

SİNER ÜRETİMİNDE BAZİK OKSİJEN FIRINI (BOF) CÜRUFUNUN KULLANILMASININ ETKİLERİ

THE EFFECT OF BASIC OXYGEN FURNACE (BOF) SLAG ADDITION ON THE SINTER PRODUCTION

Abdulkerim MUMCU*, C. Fahir ARISOY**, M. Kelami ŞEŞEN**

* ERDEMİR, Ereğli (Çalışma sırasında İTÜ' de)

** İTÜ. Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, 34469 İstanbul

Özet

Bu çalışmada; teknolojik sinter üretiminde, sinter harmanına bazikliği sağlamak amacıyla BOF cürufu ilave edilmesinin etkileri incelenmiştir. Sinter harmanına BOF cürufunun ilave edilmesi sinter verimliliğini ve genel olarak sinter kalitesini arttırmaktadır.

Abstract

In this work, the effect of BOF slag addition to the sinter mix for basic additive on the technological sinter production were investigated. The BOF slag addition to the sinter mix increase sinter productivity and general sinter quality.

Keywords: Sinter production, basic additive, BOF slag addition, sinter quality.

I-Giriş

Sinterleme işlemi ile demir cevherlerine iyi özellikler kazandırılmakta, doğrudan kullanılmayan demir cevheri tozlarının ve tufal, baca tozu gibi atık duruma gelmiş diğer demirli maddelerin, günümüzün sıvı ham demir üretim prosesi olan yüksek fırınlarda kullanılabilmesi sağlanmaktadır.

Sinterlemede, yüksek fırın üretim teknolojisinde toz boyut sayılan demir cevherlerinden ve çoğu demir oksit diğer demirli maddelerden oluşan sinter harmanı, harmanda bulunan kok tozunun yanması sonucu çıkan ısı ile, kısmi olarak ergiyerek bloklar haline gelirler (aglomere olurlar). Yanma; ızgaranın üzerine serilmiş harmanın yüzeyinden tabanına doğru ilerler. Bu yanma zonunda partiküllerin yüzeyleri ergime sıcaklığına ulaşır ve gang bileşenleri yarı sıvı bir cüruf oluştururlar. Bu sırada sinterleme prosesinin reaksiyonları da gerçekleşir. Harmanda bulunan koktaki karbonun yanmasının dışında, bu reaksiyonlar; harmanda bulunan nemin buharlaşması, karbonatların parçalanması, sülfürlü bileşiklerin oksitlenerek kükürdünün yanması ve sistemden uzaklaşması, alt oksitli demirli minerallerin oksitlenmesi vb. şeklinde sıralanabilir. Bu reaksiyonlarla birlikte sistemde bulunan maddeler de birbirleriyle reaksiyona girerek çeşitli silikatları ve ferritleri oluşturabilirler. Eğer sinterlemede, yanma bölgesinde ciddi indirgeyici koşul oluşursa ve demir oksitler kısmen indirgenirse, bu indirgenen demir oksit (FeO) sistemde serbest olarak bulunabilen SiO₂ ile sinterin yapısında istenmeyen fayaliti (Fe₂SiO₄) oluşturabilir.

Sinterlemede başlıca üç amaç öne çıkmaktadır:

Fazla tozlu cevherlerin tozlarını aglomere ederek yüksek fırında kullanılabilir boyutlara erdirmek,

Demir cevherlerinde mevcut olan kükürdü oksitleyerek zararsız miktarlara indirmek,

Yüksek fırın çalışma koşullarında rahatlıkla kullanılacak özelliklerde indirgenebilirliği yüksek, mukavemetli, ufalanmaya dayanıklı şarj malzemesi elde ederek demir üretim verimini artırmak.

Sinterlemenin getirdiği bu yararlar, demir çelik üreten entegre tesislerde sinter ünitesinin yer almasını zorunlu kılmıştır. Son yıllarda, entegre tesislerin diğer ünitelerinde de olduğu gibi, yeni sinter tesisi kurmak yerine, teknolojik gelişmelere paralel olarak, mevcut tesisleri daha etkili

çalıştırmak ve bu tesislerde üstün özelliklere sahip yüksek fırın şarj malzemesi olarak indirgenabilirliği yüksek (düşük SiO₂, düşük FeO içerikli) sinter üretmek amaç olmuştur. Bu dönemde, cevher ve harmanı oluşturan maddelerin özellikleri ile sinter kalitesi arasındaki ilişkiler üzerine yapılan temel çalışmaların sonuçlarının gerçek işletmelere uygulanması, sinter kalitelerinin istenilen hedefe ulaşmasında büyük katkılar sağlamıştır. Bu çalışmaların sonucunda uygulanan bir gelişme de, sinter harmanına Bazik Oksijen Konverteri (BOF) cürufu ilave etmektir.

