

# YÜKSEK FIRIN CÜRUFULARININ CAM SANAYİNDE KULLANILABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI

## INVESTIGATION OF BLAST FURNACE SLAGS IN GLASS INDUSTRY

**M. Faruk ESKİBALCI ve Şafak G. ÖZKAN**

İ.Ü. Mühendislik Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümü, 34850, Avcılar/ İstanbul

**ÖZ:** Günümüzde çevre bilincinin giderek gelişmesi, insanların iyi ve temiz ortamlarda yaşama isteği, enerji maliyetlerinin giderek artması ve benzeri durumlar atıkların geri kazanımı olanaklarının araştırılması ve en uygun ekipmanların geliştirilmesini zorunlu hale getirmiştir. Bu çalışmada İskenderun, Ereğli ve Karabük'te kurulu Demir-Çelik fabrikalarından temin edilen cürufuların cam sanayiinde alümina kaynağı olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır. Temsili olarak hazırlanan numuneler üzerinde kimyasal analiz, mineralojik analiz, tane boyut dağılımı ve teknolojik testler yapılmıştır. Analiz bilgilerinin ışığı altında numunelere boyut küçültme, boyuta göre sınıflandırma ve manyetik ayırma deneyleri uygulanmıştır. Bu deneyler sonucunda uygun tane boyutunda ve kimyasal yapıda cam üretiminde kullanılacak konsantreler üretilmiştir. Elde edilen bu konsantreler ve feldspat kullanılarak farklı özelliklerde camlar imal edilmiş ve elde edilen camlar kalite ve ekonomik açıdan karşılaştırılmıştır.

**Anahtar Sözcükler:** Yüksek Fırın, Cüruf, Cam Endüstrisi, Kuvars, Feldspat

**ABSTRACT:** Today, the development of environmental consciousness, the desire of human beings to live in good, clean surroundings, the gradual increase of energy costs and similar cases, make necessary the research and investigation regarding the possibilities of recycling, recovery of waste material, and development of suitable equipment. In this study, possibility of utilization of slags, obtained from the Iron-Steel works of the İskenderun, Ereğli and Karabük as a source of alumina during glass production, have been investigated. Representative samples were taken from the stockpiles of each factory. Chemical analysis, microscopic examination with an electron microscope, particle size distribution and technological tests were carried out on these samples. At the end of these experiments, a concentrate of suitable particle size and chemical composition were obtained. These concentrates and feldspar were used to produce glass separately and the result were compared to each other from an economic and quality point of view.

**Key Words:** Blast Furnace, Slag, Glass Industry, Quartz, Feldspars.

### GİRİŞ

Yüksek fırın cürufu, demir-çelik sektörünün büyük bir atık malzemesini teşkil etmektedir ve bu malzemenin değerlendirilerek ekonomiye katılması büyük önem arz etmektedir (Baş 1982). Yüksek fırın cürufu teknolojik gelişmeler neticesinde; çimento, yol yapım malzemesi olarak agrega, cam sanayiinde alümina kaynağı vb. (Abrahams 1991, Philco 1989, Eskibalci 1999) olarak kullanım olanaklarının ortaya çıkmasına kadar demir çelik üreticileri tarafından istenmeyen madde olarak görülmüştür ve bunları

stoklamak için büyük sahalara ihtiyaç duyulmuştur. Son yıllarda, pazarlardaki gelişmeler yüksek fırın cürufuna etkili kullanım alanları sağlamış ve endüstriyel bir atık olmaktan ziyade, kıymetli bir kaynak şeklinde değişim göstermiştir (Kocabağ 1997). Cam harmanında kullanılacak kalitede olan ve alüminyum oksit içeren maddeler dünyada çok azdır ve olanlarda oldukça pahalıdır (Köse vd. 1986). Ülkemizde bu amaçla feldspat kullanılmaktadır. Fakat bu hammaddelerin kimyasal kompozisyonu istenildiği kadar sabit değildir. Bu nedenle alternatif

hammadelerin bulunması çalışmalarına hız verilmiştir. Cüruf %2-15 oranında  $Al_2O_3$  içermektedir. Cürufun yapısını oluşturan metal oksitlerdir. Yüksek fırın cürufunun cam harmanında alüminyum oksit kaynağı olarak kullanılması ve bu hammaddelerin camın ergimesi, afinyasyonu ve rengi üzerine olan etkileri bir çok araştırmacı tarafından incelenmiştir. Bu araştırmalardan; cürufun ergimeyi hızlandırdığı ve afinyona olumlu etkileri olduğu, ayrıca cüruf kullanılarak yapılan camlarda renk verici madde eklenmeden, sadece harmandaki oksidan madde miktarını değiştirerek renksiz veya istenilen koyulukta bal rengi cam elde edilebildiği tespit edilmiştir (Wong 1989, Eskibalcı 2000). Buna karşılık, yapılan çalışmalarda bal rengi tonlarının, cüruf kompozisyonunu, fiziksel özellikleri ve ergitme şartlarına çok hassas olduğu ve bu şartlardaki ufak bir oynamanın cam rengini büyük ölçüde değiştirebileceği de dikkati çekmiştir (Apak 1977, Simpson 1976, Roatta 1994, Roatta 1997).

