

Züccaciye Camı Üretim Verimliliğinde Doğru Refrakter Malzeme Seçiminin Etkileri

Beyza KURŞUNLU¹, İskender IŞIK², Halit AKTAŞ³, Recep KURTULUŞ⁴

¹ Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Anabilim Dalı, Kütahya.

² Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Bilimi Mühendisliği Bölümü, Kütahya.

³ Gürok Turizm ve Madencilik A.Ş., Kütahya

⁴ Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Bölümü, Afyon.

e-posta: beyza.kursunlu@lav.com.tr

Geliş Tarihi: 02.09.2019; Kabul Tarihi: 09.09.2019

Öz

Cam üretim sanayisinin gelişmesiyle birlikte daha kaliteli ve maliyet avantajlı cam üretmek en önemli hususlar olmuştur. Sektörün gelişmesiyle birlikte cam ergitme fırınlarında kullanılan refrakter malzemelerin seçimi ve refrakter sanayisindeki gelişmeleri takip etmek de kaçınılmaz bir gerekliliktir. Bilindiği üzere, bir cam üretim sürecinde ergitme havuzu, çalışma havuzu ve forehearth denilen bölgeler cam ergitme fırınında temeli oluşturur. Bu araştırmanın amacı; cam üretiminde çeşitli hataların oluşmasına ve verim kaybına neden olan çalışma havuzu ve forehearthsarda kullanılan Alümina Zirkon Silikat (ER1618) refrakter yerine, daha az cam hatasına neden olacağı ve verimlilik artışında katkı sağlayacağı düşünülen Alfa Beta Yüksek Alümina (JARGAL®) refrakter kullanımı araştırılmıştır. Amaçlanan çalışmada öncelikle alümina zirkon silikat ve alfa beta yüksek alümina refrakter tuğlaların ve iki ayrı züccaciye fırınına ait cam numunelerinin karakterizasyonları XRF ve XRD ile belirlenmiştir. Daha sonra bağlı yoğunluk, sert kırma mukavemeti ve yük altında refrakterlik kıyaslama testleri refrakter malzemelerin fiziksel özelliklerinin değerlendirilebilmeleri için yapılmıştır. Temel refrakter kıyasları yapılması sonrasında refrakter tuğla ile cam arasındaki ilişkiyi ortaya koyabilmek adına eksüdasyon testi, taş dökme indeksi ve blistering testleri uygulanmıştır. Bu aşamalarda SEM mikro yapı analizleri ile ilgili ara yüzlerdeki durumlar görüntülü olarak karakterize edilmiştir. Yapılan araştırmalar sonucunda, züccaciye camı üretiminde AZS refrakter yerine, alfa beta yüksek alümina refrakter kullanımı ürünlerdeki refrakter kaynaklı hataları minimize ederek verimliliği olumlu etkileyecek ve uzun vadede daha ekonomik olacaktır.

Anahtar kelimeler

Alfa Beta Yüksek Alümina, Alümina Zirkon Silikat, Cam Hataları, Refrakter, Züccaciye Camı

Effects of Right Refractory Material Selection on Tableware Glass Production Efficiency

Abstract

With the development of glass industry, the production of higher quality glass with reduced cost has become vital. That is why, the selection of the refractory material used in the glass melting furnaces and keeping up with the advances in the refractory industry is of utmost importance. Clearly; melting tank, working tank and the so called forehearths are the building blocks of the glass production process. The main purpose of this study is to investigate the use of Alpha Beta High Alumina (JARGAL®) refractory which is expected to give rise to less glass defects and help to increase the overall efficiency of glass production instead of Alumina Zirconia Silica (ER1618) refractory which causes various glass defects and decreases the overall efficiency of the glass production when used in the working tanks and the forehearths. In the predicted study; first of all, the characterizations of the Alumina Zirconia Silica and Alpha Beta High Alumina refractory bricks and the samples of glass coming from two different glass furnaces have been identified with XRF and XRD. After that; relative density, crushing strength and refractoriness-under-load tests have been performed to evaluate the physical properties of the refractory materials. After making basic refractory comparisons, in order to show the relationship

Keywords

Alpha Beta High Alumina, Alumina Zirconia Silica, Glass Defects, Refractory, Tableware Glass

between the refractory material and the glass; exudation, stoning and blistering tests have been conducted. At these steps, the state of the internal surfaces of the refractory bricks have been characterized by carrying out micro structure analyses with SEM. As a result of the conducted investigations, it is concluded that in the production of tableware glass, the use of Alpha Beta High Alumina refractory instead of AZS refractory will affect the overall glass production efficiency positively by minimizing the glass defects and it will become economically more advantageous in the long run.