Çoğu çelik üretim cürufları başlıca CaO, MgO, SiO₂ ve FeO içerirler. Düşük fosforlu çelik üretim pratiklerinde bu oksitlerin sıvı cüruf içindeki toplam konsantrasyonları %90 civarındadır. Bu nedenle BOF cürufları en basit olarak CaO-MgO-SiO₂-FeO dördü sistemi olarak değerlendirilir. Cürufta CaO'in çözünürlüğü, cürufun dikalsiyum silikatla doymuş olmasıyla sınırlıdır. Bu nedenle cürufta her zaman üzeri ince dikalsiyum silikatla kaplı çözünmemiş kireç parçaları vardır. Magnezya, cürufun diğer önemli bileşenidir.

BOF cürufu; cüruf özelliği taşımasının yanında, bileşiminde önemli miktarlarda Fe ve Mn bulundurması nedeni ile, belli bir değere sahip olan ve fakat genellikle atılan bir maddedir. Demir çelik üretiminde sıvı ham demirin çeliğe dönüştürülmesinde oluşturulan bu bazik cürufun kimyasal bileşiminde genel olarak, başlıca %15-20 Fe, %4-9 SiO₂, %50-53 CaO, %3.7-5.7 MnO, %2 max MgO, %0.95 max P₂O₅ bulunur. Demir çelik üretiminde, bu maddelerin arasında sadece fosfor olumsuzluk yaratabilir.

Demir cevheri sinteri harmanına BOF cürufu ilavesiyle; sinterin cüruflaştırıcı ihtiyacı karşılanabildiği gibi, atık duruma gelmiş önemli miktardaki Fe ve Mn yeniden kazanılabilmektedir. Benzer amaçlarla, entegre demir çelik tesislerinde sinter harmanına BOF cürufu ilavesi yapılmaktadır. Bu çalışmada ERDEMİR'deki (Ereğli Demir ve Çelik İşletmeleri) bu uygulamanın sinter özelliklerinde meydana getirdiği etkiler incelenmiştir.

2- Erdemir' de Sinter Üretimi

Erdemir'deki sinter tesislerinde, sinter üretiminde; sinterlik toz cevher, elek altı boyutta geri dönen sinter, kok tozu ve cüruflaştırıcı gibi zorunlu bileşenler, ayrıca baca tozu, tufal gibi diğer demirli maddeler kullanılmaktadır. Bunların yanında gerekli cürufu oluşturmaya yönelik bir uygulama olarak BOF cürufu sinter harmanına ilave edilmektedir.

Erdemir sinter tesislerinde yılda 1.5 milyon ton civarında sinter üretilmektedir. Bu üretim, 44.67 m. Boy ve 3 m. enindeki Dwight Loyd tipi 3 mm. ızgara açıklığına sahip sinter makinasında yüksek verimlilikte yapılmaktadır. Harman yüksekliği ~ 60 cm dir.

Erdemir'de sinter üretiminde, cüruflaştırıcı olarak kireçtaşı, dolamit ve zaman zaman da BOF cürufu kullanılmaktadır. İncelemenin yapıldığı dönemde, çelikhanede oluşan BOF cürufunun %25-40 'ı sinter harmanına ilave edilmiştir. Kireçtaşı, diğer cüruflaştırıcıların miktarına bağlı olarak harmana %1.5-9 arasında değişen oranlarda katılmıştır. Dolamit ise pek fazla değişiklik yapılmadan %2 civarında harmana ilave edilmiştir. BOF cürufu, yapısında kalsine olmuş cüruflaştırıcılar bulunduğu ve %20'ye kadar Fe, %4 civarında MnO içerdiği için kullanılmaktadır. BOF cürufunun kimyasal bileşimi genel olarak, başlıca; % 15-20 Fe (%10-15'i FeO şeklinde), % 4-9 SiO₂, %50-53 CaO, %3.7-5.7 MnO, %2 max MgO, %0.95 max P₂O₅ şeklindedir.

Çelikhaneden alınan cüruf, kırılıp öğütülerek manyetik ayırmadan geçirilmektedir. Metalik demir kısmı alındıktan sonra sinter harmanına ilave edilmektedir. Erdemir'de bazik oksijen konverteri (BOF) cürufunun diğer flaks bileşenleri ile yapılan karışımında; 1.28 kg BOF cürufunun 1 kg flaks eşdeğerinde olduğu bulunmuştur. BOF cürufunun sinter harmanına ilave edilme oranı %7 civarındadır.

Erdemir sinter tesislerinde, ürün sinter elde edildikten sonra kırma ve eleme işlemleri yapılmaktadır. Kırılan sinter iki elekten geçirilir. İlk elekte 20 mm 'nin üzeri yüksek fırına gönderilir. Elek altı, 6 mm 'lik elekten tekrar geçirilir. 6 mm 'nin altındaki toz sinter, geri dönen elek altı olarak harmana gönderilir. 6-20 mm aralığındaki sinterin bir kısmı yatak malzemesi olarak ızgara üzerine serilir, kalanı yüksek fırına gönderilir. Erdemir'de harmana

geri dönen sinterin harmandaki oranı %25 kadardır.

Erdemir'de sinter harmanına değerlendirmek amacıyla %1.5 civarında baca tozu ve %1.5-2 kadar da tufal ilave edilmektedir. Sinter harmanında su oranı ise %6-7 kadardır. Erdemir' de üretilen sinterin ortalama kimyasal bileşimine ve fiziksel özelliklerinin gösteren örnek taneler Tablo 1 'de verilmiştir.