#### DENEYSSEL ÇALIŞMALAR DENEYLERE ESAS OLAN NUMUNE

Deneyisel çalışmalar, Türkiye Demir-Çelik İşletmeleri Genel Müdürlüğü, İskenderun, Ereğli ve Karabük fabrikalarından alınan temsili cüruf numuneleri üzerinde yürütülmüştür. Numuneler, tesislerin stok sahalarında 1000'er kg olarak alınmış, daha sonra konileme-dörtleme ile 100 kg'a indirilmiş, 10 mm'lik elekten elenerek +10 mm boyutlu granüle olmamış kısım camsı yapıda olmadığı için ayrılmıştır.

#### NUMUNELERİN FİZİKSEL VE KİMYASAL ÖZELLİKLERİ

Numunelerin kimyasal analizleri Çizelge 1'de verilmiştir. Laboratuvarda hazırlanan 1 kg'lık temsili numuneler, malzemelerin boyut dağılımını tespit etmek için elek analizine tabi tutulmuş ve elde edilen her bir fraksiyonun kimyasal analizi yapılmıştır. Numunelerin elek analiz sonuçları Çizelge 2'de ve kümülatif elek altı ve kümülatif elek üstü eğrileri Şekil 1, 2 ve 3'de verilmiştir. +0,5 mm tane boyutundaki malzeme miktarı İSDEMİR'de %88, ERDEMİR'de %85 ve KARDEMİR'de yaklaşık %73 olarak tespit edilmiştir.

Numunelerin orijinal halleriyle cam harmanında kullanılmaları tane boyutu açısından mümkün değildir zira cam harmanında

Çizelge 1: Her Bir Örneğin Kimyasal Analizi  
Table 1: Chemical composition of the samples

Bileşik	İsdemir	Erdemir	Kardemir
MgO	8,14	3,50	7,70
SiO <sub>2</sub>	37,75	35,24	39,06
CaO	36,04	40,30	33,11
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,24	0,50	0,56
MnO	1,06	1,62	1,54
S	0,74	1,21	1,29
K <sub>2</sub> O	0,77	1,29	1,46
TiO <sub>2</sub>	0,58	0,72	0,50
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	11,58	13,20	12,45
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-	0,001	-

kullanılabilmeleri için +0,5 mm boyutundaki malzeme miktarının max. %1, -0,074 mm boyutundaki malzemenin ise max. %25 olması istenmektedir (Apak 1977). Bu değerler dikkate alınarak boyut küçültme deneyleri yapılmasına karar verilmiştir. -0,5 mm boyutundaki malzeme miktarının ise sırasıyla %12, %15 ve %27 oranında olduğu görülmektedir. Öğütme pahalı bir proses olduğu için boyut küçültme deneylerine geçilmeden önce 0,5 mm boyutunun altındaki kısmın ayrılması, malzemenin 0,074 mm boyutu altına fazla kaçmasını önleyeceği gibi, enerji tasarrufu da sağlamış olacaktır. Elde edilen elek analiz verilerinden yararlanılarak Şekil 44'de görülen karşılaştırmalı tane boyut grafiği oluşturulmuştur. Şekil 4'de kıyaslama yapmak için şişe camı ve düz cam imalinde kullanılan feldspatın tane boyut dağılımı da verilmiştir. Ayrıca numunelerin tane yapısını tespit edebilmek ve yöntem seçimini belirleyebilmek için elektron mikroskopunda fotoğrafları çekilmiştir. Şekil 5'de numunelerin elektron mikroskopundaki görüntüleri verilmiştir. Buna göre;

- Numunelerin geniş bir boyut aralığında dağılıma gösterdiği
- Metal oksit kirlenmelerinin çok olduğu
- Metal oksitlerin silis tanelerinin içerisinde ve boyutlarının 30-80 mikron aralığında olduğu, tamamen bir serbestleşmenin olmasının çok zor olduğu tespit edilmiştir.

#### DÜŞÜK ALAN ŞİDDETLİ MANYETİK AYIRMA DENEYİ

Cüruf numuneleri üzerinde yapılan kimyasal analiz ve mikroskopik incelemelerde numunelerin

Çizelge 2: Cüruf Numunelerinin Elek Analiz Sonuçları  
Table2: Particle-size distribution of the samples from each plant

Elek Açıklığı mm	İsdemir Numunesi			Erdemir Numunesi			Kardemir Numunesi		
	Miktar %	Toplam Elek		Miktar %	Toplam Elek		Miktar %	Toplam Elek	
		Altı, %	Üstü, %		Altı, %	Üstü, %		Altı, %	Üstü, %
-10 +5	3,81	100,00	3,81	-	100,00	-	-	100,00	-
-5 +2	20,99	96,19	24,80	6,71	100,00	6,71	13,44	100,00	13,44
-2 +1	38,80	75,20	63,60	39,84	93,29	46,55	27,77	86,56	41,21
-1 +0,5	24,40	36,40	88,00	38,41	53,45	84,96	31,17	58,79	72,38
-0,5 +0,3	7,50	12,00	95,50	8,15	15,04	93,11	11,52	27,62	83,90
-0,3 +0,212	2,00	4,50	97,50	2,24	6,89	95,35	4,73	16,10	88,63
-0,212 +0,150	1,00	2,50	98,50	1,16	4,65	96,51	2,36	11,37	90,99
-0,150 +0,106	0,80	1,50	99,30	0,45	3,49	96,96	1,63	9,01	92,62
-0,106 +0	0,70	0,70	100,00	3,04	3,04	100,00	7,38	7,38	100,00
<b>Toplam</b>	<b>100,00</b>			<b>100,00</b>			<b>100,00</b>		