1. Giriş

Cam kompozisyonun hazırlanmasında cam türü züccaciye ürünlerin üretiminde kullanılan soda-kireç-silis camına göre harman bölümünde depolanan hammaddelerin reçete değerlerine uygun olarak otomasyon sistemiyle tartımları yapılmakta ve sonrasında sulu ve kuru karıştırma işlemi ile karışımın homojenleşmesi sağlanmaktadır. Homojen şekilde karışımı sağlanan hammaddeler cam ergitme fırınına pnömatik ve konveyör sistemlerle gönderilir. Cam kompozisyonun ergitilmesinde rejeneratif tipte, iki gözlü arkadan ateşlemeli yakıt olarak doğalgaz yakılan fırın kullanılmıştır. Bu ergitme fırınında sürekli ergitme şartları altında ergitilen cam kompozisyonun sürekli eriyik halde kalması sağlanır (Varsheneya,2006). Fırın sıcaklıkları termocouplelar ve otomasyon sistemleriyle sürekli kontrol altında tutulur. Akabinde afinasyon ve şartlandırma aşamalarından geçen eriyik cam, afinasyonu tamamlaması ve camın şartlanması için önce çalışma havuzuna aktarılır. Ardından ürün tipine ve şekillendirme şartlarına göre forehearth denilen kanallardan şekillendirilme için cam imalat makinelerine aktarılır.

Cam üretiminde üretim hataları kaynaklı kayıpların önüne geçmek hem maliyet açısından hem de kaynakların verimli kullanımı bakımından önemli bir konudur. Bu sebepten dolayı, üretimde yapılacak her türlü iyileştirme çalışmaları firmaların öncelikleri arasında olmalıdır. Cam kaynaklı hatalar verimsizlik üzerinde kritik öneme sahiptir (Güvel, 2011). Refrakter ile olan teması sonucunda karşımıza çıkan hatalar da cam kaynaklı hatalar içerisinde yaklaşık %50 oranında etkiye sahiptir. Hal böyle olunca, doğru refrakter malzeme seçimi oldukça önem arz etmektedir.

Günümüzde cam sektöründe artan rekabet ile birlikte cam kalitesini ve üretimi arttırmak piyasa için kaçınılmaz bir zorunluluk haline gelmiştir. Cam ürünlerin kalitelerinin artırılması ise hammadde seçiminden ergitme sürecine ve imalata uzanan her basamağı kapsamaktadır. Camda kalitenin artırılması ise tüm bu üretim süreçlerinde oluşan cam hatalarının azaltılması ya da ortadan kaldırılması ile mümkün olmaktadır. Cam üretim sürecinde en yaygın olarak karşılaşılan hatalardan olan habbeler ergitme-afinasyon sürecinden kaynaklanabileceği gibi, reboil, devitrifikasyon ve refrakter kaynaklı olarak da karşılaşılabilmektedir. Bunun yanında cam fırınlarında katı kapanımlar da sıkça karşılaşılan cam hatalarındandır. Çözünmeyen ve rekristalize olan bir veya birden fazla faz kaynaklı olabileceği gibi camın temas ettiği fırın refrakterlerinden, üst yapıdan veya kemerden kaynaklı olabilir (Oran, 2015).