3- Yapılan Çalışmalar

Bu çalışma; ERDEMİR'deki teknolojik sinter üretme ve kullanma verileri ve yine ERDEMİR' de üretilen sinterle yapılan çeşitli deneylerin sonuçları ile hazırlanmıştır. Sinter harmanını oluşturan zorunlu bileşenlerin dışındaki, baca tozu ve tufal ve cüruflaştırıcı olarak kireçtaşı ile birlikte veya kireçtaşı yerine, özellikle BOF cürufunun sinter harmanına ilave edilmesiyle gerçekleştirilen sinter üretiminde,

Sinterin üretim verimliliği

Sinterin mukavemeti (Tumbler indeksi)

Sinterin kimyasal bileşimi

ile ilgili sonuçlar Erdemir'in normal işletme kayıtlarındaki bilgilerden oluşturulmuştur. Sonuçlar bir dönem içinde yaklaşık 70 farklı sinter harmanıyla yapılan üretimle ve üretilen sinterin özellikleri ile ilgilidir. Sinterlerin kullanımı ile ilgili gözlemler de yapılmıştır. Ayrıca Erdemir'de farklı harman bileşimleriyle üretilen sinter ürünlerden seçilerek alınan 6 adet sinter örnekleriyle; indirgenabilirlik testleri Erdemir'de yapılagelen test ve incelemelere ek olarak İTÜ laboratuvarlarında yapılmıştır. Bu bilgilerle, bir dönem içinde sinter harmanını oluşturan zorunlu bileşenlerin dışındaki, baca tozu ve tufal ve cüruflaştırıcı olarak kireçtaşı ile birlikte veya kireçtaşı yerine, özellikle BOF cürufunun sinter harmanına ilave edilmesinin; önce sinter üretim verimliliğindeki etkileri, daha sonra ürün sinterin kimyasal ve mekanik özelliklerine ve indirgenebilirliğine etkileri belirlenmiştir. Bu sinterlerin yüksek fırında kullanılmasıyla, sıvı ham demir üretim verimliliğindeki ve yakıt tüketimindeki etkileri konusunda gözlemler de yapılmıştır.

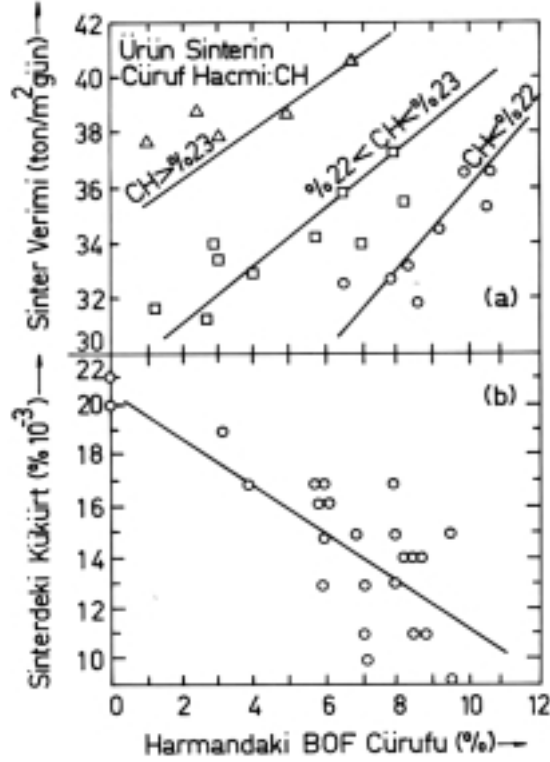
Tablo 1. Ürün sinterin ortalama kimyasal analiz ve fiziksel özellikleri

Madde	%	Boyut (mm)	%
Fe	55.23	+50	4.83
FeO	7.21	+38	10.60
SiO ₂	6.52	+19	35.19
Mn	1.52	+13	57.58
Al ₂ O ₃	1.47	+9.5	70.90
CaO	9.72	-6	9.54
MgO	1.41		
P	0.081	Tumbler İndeksi	77.78
S	0.023		
K ₂ O	0.083		
Na ₂ O	0.032	Ortalama Boyut	19.51 mm
TiO ₂	0.12		
As	0.02		
Cu	0.02	CaO / SiO ₂	1.49
Zn	0.021		
Pb	0.009		

Harman Bileşiminin Sinter Üretimine ve Kalitesine Etkisi

4.1- Harman Bileşiminin Sinter Verimliliğine Etkisi:

Erdemir sinter tesisinde, sinter verimliliği 30-40 ton/m² gün arasında değişmektedir. Sinter harmandaki BOF cürufu oranının artmasıyla sinter verimliliği artmaktadır. Bu değişim Şekil I a 'da verilmiştir. Sinter verimindeki artış, ürün sinterin cüruf hacmi arttıkça daha da yükselmektedir.



Şekil I : Harmandaki BOF cürufu oranı ile (a) Sinter verimliliğinin ve (b) Sinterdeki kükürt içeriğinin değişimi.