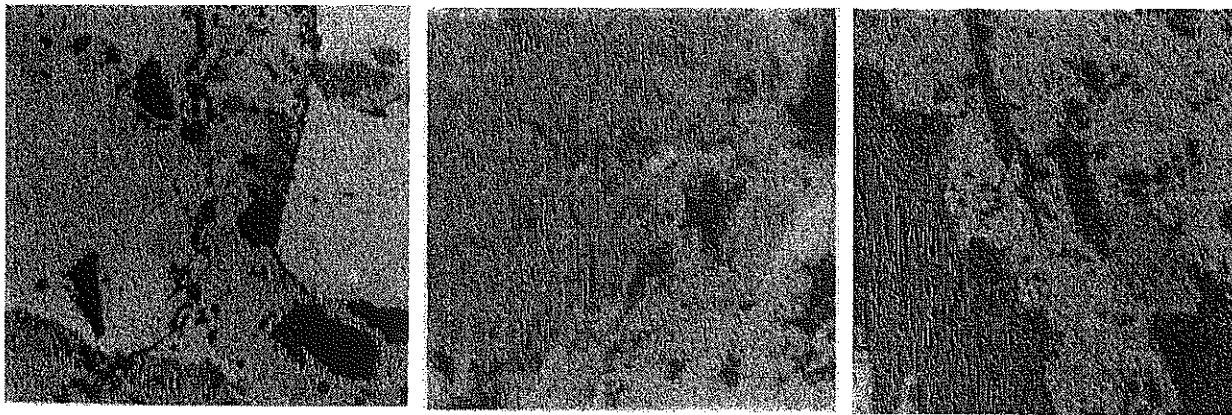
iri boyutlarda serbest demir tanecikleri içerdiği tespit edilmiştir. Manyetik duyarlılığı yüksek olan iriboyutlu demir taneciklerini ilk aşamada temizlemek için Boxmag-Rapid marka düşük alan şiddetli

Şekil 4'de kıyaslama yapmak için tamburlu kuru manyetik ayırıcı kullanılmıştır. Değişik tambur dönüş hızlarında (33-50 d/dk) yapılan deneylerde -5mm +0,5 mm tane boyutundaki

malzeme kullanılmış en iyi sonuç minimum tambur dönüş hızında (33 d/dk) elde edilmiştir. Deneylerden elde edilen sonuçlar Çizelge 3'de verilmiştir.

#### BOYUT KÜÇÜLTME DENEYLERİ

Tane boyutunun istenilen seviyelere çekilebilmesi için bir dizi öğütme deneyi gerçekleştirilmiştir ve optimum öğütme süreleri tespit edilmeye çalışılmıştır. Öğütme deneyleri yaş ve kuru olarak 5 dk, 10 dk, ve 15 dk olarak gerçekleştirilmiştir.