Kapanımlar kaynaklarına göre genel olarak üç grup içinde toplanabilirler:

- Refrakter kökenli kapanımlar
- Harman kökenli kapanımlar
- Devitrifikasyon kökenli kapanımlar

Camda taş hatası, fırın refrakterleri, devitrifikasyon veya bazı kirliliklerden kaynaklanabilir. Harman tane boyutunun iri olması, harmanın nemli olması ve tartım hataları kaynaklı olarak bu cam hataları meydana gelebilmektedir. Ayrıca, harman şeklinin yetersiz oluşu, fırın sıcaklığının yeterli olmaması da taş hatalarına sebebiyet verebilir. Refrakter kökenli kapanımlar fırın refrakterlerinin korozyona uğraması veya aşınması sonucu ortaya çıkar. Refrakter kökenli kapanımlar cama temas eden refrakter malzemelerden kaynaklanabileceği gibi cam seviyesinin üzerindeki üst yapıdan da kaynaklanabilir. Refrakter kaynaklı kapanımların

giderilmesi için fırın sıcaklığı düşürülebilir fakat hata eriyiğe geçmiş ise fırın sıcaklığının kısmen arttırılması hataların giderilmesi için yerinde olacaktır. Refrakter kaynaklı hatalar, üründe kaynaklandığı refrakterin direkt özelliklerini yansıtabileceği gibi eriyip düğme veya damar hatası şeklinde de karşımıza çıkabilir (MEB, 2013). Bu çalışmanın amacı; bir firmanın züccaciye cam üretiminde kullanılan fırındaki AZS refrakterlerinden kaynaklanan cam hatalarının (taş ve fiska) neden olduğu üretim kayıplarının, fırınlarda JARGAL tipi refrakter kullanılarak minimize edilmesidir.

Hâlihazırda kullanılan Alümina Zirkon Silikat (AZS-ER 1681) tip refrakter yaklaşık %21 oranda camsı faza sahip olduğundan yüksek sıcaklık altında bu fazın cam eriyiğe karışması cam kaynaklı sorunlara sebebiyet verir. Önerilen Alfa Beta Yüksek Alümina (Jargal) tip refrakter malzeme %2 oranda camsı faza sahip olup verimsizliğe minimal etkide bulunur (C.R.E.E., 2018). Taş, fiska, habbe adı verilen tüm bu cam kaynaklı hatalar toplam verim üzerinde ortalama %0,5 etkide bulunduğu düşünülürse ve ayrıca sürekli yığınsal üretim süreçleri göz önüne alınırsa günlük kayıplar oldukça yüksektir. Alfa beta yüksek alüminalı refrakter (Jargal) kullanımı sayesinde minimal düzeye çekilecek olan cam kaynaklı hatalar maliyet açısından önemli katkı sağlayacaktır.

2. Materyal ve Metot

Öncelikle, AZS ve Alfa Beta Yüksek Alümina tip refrakter malzemelerden numuneler tedarik edilmiştir. Sonrasında, temsili cam numuneleri firma bünyesinden alınmıştır. Alınan cam numunelere XRF analizi uygulanarak kimyasal yapı, temin edilen refrakter numunelerin XRD analizi ile mineralojik içerikleri saptanmıştır. Refrakter malzemelerin fiziksel özellikleri açısından değerlendirilebilmeleri için bağıl yoğunluk, sert kırma mukavemeti ve yük altında refrakterlik özellikleri karşılaştırılmıştır. Temel refrakterlik özelliklerinin kıyaslanması sonrasında cam ile olan ilişkiyi ortaya koyabilmek adına eksüdasyon testi, taş dökme indeksi ve blistering testleri uygulanmıştır. Bu aşamalarda SEM mikro yapı görüntülemeleri alınarak ilgili ara yüzlerdeki durumlar tespit edilmiştir. Tüm bu

analitik değerlendirmeler neticesinde hedeflenen çıktılar elde edilip edilemeyeceğine bakılıp ve nihai tablo ortaya konulmuştur.

Çalışma kapsamında, refrakter tedarikçi firması olarak Saint Gobain ile dış hizmet hususları paylaşılmıştır. Firmanın Fransa'da yerleşik Centre de Recherches et Detudes Europeen (C.R.E.E.) Laboratuvarları bünyesinde bulunan ekipman/teçhizat kullanımları sağlanmıştır.