4.2-Harman Bileşiminin Sinterin Kimyasal Bileşimine Etkisi:

Erdemir'de günlük sinter üretiminde, farklı zamanlarda alınan 6 üründe kimyasal analizler yapılmaktadır. Bu kimyasal analizlere göre ürün sinterdeki FeO ve kükürt içeriğinin sinter bazıklığı ve harmana ilave edilen BOF cürufu oranı ile ve ayrıca geri dönen sinter tozu oranı ile değişimi incelenmiştir.

a) Harmana İlave Edilen BOF Cürufunun Sinterin Kükürt İçeriğine Etkisi: Sinterdeki kükürdün harmana ilave edilen BOF cürufu ile değişimi Şekil I b 'de verilmiştir. Harmana ilave edilen BOF cürufu oranı arttıkça, ürün sinterin kükürt içeriği azalmaktadır.

b) Bazıklığın, Sinterin FeO İçeriğine Etkisi: Ürün sinterdeki FeO oranının bazıklık oranıyla değişimi Şekil 2a'da verilmiştir. Sinterdeki FeO oranı, bazıklığın artmasıyla azalmakta, ancak harmana ilave edilen BOF cürufu oranının artmasıyla daha yüksek değerler almaktadır.

c) Bazıklığın, Sinterin Kükürt İçeriğine Etkisi: Ürün sinterdeki kükürdün, bazıklığa göre değişimi Şekil 2b 'de verilmiştir. Bazıklık arttıkça ürün sinterin kükürt içeriği artmaktadır. Yüksek FeO içeren sinterin kükürt içeriği daha düşüktür.

d) Harmana Geri Dönen Sinter Tozunun, Sinterin Kükürt İçeriğine Etkisi: Sinter harmanına geri dönen sinter tozu oranıyla ürün sinterin kükürt içeriğinin değişimi Şekil 3a 'da verilmiştir. Geri dönen sinter tozunun artması ile sinterin kükürt içeriği azalmaktadır.

e) Geri Dönen Sinter Tozunun, Ürün Sinterdeki FeO İçeriğine Etkisi: Geri dönen sinter tozu oranıyla ürün sinterdeki FeO miktarının değişimi Şekil 3b 'de verilmiştir. Harmana geri dönen sinter tozu oranı arttıkça, sinterdeki FeO oranı artmaktadır. Harmanın daha fazla BOF

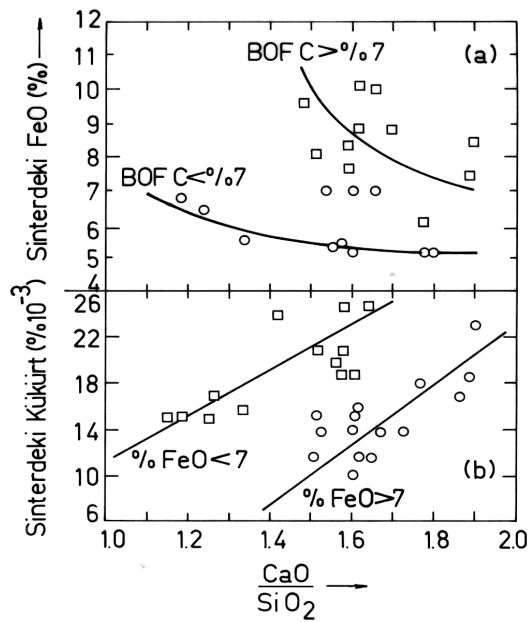
cürufu içermesi durumunda, FeO içeriği daha fazla olmaktadır.

4.3- Harman Bileşiminin Sinterin Fiziksel Özelliklerine Etkisi

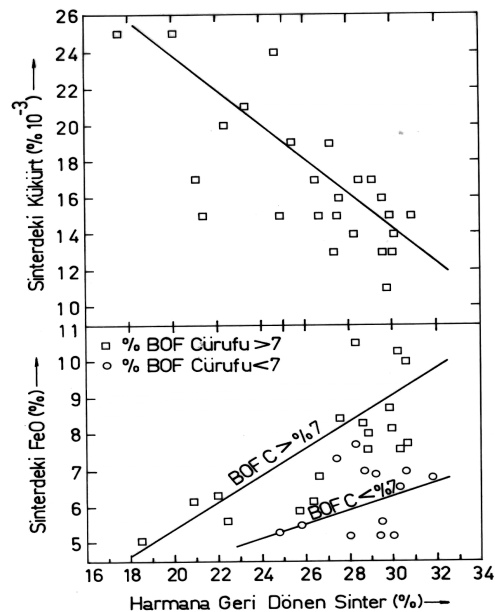
Sinter üretiminde, günlük üretimde farklı zamanlarda alınan 3 üründe tumbler mukavemet testleri yapılmaktadır. Ürün sinterin bileşimi ile tumbler indeksinin değişimi incelenmiştir.

a) Bazikliğin Mukavemete Etkisi: Ürün sinterdeki toplam bazikliğin sinter mukavemetine [tumbler indeksi, (+6.3mm)%] etkisi Şekil 4 'de verilmiştir. Harmana ilave edilen kireçtaşı oranının %2.5 'den büyük olduğu durumlarda, baziklik artışıyla mukavemet düzenli olarak azalmaktadır. Kireçtaşı oranının bu değerden küçük olduğu durumda, baziklik BOF cürufu ile sağlandığından, cürufun kompleks yapısı nedeniyle düzensiz bir değişim görülmektedir.