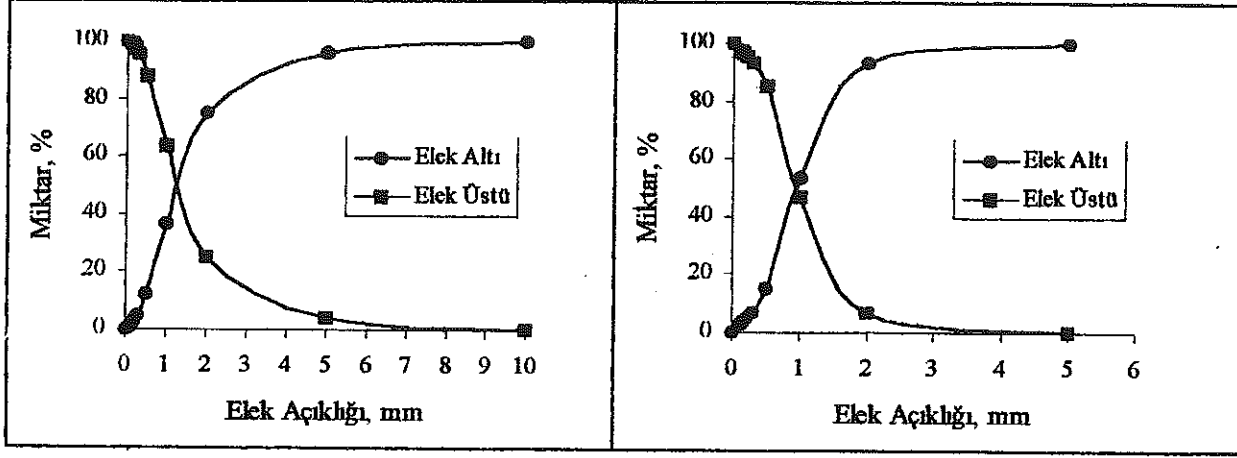
a)İsdemir

b)Erdemir

c)Kardemir

Şekil 5: Numunelerin Elektron Mikroskopundaki Görünümü

Figure 5: The view of the electron microscopy results of the samples



**Şekil 1:** İsdemir Numunesi Tane Boyut Dağılımı Grafikleri

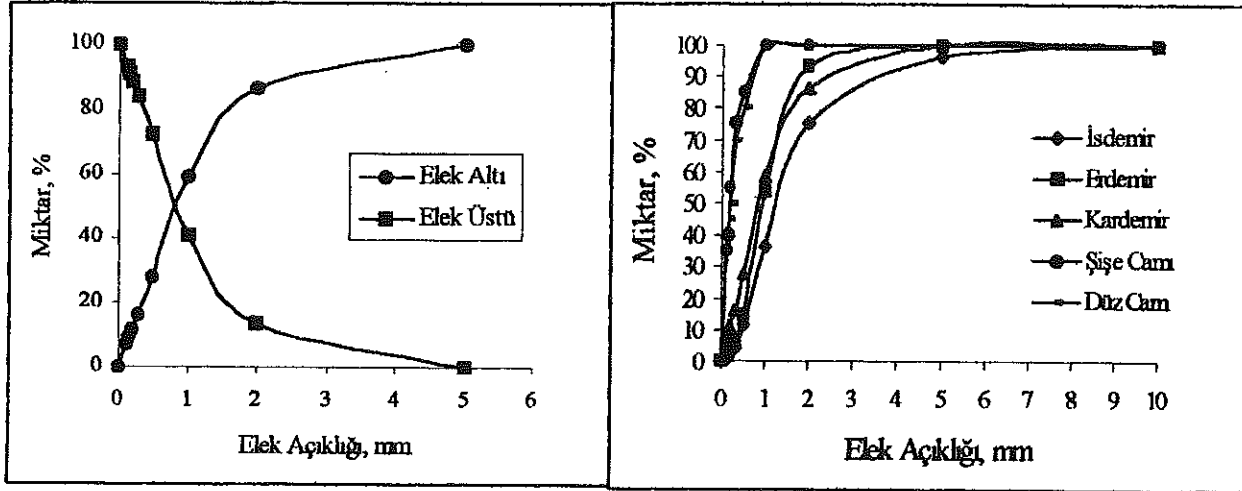
**Figure 1:** Size distribution graphics of the İsdemir's sample

**Şekil 2:** Erdemir Numunesi Tane Boyut Dağılımı Grafikleri

**Figure 2:** Size distribution graphics of the Erdemir's sample

Sonuçlar Çizelge 4'de verilmiştir. Deneyler laboratuvar tipi çubuklu değirmende (Çap:22 cm,

Boy:30,5 cm, %40 çubuk şarjı) yapılmıştır.



**Şekil 3:** Kardemir Numunesi Tane Boyut Dağılımı Grafikleri

**Figure 3:** Size distribution graphics of the Kardemir's sample.

**Şekil 4:** Tüvenan Malzemelerin Elek Altı Eğrilerinin Mukayesesi

**Figure 4:** Comparison of cumulative under size curves in terms of particle size

Çizelge 3: Düşük Alan Şiddetli Kuru Manyetik Ayırma Deneyleri Sonuçları  
Table 3: The results of the low intensity dry magnetic separation tests

ÜRÜN	İsdemir Numunesi			Erdemir Numunesi			Kardemir Numunesi		
	Miktar %	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	Verim %	Miktar %	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	Verim %	Miktar %	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	Verim %
Manyetik	2,500	6,770	65,100	2,650	16,570	87,740	1,140	33,280	83,800
N. Manyetik	97,500	0,093	34,900	97,350	0,063	12,260	98,590	0,092	16,200
Besleme	100,00	0,260	100,00	100,00	0,500	100,00	100,00	0,560	100,00

Çizelge 4: Öğütme Deneyleri Sonuçları  
Table 4: The results of grinding tests

Örnek	Optimum Öğütme	Malzeme Miktarı %	
		+0,5 mm	-0,074 mm
İsdemir	15 dk kuru	+0,5 mm	0,00
		-0,074 mm	23,23
	10 dk yağ	+0,5 mm	0,90
		-0,074 mm	25,00
Erdemir	15 dk kuru	+0,5 mm	0,00
		-0,074 mm	17,00
	5 dk yağ	+0,5 mm	0,40
		-0,074 mm	13,00
Kardemir	5 dk kuru	+0,5 mm	0,30
		-0,074 mm	17,00
	5 dk yağ	+0,5 mm	0,70
		-0,074 mm	15,00

## YÜKSEK ALAN ŞİDDETLİ MANYETİK AYIRMA DENEYİ

Yüksek alan şiddetli manyetik ayırma deneyleri Boxmag-Rapid marka yüksek alan şiddetli diskli kuru manyetik ayırıcıda yapılmıştır. Deneylerde; tesisten gelen ve nemi uzaklaştırıldıktan sonra düşük alan şiddetli kuru manyetik ayırıcıda iri boyutlarda serbest halde bulunan demiri uzaklaştırılmış ve tane boyu öğütme ile 0,5 mm altına indirilmiş cüruf konsantreleri kullanılmıştır.