Çalışmada kullanılan cam türü züccaciye tipi soda-kireç-kum cam türüdür. Çalışmada A ve C fırınlarında üretilen cam kompozisyonlarının alümina zirkon silikat ve alfa beta yüksek alümina tipte 2 farklı cam temas refrakteri ile etkileşimleri incelenmiştir. Cam bileşimi kimyasal analizi Glass Technolgy Services akredite analiz kurumu bünyesinde İngiltere'de yaptırılmıştır. Kompozisyon ve katkıların oksit içerikleri ve oranları Bruker S4 Pioneer XRF cihazı kullanılarak belirlenmiştir.

3. Bulgular

İki farklı züccaciye fırınına ait cam numunesinin kimyasal analizi Çizelge 3.1'de verilmiştir.

Çizelge 3.1. A ve C fırını cam numunelerinin ağırlıkça % oranları

Ağırlıkça % Oranları								
	Al ₂ O ₃	SiO ₂	Na ₂ O	TiO ₂	MgO	CaO	Fe ₂ O ₃	K ₂ O
A	1,61	70,70	13,10	0,05	4,15	8,65	0,06	0,12
C	1,56	71,00	13,90	0,03	3,99	8,15	0,09	0,03

Çalışma kapsamında Alümina zirkon silikat olan ER 1681 (AZS) ve Alfa beta yüksek alümina olan JARGAL ticari isimli refrakter tuğlalarının iki farklı züccaciye fırınından temin edilen soda-kireç-silis camı ile olan reaksiyonları incelenmiştir. Farklı iki fırından temin edilen cam örneklerinin birbirine kompozisyon açısından yakın olduğu sadece minor farklılıklar barındırdığı XRF analizlerinde görülmüştür. Yapılan AZS (ER 1681) ve Alfa Beta Yüksek Alümina (Jargal) refrakter numunelerinin XRF metodu ile yapılan kimyasal analiz sonuçları Çizelge 3.2'de verilmiştir. Refrakter yapısındaki SiO₂ oranı yapısal iskeletin oluşmasına, Al₂O₃ oranı yapısal mukavemete ve esnekliğe olanak sağlar. ZrO₂ oranı ise aşınma direncinin artmasını sağlar. Mevcutta kullanılan AZS refrakter her üç özelliğin (Al₂O₃, ZrO₂, SiO₂) optimize

edilmesiyle üretilir. Önerilen refrakter ise tamamen farklı bir kimyasal içeriğe sahiptir.

Çizelge 3.2. Alfa beta yüksek alümina ve AZS refrakter numunelerinin XRF metodu ile yapılan kimyasal analiz sonuçları.

	SiO ₂	Na ₂ O	Al ₂ O ₃	ZrO ₂	CaO+TiO ₂ +Fe ₂ O ₃
Alfa Beta Yüksek Alümina (önerilen)	0,50	4,00	95,00	0,00	0,50
Alümina Zirkon Silikat (mevcut)	15,00	1,30	50,90	32,50	0,30

Yapılan kristallografik analiz sonucunda önerilen alfa beta yüksek alümina refrakterin camsı faz oranı %2 iken AZS refrakterin camsı faz oranı %21 bulunmuştur. Camsı faz ne kadar çok olursa yüksek sıcaklıklarda çalışma koşullarında refrakterin aşınma durumu da buna bağlı olarak artar ve bu istenmeyen bir durumdur. Alfa beta yüksek alümina refrakter tipinde beta alümina fazı ile zirkon eksikliği giderilmekle beraber, camsı fazın indirgenmesi avantaj sağlar. Çizelge 3.3'de refrakterlerin kantitatif faz analizi sonuçları Çizelge 3.4'de ise refrakterlerin bazı fiziksel özellikleri verilmiştir.

Çizelge 3.3. Alfa beta yüksek alümina ve AZS refrakter numunelerinin kantitatif faz analizi sonuçları.