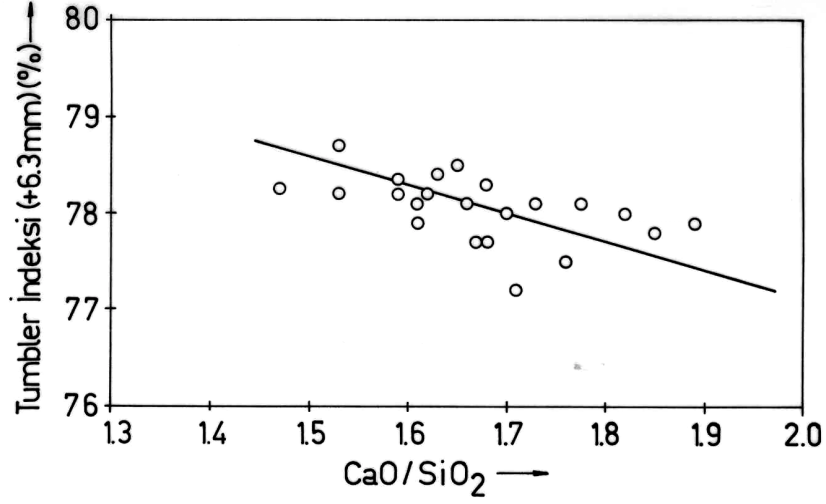
b) Sinterdeki FeO Oranının Mukavemete Etkisi: Ürün sinter bileşimindeki FeO oranının sinter mukavemetine [tumbler indeksi, (+6.3mm)%] etkisi Şekil 5 'de verilmiştir. FeO miktarı arttıkça, sinterin mukavemeti azalmaktadır.



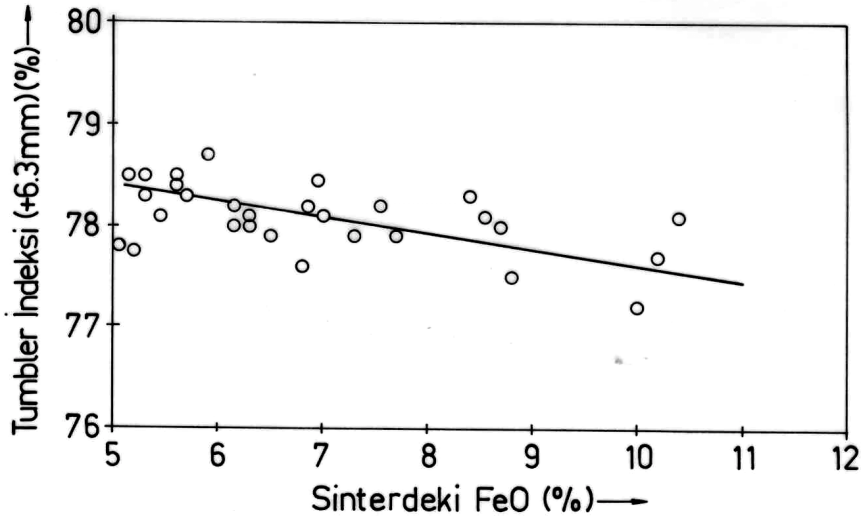
Şekil 2: Baziklik oranı ile (a) ürün sinterdeki FeO oranının, (b) ürün sinterdeki kükürdün değişimi.



Şekil 3- Sinter harmamna geri dönen sinter tozu oranıyla (a) ürün sinterin kükürt içeriğinin, (b) ürün sinterdeki FeO oranının değişimi.



Şekil 4- Ürün sinterdeki bazikliğin sinter mukavemetine [tumbler indeksi, (+6.3mm)%] etkisi.



Şekil 5- Ürün sinterin bileşimindeki FeO oranının sinter mukavemetine [tumbler indeksi, (+6.3mm)%] etkisi.

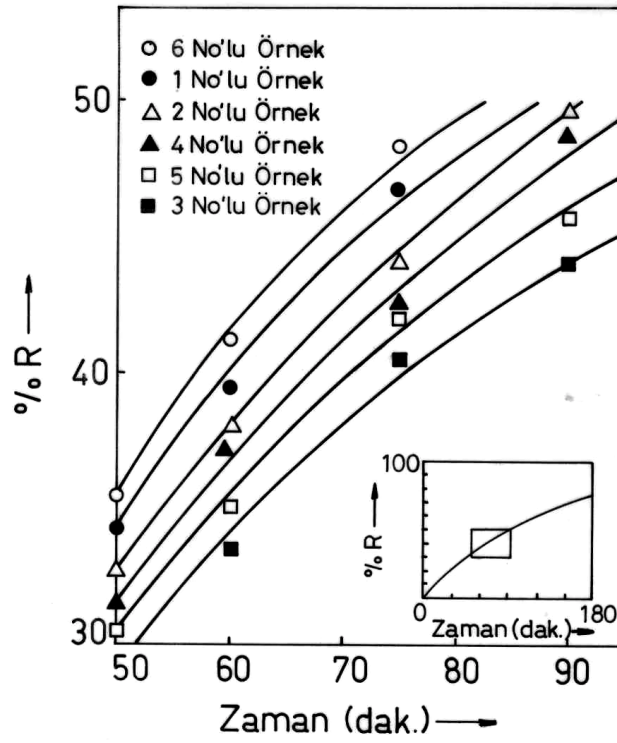
4.4- Harman Bileşiminin Sinterin İndirgenabilirliğine Etkisi