Yüksek alan şiddetli kuru manyetik ayırma deneylerinde besleme (0,18 kg/saat) ve bant hızı (7,5 m/saat) minimum tutulmuş, disk yüksekliği (0,5-6mm) ve manyetik alan şiddeti (5000-15800 Gauss) değiştirilerek ve disk yüksekliğinin 3 mm olduğu deney şartlarında alınmıştır. Bu takriben 14200 Gauss'luk bir manyetik alana tekabül

etmektedir. Alınan en iyi sonuçlar Çizelge 5'de verilmiştir.

Kuru manyetik ayırma deneyleri ile non-manyetik malzemenin demir tenörü (Erdemir Numunesi) en düşük %0,042 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> seviyelerine kadar indirilebilmiştir. Demir uzaklaştırma verimlerinin düşük olması kuru manyetik ayırıcıların çok ince boyutlarda iyi sonuçlar vermemesine bağlanmıştır.

Yüksek alan şiddetli yağ manyetik ayırma deneyinde Boxmag-Rapid marka tel matriksli ayırıcı kullanılmıştır. Deneylerde pülpte katı oranı ve besleme hızı sabit tutulmuş, manyetik alan değiştirilerek deneyler gerçekleştirilmiştir. Deneyler %30 PKO'nda sırası ile 5000, 10000, 15000 ve 20000 Gauss'luk manyetik alan şiddetlerinde yapılmıştır. Deneylerde alınan en iyi sonuçlar (%30 PKO'nda ve 15000 Gauss manyetik alan şiddetinde) Çizelge 6'da verilmiştir.

Yağ manyetik ayırıcılar son yıllardaki teknolojik gelişmelere bağlı olarak çok ince boyutlardaki malzemelerin ayrılmasında başarı ile kullanılmaktadır. Deneylerde İsdemir numunesinin demir tenörü %0,034 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> seviyelerine başarı ile indirilmiştir.

Yapılan deneylerde malzemenin tane boyutu cam yapımında kullanılacak seviyelere (tamamı 0,5 mm altında ve 0,074 mm altındaki malzeme miktarı ise max. %25 seviyesine) indirilmiş, yağ ve kuru manyetik ayırma deneyleri sonucunda, İsdemir numunesi için kuru manyetik ayırmada yaklaşık 14000 Gauss'luk manyetik alanda minimum %0,043 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> seviyelerine indirilirken, yağ manyetik

Çizelge 5: Yüksek Alan Şiddetli Kuru Manyetik Ayırma Deneyleri Sonuçları

Table 5: The results of the high intensity dry magnetic separation tests

ÜRÜN	İsdemir Numunesi			Erdemir Numunesi			Kardemir Numunesi		
	Miktar	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Verim	Miktar	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Verim	Miktar	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Verim
	%	%	%	%	%	%	%	%	%
Manyetik	23,530	0,255	64,520	16,110	0,172	44,080	28,880	0,200	62,780
N. Manyetik	76,470	0,043	35,480	83,890	0,042	55,920	71,120	0,048	37,320
Besleme	100,00	0,093	100,00	100,00	0,063	100,00	100,00	0,092	100,00

Çizelge 6: Yüksek Alan Şiddetli Yaş Manyetik Ayırma Deneyleri Sonuçları

Table 6: The results of the high intensity wet magnetic separation tests

ÜRÜN	İsdemir Numunesi			Erdemir Numunesi			Kardemir Numunesi		
	Miktar	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Verim	Miktar	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Verim	Miktar	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Verim
	%	%	%	%	%	%	%	%	%
Manyetik	8,590	0,720	66,500	31,430	0,110	54,880	13,220	0,410	58,920
N. Manyetik	91,410	0,034	33,500	68,570	0,041	45,120	86,780	0,043	41,080
Besleme	100,00	0,093	100,00	100,00	0,063	100,00	100,00	0,092	100,00

ayırma ile 15000 Gauss'ta %0,034 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> seviyeleri elde edilmiştir. Renksiz cam yapımında yaratabileceği olumsuz etkilerden dolayı tüvenan numunedeki %1,4 civarındaki S ve %1,2 civarındaki Mn'nin varlığı ise dikkat çekmektedir.

### CAM ÜRETİM DENEYLERİ

Bu bölüm; cevher hazırlama ve zenginleştirilme deneyleri sonucunda elde edilen cüruf konsantrelerinin, cam ergitme laboratuvarlarında yapılan ergitme deneylerini kapsamaktadır.