	Alfa Alümina (korundum)	Camsı Faz	Monoklinik Zirkon	Beta Alümina
Alfa Beta Yüksek Alümina (önerilen)	45,00	2,00	0,00	53,00
Alümina Zirkon Silikat (mevcut)	47,00	21,00	32,00	0,00

Çizelge 3.4. Bazı fiziksel özellikler

Bazı Fiziksel Özellikler			
	Bağlı Yoğunluk (g/cm ³)	Sert Kirma Mukavemeti (Mpa)	Yük Altında Refrakterlik 2x10 ⁵ Pa (°C)
Alfa Beta Yüksek Alümina (önerilen)	3,54	>200	>1750
Alümina Zirkon Silikat (mevcut)	3,84	>300	1700

3.1. Gözenekten Dışarı Sızıntı Testi

1250°C ve 30 saat boyunca her iki refrakter numunesinin cam eriyiği içerisinde bekletilmesi sonucunda elde edilen sonuçlar Çizelge 3.5'de AZS ve Alfa beta yüksek alümina refrakterin gözenekten dışarı sızıntı testi sonuçları verilmiştir. Gözenekten dışarı sızıntı skalasında 1 düşük, 10 yüksek kabul edilmektedir.

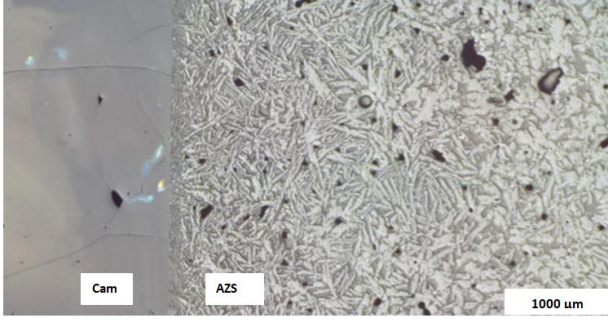
Çizelge 3.5. Gözenekten dışarı sızıntı testi (Exudation Test) sonuçları

Gözenekten Dışarı Sızıntı	
	Test Sonuçları
Alfa Beta Yüksek Alümina (önerilen)	0,05
Alümina Zirkon Silikat (mevcut)	3,00

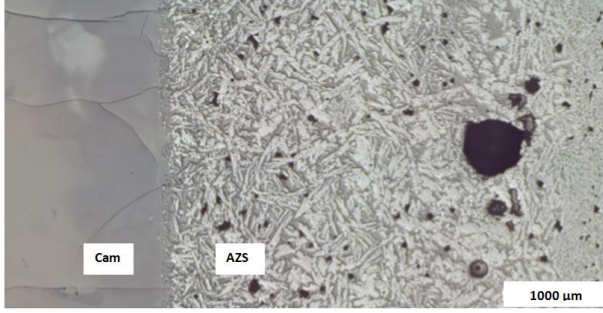
3.2. Taş Dökme İndeksi (Stoning Test)

Taş dökme testi, cam ile refrakter arasındaki korozyon ara yüzünü ve taş salınımını gözlemlemek için uygulanan statik korozyon testidir. 1300°C sıcaklıkta 48 saat süreyle A ve C fırını numuneleri ile alfa beta yüksek alümina (Jargal) ve AZS (ER1681) refrakterlerine uygulanmıştır. Camsı fazın salınması sırasında sızıntı ile kaybolan refrakter miktarını belirten bu testte sonuçlara baktığımızda alfa beta yüksek alümina refrakterin cam ile teması sonucu salınan taşın az olduğu görülmektedir.

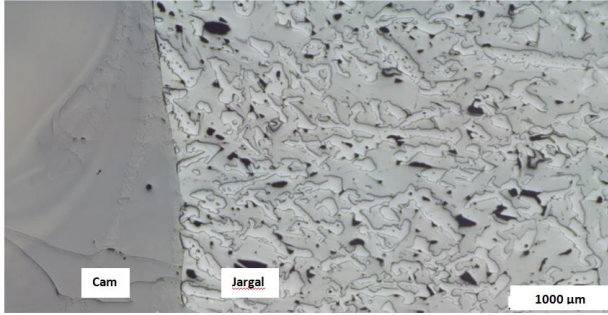
Şekil 3.1. ve Şekil 3.2'de görüldüğü gibi AZS refrakter parçalarının A ve C fırını cam numunesinde cam bünyesine girdiği ve oluşan ara yüzeyde primer zirkonya parçalarının olduğu görülmektedir. Refrakter bünyesinde bulunan ZrO₂'nin cama geçmesi durumunda, çok yüksek sıcaklıkta ergiyeceğinden dolayı cam bünyesinden atılmayarak cam hatası olarak karşımıza çıkıp ürün kaybına sebebiyet vereceği aşikârdır. Şekil 3.3. ve Şekil 3.4'de ise cam ile refrakter ara yüzeyinde zirkonya parçalarına rastlanmamıştır.