Çeşitli harman bileşimleri ile üretilen sinterlerin özellikleri Tablo 2 'de verilen örnekleri ile Gakushin indirgenebilirlik test cihazında, indirgenebilirlik deneyleri yapılmıştır. Deneylerden elde edilen değerlere göre, oksijen giderilme oranlarının (%R) zamana göre değişimi Şekil 6 'da verilmiştir. İndirgenebilirlik testlerinden elde edilen indirgenebilirlik indekslerinin [(dR/dT)₄₀] baziklik oranı (CaO/SiO₂) ile değişimi ise Şekil 7 'de verilmiştir. Şekilden görülebileceği gibi, baziklik arttıkça indirgenebilirlik indeksi de artmaktadır. FeO içeriklerine göre değerlendirildiğinde; FeO içeriği düşük olan sinterin indirgenebilirliğinin daha iyi olduğu görülmektedir.

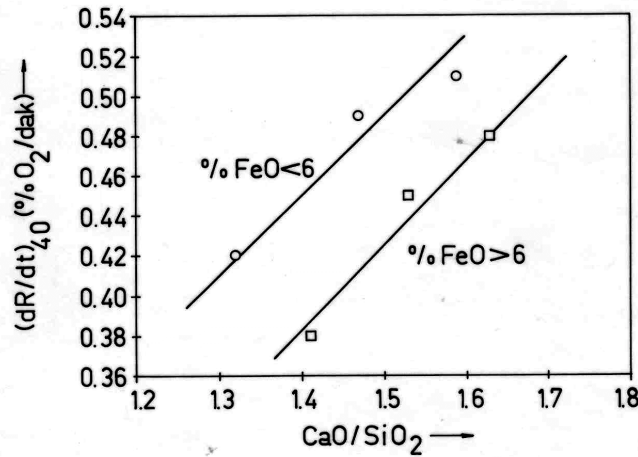
Tablo 2- Gakushin indirgenebilirlik deneylerinin yapıldığı sinter örneklerinin özellikleri.

	1	2	3	4	5	6
Toplam Fe	54.77	56.0	55.77	54.31	54.97	55.21

FeO, %	5.6	6.94	6.30	6.86	5.60	5.32
Cevher oranı, %	52.6	55.5	57,1	53.0	60.6	51.5
Gerı dönen sinter, %	30.5	29.2	22.0	25.6	22.4	25.7
CaO/SiO ₂	1,47	1.63	1.41	1.53	1.32	1.59
Tufal, %	1.3	1.4	2.9	2.9	0	1.4
Baca tozu, %	1.3	1.4	1.1	1.2	0	3.4
BOF cürufu, %	6.1	0	7.7	7.9	8.2	9.4



Şekil 6- Özellikleri Tablo 2 'de verilen 6 sinter örneğinin Gakushin indirgenabilirlik testinden elde edilen oksijen giderilme oranlarının (%R) zamana göre değişimi..



Şekil 7- Şekil 6 'da gösterilen indirgenebilirlik testlerinden elde edilen indirgenebilirlik indekslerinin $[(dR/dT)_{40}]$ baziklik oranı (CaO/SiO_2) ile değişimi.

5- Sonuçların İrdelenmesi

Erdemir sinter tesisleri sürekli çalışan tesislerdir. Her yönüyle kalite gözetilerek sinter üretimi yapılmaktadır. Cevher tozu, kok tozu, dolamit, tufal hemen hemen sabit miktarlarda harmana katılmaktadır. Baca tozu ve geri dönen toz sinter miktarlarındaki değişim de çok azdır. Çalışmanın yapıldığı dönemde önemli miktarlarda değiştirilen bileşenler, kireçtaşı ve BOF cürufu olmuştur.

Ürün sinterlerle yapılan test ve analiz sonuçları; harman bileşiminin Erdemir'de üretilen sinterin kalitesinde çok önemli değişiklikler meydana getirmediğini göstermektedir. Örneğin, sinter kalitesini belirlemede önemli bir özellik olan mukavemet değerleri [tumbler indeksi, (+6.3 mm)%] 77.0-79.0 arasında değişmektedir. Zaten teknolojik olarak üretilen sinterin kalitesinin belli bir aralıkta devamlılığının korunması işletmecilik açısından da zorunludur. Dar aralıklarda meydana gelen değişimlerden, bazı eğilimleri belirleyerek harmanı oluşturan bileşenlerin etkileri açıklanabilir.