Burada yüksek fırın cürufunun cam harmanında alüminyum oksit kaynağı olarak kullanılması ve bu hammaddenin camın ergimesi afinasyonu ve rengi üzerindeki etkileri araştırılmıştır. %72 SiO<sub>2</sub>, %1,8 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, %0,24 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, %0,225 TiO<sub>2</sub>, %10,33 CaO, %2,50 MgO, %12,93 Na<sub>2</sub>O, %0,07 K<sub>2</sub>O, %0,202 SO<sub>3</sub> olarak belirlenmiş bir renksiz cam kompozisyonu elde etmek için hem feldspatla hem de cürufuyla hazırlanmış iki ayrı harman aynı şartlarda

Cüruf ve feldspatın alümina içeriklerine cam ergitme deneylerine tabi tutulmuş ve elde edilen camlar kalite ve ekonomik açıdan değerlendirilmiştir. bakıldığında sırasıyla %10,6 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve %19,46 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> olduğu, teorik camda %2,20 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>'e ulaşmak için ise cam harmanına feldspata göre iki misli cüruf ilavesi gerektiği görülmektedir. Aynı cam kompozisyonunu vermek üzere hazırlanan iki ayrı harman aynı ergitme koşullarında 100 g cam elde etmek üzere 1450 °C'da 3 saatlik bir ergitme zamanından sonra camlar kalıplara dökülmüş ve tavlannmıştır.

Ergitme işlemi sonrasında feldspatla yapılan camın renksiz, buna karşın cürufuyla yapılan camın ise bal renginde olduğu görülmüştür.

Cüruf kullanılarak yapılan camın bal renginde çıkmasının nedeninin cüruf bileşiminde bulunan mangan ve -2 değerlikli S'den kaynaklanabileceği düşünülebilmektedir. Bu renksiz cam yapımında cürufun, feldspat yerine birebir kullanımına uygun olmadığını göstermektedir.

Cürufun içerdiği mangan ve kükürdün

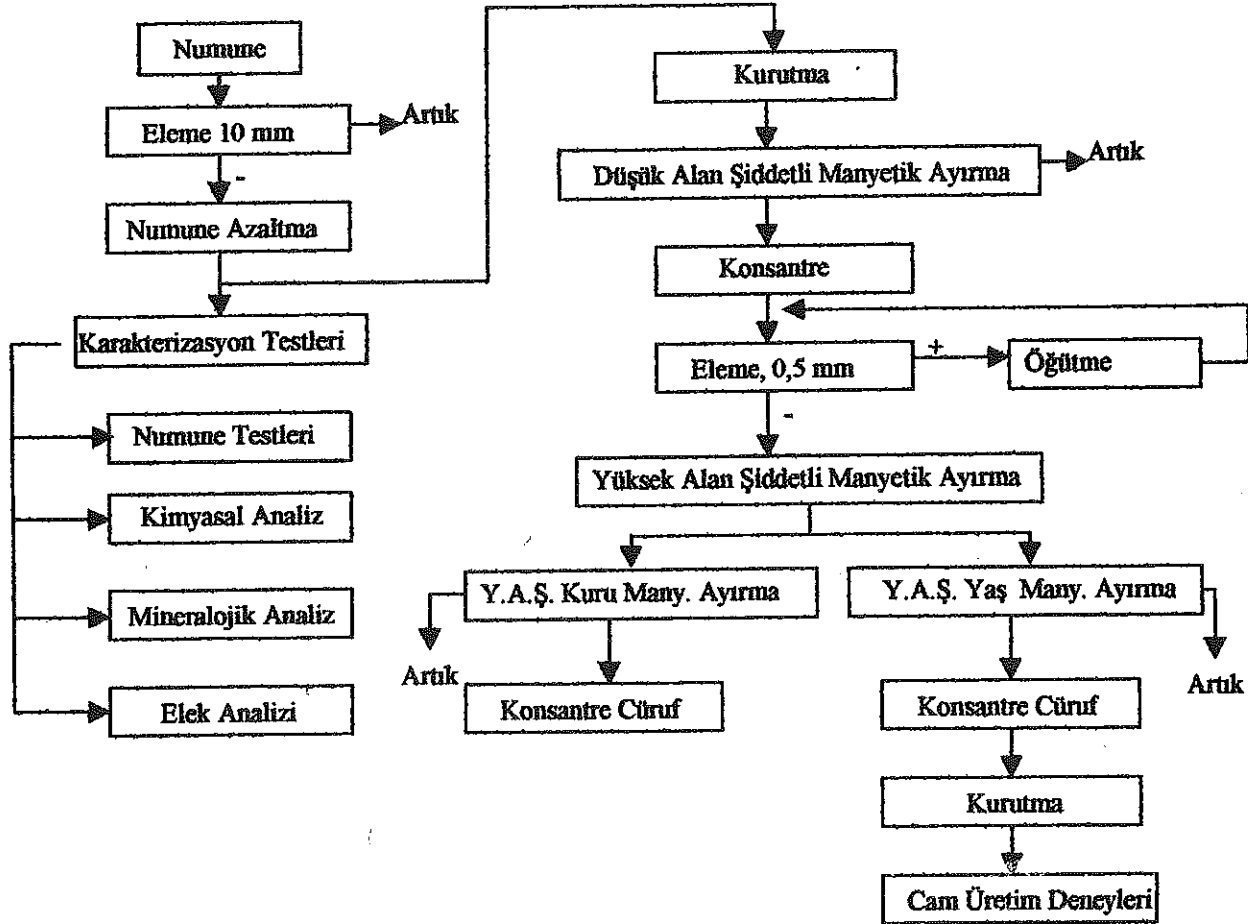
olumsuz etkisini ortadan kaldırmak ve renksiz cam elde edebilmek için cam harmanına ilave edilen cüruf miktarı kademeli olarak azaltılmış ve teorik cam kompozisyonundaki alüminyumun %70, %40 ve %20'si cüruftan gelecek şekilde 3 yeni harman hazırlanmıştır. Hazırlanan bu harmanların ergitme deneyleri de aynı ergitme şartlarında gerçekleştirilmiştir. Ergitme deneyleri sonucunda; %70'lik olarak hazırlanan camın açık bir bal renginde olduğu, %40 olarak hazırlanan camın renksiz cama çok yaklaştığı ama içerisinde sarımtırak bir gölgelenmenin olduğu, %20 olarak hazırlanan camın ise tamamen renksiz olduğu görülmüştür. Son olarak; renksiz cam yapımında feldspat yerine cürufun birebir kullanımı mümkün olmadığı için hem feldspatla hem de cürufu ayrı ayrı bal rengi cam harmanı hazırlanmış ve bunlar karşılaştırılmıştır. Hazırlanan bal rengi camın teorik kompozisyonu;

