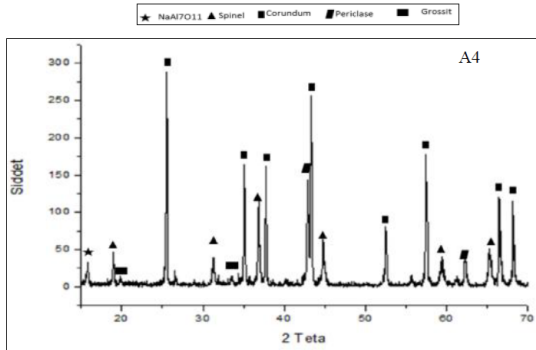


**Şekil 8.** A2 bölgesinden alınan numunenin XRD analizi

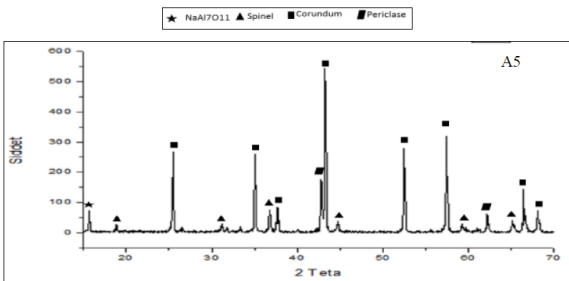
A2 bölgesinden alınan numunenin XRD analizi Şekil 8’de gösterilmiştir. Bu XRD paternine göre bu bölgede spinel oluşumunun yüksek oranda olduğu, yapı içerisinde Alümina ve MgO piklerinin de şiddetli olduğu ve astar malzemesinin bileşenleri ve cürufun etkileşimi sonrasında oluşan Kalsiyum Alüminyum Silikat gibi fazların bulunduğu gözlemlenmiştir.



**Şekil 9.** A3 bölgesinden alınan numunenin XRD analizi



**Şekil 10.** A4 bölgesinden alınan numunenin XRD analizi



**Şekil 11.** A5 bölgesinden alınan numunenin XRD analizi

A3, A4, A5 bölgesinden alınan numunenin XRD paterni Şekil 9, Şekil 10 ve Şekil 11’de gösterilmiştir. XRD analizi sonuçlarına göre bu bölgede oluşan fazlar tamamen astar malzemesinin bileşenleri tarafından

oluşturulan fazlardır. Cüruf ile etkileşim sonrasında oluşan fazlar bu bölgede bulunmamaktadır.

#### 4.Sonuç

Bu çalışmada, ağırlıkça farklı %MgO oranına sahip cüruf kompozisyonlarının indüksiyon ocağı nötr astarının aşınmasına etkileri incelenmiştir. Ömrünü tamamladıktan sonra 10 - 50 mm aralığına kırılarak indüksiyon ocağı cürufuna 75 kg ilave edilen MgO - C tuğla kırığı, aşındırıcı cüruf içerisindeki ağırlıkça %3,61 MgO miktarını %12,96’a çıkarmıştır. Buna bağlı olarak 152 cm’lik ocak çap ölçüsünü 147 cm’e düşürerek nötr astar yüzeyini kaplamıştır. Alınan XRD örneklerinde nötr astar yüzeyinin cüruf ile etkileşimi bölgesel olarak incelenmiştir. Cüruf içerisine MgO - C tuğla kırığı katkılandırması yapılmayan ve 50 kg, 75 kg olarak iki kez katkılandırma yapılan cürufun, astar yüzeyini sıvama etkisi gözlemlenmiştir. Yapılan bu çalışma ile söküm MgO - C tuğla kırıklarının cüruf düzenleyici olarak kullanımı sağlanmıştır. Cürufun kimyasal ve fiziksel özelliklerinin kontrol edilmesi ile indüksiyon ocak astarının aşınma mekanizmasını anlamlandırma da temel bilgi oluşturulmuştur.

Bu çalışmaya, kullanılan refrakterin asıl ana komponenti  $Al_2O_3$  nin cürufa  $Al_2O_3$  içeren ilavelerdeki davranışlarının irdelenmesi ile devam edilecektir. Cüruf prosesi dizaynı ile ilgili olarak *Endüstriyel Metalurji Prosesi* koşullarındaki belirsizliklerin, değişkenlerin, ölçüm ve proses uygulaması sorunlarının azaltılması ve bunları dikkate alacak termodinamik modelleme çalışmaları BDÇ’nin önündeki konulardır.

#### Referanslar

- [1] Banarjee, S. (2011). Properties of refractories, Answer Technology Inc., Wheaton, Illinois, U.S.A., 1-10.
- [2] Bahatia, A. (2012). Overview of Refractory Materials, [www.PDHonline.org](http://www.PDHonline.org)
- [3] Bengisu M. (2006). Seramik Bilimi ve Mühendisliği, Nobel Yayın No:895 Teknik yayımlar dizisi:69, 243-425.
- [4] Pretorius E. Steelmaking Slag Fundamentals, What is Slag? Basic Steel Making for Electric Arc Furnaces.
- [5] Brosnan, D.A. (2004). "Corrosion of Refractories", Refractories Handbook -Marcel Decker Inc., New York, ABD, 39-78.
- [6] S. Baycık, Granule Yüksek Fırın Cüruflarının Karo Sektöründe Kullanılabilirliğinin Araştırılması, Y. Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, 2002, İstanbul, Türkiye.

[7] Sina Mostaghel, Influences of Alumina on Fayalite  
-type Slags Porperties . Lulea University of

Technology , Licentiate Thesis . 2010