Çeşitli harmanlarla sinter üretiminde, sabit cüruf hacimlerinde, BOF cürufu ilavesinin artmasıyla sinter verimliliğinde artışlar meydana gelmektedir (Şekil 1a). Bu çalışmanın yapıldığı dönemlerde Erdemir'de harman yüksekliği 58 cm olarak sabit tutulmaktadır. Buna göre; sinter verimliliğinin artışı, yani üretim hızının artışı; sinter makinasının hızının artışına bağlıdır. Sinter harmanına bazik ilave olarak BOF cürufunun ilave edilmesi ile hazır cüruf ilavesi yapıldığından, karbonatların parçalanması ve cüruf oluşumu için gerekli ısı ve süre azalacağı için, sinter makinesinin hızı arttırılabilir. Makine hızının artması; yanmanın hızlı olduğunu, kok miktarının ve maksimum sıcaklığın düşük olduğunu gösterir. Böylece, düşük kok oranıyla, kalitesi yüksek, düşük sıcaklık sinteri üretme olanağı doğar. Sonuçlardan, aynı BOF cürufu ilavesi ile, toplam cüruf hacminin -dar aralıkta olsa da- artışının verimliliği arttırdığı anlaşılmaktadır. Bütün bunlar; sinter üretiminde cürufu kontrol etmekle verimliliğin arttırılabileceğini göstermektedir. Sinter üretiminde büyük oranda kükürt giderilse de, sinter bileşimine bağlı olarak, sinterde bir miktar kükürt kalmaktadır. Bazikliğin artışı sinterde kalan kükürt miktarını arttırmaktadır (Şekil 2b). FeO miktarı yüksek olan sinterin yapısında kükürt daha düşüktür. Çünkü görece olarak sinterleşmenin daha fazla yakıtla ve daha yüksek sıcaklıkta gerçekleşmesi, FeO miktarını arttırdığı gibi, yanarak uzaklaşan kükürt miktarını da arttırmaktadır. Baziklik artışının sinterde bulunan kükürt miktarını artırması, bazik oksitlerin kükürdü bağlamasından (örneğin CaO 'in S' ü CaS şeklinde bağlaması) kaynaklanır. BOF cürufu ve geri dönen sinter tozu oranlarındaki artışlar sinterde kalan kükürt miktarını düşürürler (Şekil 1b ve 3a). Geri dönen sinterin, kükürdü azalmış sinter olması nedeniyle, sinter harmanında oranının artması ile, ürün sinterin kükürt içeriğini azaltması doğaldır. BOF cürufu hazır cüruf olduğundan sinterleşmede, diğer cüruflaştırıcılara oranla önemli oranda reaksiyonlara katılmamaktadır. Bu da demirli hammaddelerden ve koktan gelen kükürdün, bazik cürufa önemli oranda alınmadığını, serbestçe yakıldığını gösterir. Bu sonuca göre, BOF cürufu ile bazikliğin arttırılması, yapıda kalan kükürt miktarının azalmasını sağlar.

Bazikliğin arttırılması ürün Sinterdeki FeO miktarını düşürmektedir (Şekil 2a). Sinter üretiminde bu beklenen sonuçtur. BOF cürufu ilavesiyle üretilen sinterlerde, BOF cürufu miktarının arttırılması ile bazikliğin arttırılması, ürün sinterde FeO miktarının artmasına neden olur. Çünkü BOF cürufu ilavesi ile sinter harmanına bir miktar FeO gelmektedir. Cüruftaki bu FeO da önemli oranda değişime uğramadan yapıda yer almaktadır. Geri dönen sinter tozu oranının artışıyla da, geri dönen sinterde FeO bulunması nedeniyle, ürün Sinterdeki FeO miktarı artmaktadır (Şekil 3b).

Ürün sinterin baziklik oranının artması ile mukavemet değerleri [tumbler indeksi, (+6.3mm)%] düşmektedir (Şekil 4). Bu da sinter üretiminde doğal sonuçtur. Ürün sinterlerin FeO içeriğinin

artması mukavemet değerlerini [tumbler indeksi, (+6.3mm)%] düşürmektedir (Şekil 5). Sinterin mukavemeti; birinci olarak, çatlaklar ve büyük porlardan etkilenir. İkinci olarak da, cürufun özellikle ergimemiş cevher partiküllerini yeterli şekilde sarıp sarmamasından etkilenir. İğnesel kalsiyum ferritin geniş ağ örgüsünün geliştirilmesi, sinterin mukavemetini büyük oranda arttırmaktadır. Sinterde FeO miktarının fazla olması, görece olarak fayalit miktarının fazla olduğunu ifade eder. Fayalitin kırılğan yapısı sinterin mukavemetini düşürür. Ayrıca sinterin yapısındaki FeO miktarının artması, sinterlemede oksidasyonun görece olarak düşük olduğunu ifade eder. Düşük oksidasyonla da sinter mukavemetini destekleyen oksit bağları gelişmez.