%70,73 SiO<sub>2</sub>, %2,20 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, %0,24 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, %0,225 TiO<sub>2</sub>, %10,33 CaO, %2,50 MgO, %12,93 Na<sub>2</sub>O, %0,07 K<sub>2</sub>O, %0,03 SO<sub>3</sub> den oluşmaktadır. Aynı ergitme koşullarında yapılan deneyler sonucunda bal rengi cam yapımında feldspat yerine cüruf kullanıldığında kalite olarak fark görülmezken yapılan maliyet incelemesinde %7'lere varan bir azalma meydana gelebileceği anlaşılmıştır. Yapılan çalışmaların akım şeması Şekil 6'da verilmiştir.

## TARTIŞMA VE SONUÇLAR

Demir-Çelik sanayiinin bir çıktısını teşkil eden yüksek fırın cürufunun cam üretiminde kullanılabilmesi için bir dizi hazırlama işleminden geçmesi gerekmektedir.

Deneyisel çalışmalara başlamadan önce numunenin nem içeriği uzaklaştırılarak manyetik ayırma deneylerinin başarısı artırılabilir.



Şekil 6: Deneyisel Çalışmalarda Kullanılan Akım Şeması

Figure 6: The flow chart of the experimental studies.

Numunelerin cam üretiminde kullanılabilmesi için +0,5 mm boyutlu malzeme miktarının max. %1, -0,074 mm malzeme miktarı da max. %25 olması istenmektedir. Bu şartları sağlamak için bir boyut küçültme işlemine gerek vardır.

Cürufun cam üretiminde alümina kaynağı olarak feldspatın yerine kullanılabilmesi için  $Fe_2O_3$  tenörünün %0,04 seviyelerine indirilmesi gerekmektedir.

Numunelerin yapılan mikroskop incelemelerinde iri boyutlarda serbest halde demir taneciklerinin yanında metal oksitlerin silis tanelerinin içerisinde ve boyutlarının 30-80 mikron aralığında olduğu ve bu açıdan tamamen bir serbestleşmenin olmasının çok zor olduğu tespit edilmiştir. Yapılan bir dizi manyetik ayırma deneyi sonrasında %0,26  $Fe_2O_3$  tenörlü İsdemir numunesinin tenörü %0,043  $Fe_2O_3$ , %0,50  $Fe_2O_3$  tenörlü Erdemir numunesinin tenörü %0,042  $Fe_2O_3$  ve %0,56  $Fe_2O_3$  tenörlü Kardemir numunesinin tenörü de %0,048  $Fe_2O_3$  seviyelerine indirilmiştir.

Yapılan yüksek alan şiddetli manyetik ayırma deneylerinden elde edilen sonuçlar incelendiğinde yaş manyetik ayırmanın kuru manyetik ayırmaya göre daha iyi sonuçlar verdiği gözlenmiştir. Bu yaş manyetik ayırmanın ince tane boyutlarında daha başarılı sonuçlar vermesinden kaynaklanmaktadır. Cevher hazırlama ve zenginleştirme deneyleri ile tane boyutu ve demir tenörü bakımından cam yapımında kullanıma uygun hale getirilen cüruf numuneleri ile yapılan cam dökme deneyleri sonucunda şu sonuçlar elde edilmiştir:

Renksiz cam yapımında feldspatın yerine cürufun birebir cam harmanında kullanılmasının mümkün olmadığı görülmüştür. Bu; cürufun bileşiminde bulunan mangan ve -2 değerlikli S den kaynaklanmıştır. Cürufun içerdiği mangan ve kükürdün olumsuz etkisini ortadan kaldırmak ve renksiz cam elde edebilmek için cam harmanına ilave edilen cüruf miktarı kademeli olarak azaltılmış ve teorik cam kompozisyonundaki alüminyumun %70'i %40'ı ve %20'si cüruftan gelecek şekilde 3 yeni harman hazırlanmıştır. Deneyler sonucunda 0,7'lik camın açık bal renginde, 0,4'lük camın renksiz ama içerisinde sarımtırak bir gölgelenmenin olduğu ve 0,2'lik camın ise tamamen renksiz olduğu ve %7'lere varan bir maliyet avantajının olduğu görülmüştür. Sonuç olarak cam sanayiinde cüruf kullanımının; demir-çelik fabrikalarından geldiği

hali ile mümkün olmadığı ancak özelliklerinin iyileştirilmesinden sonra mümkün olacağı ve istenilen faydaları sağlayabileceği ortaya çıkmıştır.