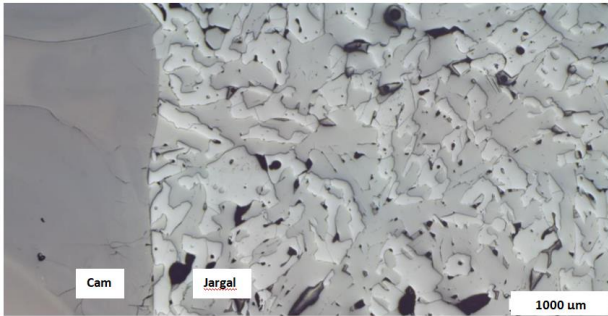
Şekil 3.1. A fırını cam numunesi ile AZS refrakterin oluşturduğu ara yüzey görünümü



Şekil 3.2. C fırını cam numunesi ile AZS refrakterin oluşturduğu ara yüzey görünümü



Şekil 3.3. A fırını cam numunesi ile Alfa Beta Yüksek Alümina refrakterin oluşturduğu ara yüzey görünümü



Şekil 3.4. C fırını cam numunesi ile Alfa Beta Yüksek Alümina refrakterin oluşturduğu ara yüzey görünümü

3.3. Dinamik Korozyon Testi

Bu test, 4 adet refrakter numunesinin sabit bir sıcaklıkta ve sabit bir dönme hızıyla cam dolu potaya daldırılmasıyla uygulanır. A fırını cam numunesiyle 1300°C'de 100 saat süre ile uygulanan bu testin sonuçları Şekil 3.5'de verilmiştir. C fırını numunesiyle

yapılan aynı testin sonuçları ise Şekil 3.6'de verilmiştir. Bu testten sonra numunelerin korozyona uğramış hacmi ölçülerek aşınma direncini belirlemek için bir indeks verilir. Referans numunesine 100 olarak verilen değere göre diğer numunelerle kıyaslaması yapılır. Yapılan dinamik korozyon testi sonucunda her iki cam numunesiyle alfa beta yüksek alümina (Jargal) ve AZS (ER 1681) refrakter numunesinin benzer davranışlar ortaya koyduğu görülmüştür.

	ER 1681	JARGAL M	ER 1681	JARGAL M
Korozyona Uğrayan Hacim (cm ³)	1.29	1.27	1.26	1.27
İndeks	100	102	103	102

Şekil 3.5. A fırını cam numunesiyle yapılan dinamik korozyon testi sonuçları, benzer sonuçlar göstermektedir.

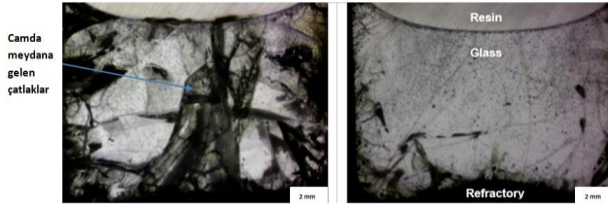
	ER 1681	JARGAL M	ER 1681	JARGAL M
Korozyona Uğrayan Hacim (cm ³)	1.34	1.40	1.36	1.42
İndeks	100	96	99	94

Şekil 3.6. C fırını cam numunesiyle yapılan dinamik korozyon testi sonuçları, benzer sonuçlar göstermektedir.