Gakushin indirgenabilirlik testlerinin sonuçlarına göre, harman bileşiminin değişimi, indirgenebilirlikte önemli bir değişiklik meydana getirmemektedir. Ancak bir eğilim olarak sinterlerin baziklik oranlarının artışıyla indirgenebilirliğin arttığı, özellikle düşük FeO oranlarında indirgenebilirliğin daha yüksek olduğu görülebilmektedir.

BOF cürufunun yukarıda sayılan sinter kalitesine etkilerinin bir sonucu olarak; ortalama 53/28/19 oranlarında sinter/pelet/parça cevher kullanılan yüksek fırında, harmanına ilave edilen BOF cürufu oranı arttırılan sinterin, yüksek fırın verimliliğini arttırdığı ve kullanılan kok oranını düşürdüğü gözlenmiştir. Ancak yüksek fırın işletmeciliğinde fırının verimliliğine ve kok tüketimine birçok faktör etkili olduğu için bu konunun diğer faktörlerle birlikte değerlendirilmesi doğru olur.

Cürufu olarak BOF cürufu kullanımı, önemli miktarda kireçtaşı ve dolomit tasarrufu sağlamaktadır. Ayrıca bu cürufu kullanılarak, sinterleme esnasında karbonatların kalsinasyonu için harcanacak koktan tasarruf sağladığı gibi, kalsinasyon ürünü gazların kalitede meydana getireceği olumsuzluklar engellenmektedir, sinterlemede baca gazı hacmi azalmaktadır. BOF cürufunun cürufu özelliğinin yanısıra, içerdiği Fe ve Mn nedeniyle, ayrıca bir öneme sahiptir. Üstelik bütün bu avantajların atık hale gelmiş bir üründen sağlanması ekonomik ve çevresel yönlerden büyük önem taşımaktadır.

BOF cürufunun olumsuz bir yönü yapısında fosfor bulundurmasıdır. Sintere BOF cürufu katılması ile prosese giren hammaddelerde fosfor miktarlarının artmasına neden olması, çeliğin rafinasyonu sürecinde rafine edilmesi gereken fosfor miktarını arttırır. Çelikte soğuk kırılğanlık yaratan fosforun yeni yaklaşımlarla giderilebileceği gibi, genel olarak konverterlerde ilave üflemlerle giderilebilir. Ancak konunun ekonomikliği de değerlendirilmelidir.

6- Genel Sonuçlar

Erdemir sinterinin harman bileşiminin belirli sınırlar içinde değişmesi, sinter kalitesinde önemli değişiklikler meydana getirmemiştir. Ancak dar aralıklarla meydana gelen bu değişimlerden aşağıdaki sonuçları çıkarmak mümkündür:

Harmana BOF cürufu ilavesinin artmasıyla sinterin verimliliğinde artış meydana gelmektedir.

Sinterin baziklik oranının artması, sinterde kalan kükürt miktarını arttırmaktadır. FeO miktarı yüksek olan sinterin yapısında kükürt daha düşüktür.

Sinterin baziklik oranının artması ile FeO içeriği azalmaktadır, aynı baziklikte BOF cürufu miktarının artması FeO miktarının artmasına neden olmaktadır.

Geri dönen sinter tozu oranının artmasıyla sinterin FeO oranı artmaktadır.

Sinterdeki FeO içeriği sinter mukavemeti değerlerinde düşüşler meydana getirmektedir.

İndirgenebilirlik; sinterin baziklik oranının artmasıyla artmakta ve düşük FeO oranlarına sahip sinterlerde daha yüksek değerlere ulaşmaktadır.

BOF cürufu ilaveli değişik harman bileşimleriyle üretilen sinterlerin yüksek fırında kullanılmasıyla, yüksek fırın verimi artmakta ve kok tüketimi azalmaktadır.

BOF cürufu, önemli miktarlarda kireçtaşı ve dolomit tasarrufu sağlamakla beraber Fe ve Mn içermesi dolayısıyla ekonomiktir.

BOF cürufunun sinter üretiminde kullanılması, atık durumdaki bu malzemenin çevresel olumsuzluklarını azaltır.

Teşekkür

Bu makaleyi kapsayan Yüksek Lisans Tez çalışmasına olanak sağlayan Ereğli Demir ve Çelik Fabrikaları T.A.Ş. yetkililerine, çalışanlarına ve özellikle Sn. Mustafa ADALI 'ya teşekkür ederiz.

Kaynaklar

Ball, D.F., Agglomeration of Iron Ores, American Elsevier Publ. Co. New York, 1973.

Jeulin, D., Relation Between Quality and Morphology of Sinter-Texture Analysis Contribution, Ironmaking and Steelmaking, Vol.10, No.4, 1983.

Larrca, M.T., Development of Sinter Structure and Correlation with Its Magnetic Susceptibility, for Different Basicity Indices, Ironmaking and Steelmaking, Vol.19, No.4, 1992.

Türkdoğan, E.T., Physicochemical Properties of Molten Slag and Glases, London. 1983.

Egundebi, G.O., Evolution of Microstructure in Iron Ore Sinters, Ironmaking and Steelmaking, Vol. 16. No.6, 1989.