### KATKI BELİRTME

Yazarlar bu çalışmada değerli katkılarından dolayı merhum Prof. Dr. B. İPEKOĞLU'na ve deneysel çalışmalara katkıda bulunan Demir-Çelik Fabrikaları'na ve Şişecam A.Ş.'ye teşekkürü bir borç bilirler. Bu çalışma İstanbul Üniversitesi Araştırma Fonunca desteklenmiştir. Proje No:T-532/180398.

### SUMMARY

Today, the development of the environmental consciousness, the desire of human beings to live in good and clean surroundings, the gradual increase of the energy costs and similar cases make necessary the researches and investigations regarding the possibilities of recycling and recovery of the waste material and the development of the suitable equipment.

In Turkey, the most important waste material of the Iron-Steel sector is the blast furnace slag. It contains an average of 2-15%  $Al_2O_3$ . The Other components of the slags are generally the metallic oxides, which already exist in glass. In addition, because of its glassy nature the slags makes an effect as a broken glass to accelerate the certain level of the glass melting. The utilization of the blast furnace slags during the production of glass as a source of alumina and the effect of these raw materials during the melting of the glass, its affinity and its colour have been observed and examined by many researchers. In the glass industry, instead of feldspars which are used as a source of alumina it is recommended to utilize the blast furnace slag gradually. Thus, this kind of utilization will cause huge benefits to our country economically and environmentally.

In this study the possibility of the utilization of slags obtained from the Iron-Steel factories of the İskenderun, Ereğli and Karabük as a source of alumina during glass production have been investigated. About one ton of representative sample was obtained from the stockpile of each factories. Chemical analyses, microscopic examination with electron microscope, particle size distribution and technological tests were carried out on these samples. Some treatment techniques and enrichment methods such as crushing, grinding, classification and



magnetic separation have been applied on these samples. At the end of these experiments, a concentrate which has suitable particle size (+0.5 mm, 1%max.: -0.074 mm, 25%max.) and chemical composition (7.76% MgO, 37.16% SiO<sub>2</sub>, 35.38% CaO, 1.16%MnO, 0.76%S, 0.74%K<sub>2</sub>O, 0.58%TiO<sub>2</sub>, 11.23%Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 0.001%Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 0.04%Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> max.), has been obtained. These concentrates and feldspar are separately examined to produce glasses are compared to each other in terms of economic and quality point of view.

#### DEĞİNİLEN BELGELER

- Abrahams M.A., 1991**, Calumit Slag:Benefits from Another Recycled Material. Glass Technology, Dec.
- Apak C., 1977**, Yüksek Fırın Cürufunun Cam Harmanında Kullanımı. 5. Bilimsel Kongresi Mühendis Araştırma Grubu Tebliğleri, İzmir.
- Baş E., 1982**, "Yüksek Fırın Cüruf Granülasyonu" Kalite Metalurji Baş Müdürlüğü Araştırma Raporu, Erdemir Demir ve Çelik A.Ş.
- Eskibalıcı M.F., 1999**, "Yüksek Fırın Cüruflarının Cam Sanayiinde Kullanılma Olanaklarının Araştırılması" İ.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- Eskibalıcı M.F., İpekoğlu B., 2000**, "The Benefits of Blast Furnace Slag for Glass Production XXI International Mineral Processing Congress, July 23-27, Roma, Italy.
- Kocabağ D., 1997**, "Cam Hammaddeleri: Bir İşlevsel Değerlendirme" II. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, Ekim, İzmir.
- Köse M., Türkeli T.K., 1986**, "Cam Üretiminde Kullanılan Kuvars Kumlarında Aranılan Özellikler, Zenginleştirme Yöntemleri ve Yozgat-Sarıkaya Kuvarsitlerinin Bu Açısından İncelenmesi" Madencilik Dergisi, Cilt 15, sayı 4.
- Philco R.E., 1989**, "Fly Ash, Silica Fume, Slag and Natural Pozzolans in Concrete" Third International Conference, Trondheim, Norway.
- Roatta A., 1997**, "Particle Separation Enhances Slag Quality" Glass Technology, June. Roatta A., 1994, "New Special Slag for Sheet" Glass Technology, March.
- Simpson W., 1976**, "Calumite Slag as a Glassmaking Raw Material for The Increase of Furnace Productivity" Glass Technology, vol. 17, No1.
- Wong M.C., Liaw J.H., 1989**, "Blast Furnace Slag as a Raw Material for Glass Melting" Glass Technology, vol.30, No 1.

**Makalenin geliş tarihi:** 14.04.2002

**Makalenin yayına kabul tarihi:** 29.04.2002

*Received* April 14, 2002

*Accepted* April 29, 2002