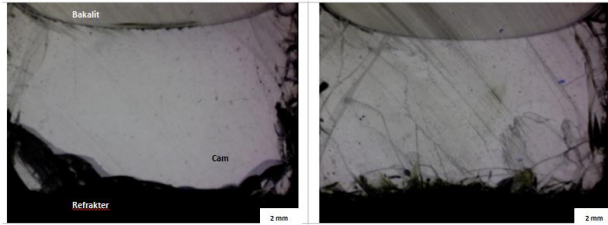
3.4. Pota Kabarcıklanma Testi (Crucible Blistering Test)

Bu test 1100°C ve 1300°C'de 30 saat süreyle gerçekleştirilmiştir. A ve C fırınlarının camlarıyla gerçekleştirilen testlerde alfa beta yüksek alümina (Jargal) refrakter numunesinin 1100°C'de daha iyi

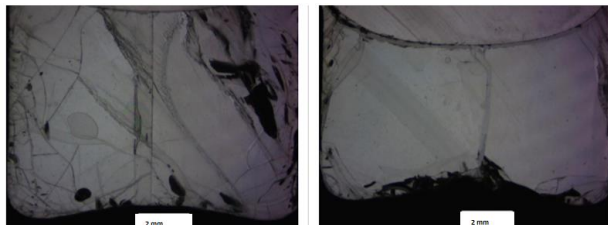
bir kabarcıklanma sergilediği görülmüştür. AZS (ER 1681) refrakter numunesinin ise 1100°C sıcaklıkta monoklinik zirkonya seviyesinde yüksek bir kabarcıklanma gösterdiği görülmüştür. Şekil 3.7'de 1100°C sıcaklıkta AZS (ER 1681) refrakter numunesinin A ve C fırını cam numuneleriyle sergilediği kabarcıklanma testi sonuçları verilmiştir. Şekil 3.8'de 1100°C sıcaklıkta alfa beta yüksek alümina (Jargal) refrakter numunesinin A ve C fırını cam numuneleriyle sergilediği kabarcıklanma testi sonuçları verilmiştir. 1300°C'de ise her iki refrakter numunesinin benzer davranışlar sergilediği gözlemlenmiştir. Şekil 3.9'de AZS refrakter numunesinin 1300°C'deki kabarcıklanma testi sonuçları verilmiştir. Şekil 3.10'da ise Jargal refrakter numunesinin 1300°C'deki kabarcıklanma testi sonuçları verilmiştir.



Şekil 3.7. 1100°C'deki AZS refrakter numunesinin kabarcıklanma testi sonuçları.

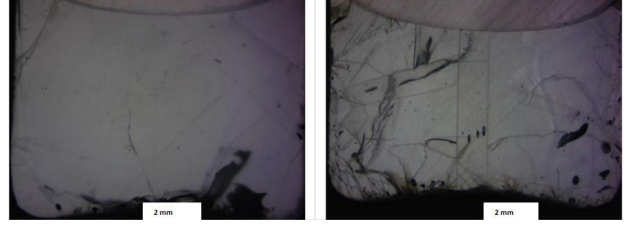


Şekil 3.8. 1100°C'deki JARGAL refrakter numunesinin kabarcıklanma testi sonuçları.



150 ton/gün kapasiteli bir züccaciye fırınının verim kaybına neden olan cam hataları incelendiğinde; ilk yıl %0,5 olan cam hatası oranı her yıl fırının yıpranma oranına bağlı olarak %1 artar. Yılda 54.750 ton cam üreten züccaciye fırını ilk yıl 273,75 ton

Şekil 3.9. 1300°C'deki AZS refrakter numunesinin kabarcıklanma testi sonuçları.



Şekil 3.10. 1300°C'deki JARGAL refrakter numunesinin kabarcıklanma testi sonuçları.

3.5. Ekonomik Analiz

Firma 150 ton/gün kapasiteli ve 7 adet forehearthı olan arkadan ateşlemeli yandan beslemeli bir züccaciye fırını kullanmaktadır. Fırında çalışma havuzu AZS taban ve yan blokları (cama temas eden tuğlalar) yaklaşık 40 tondur. 7 forehearth da kullanılan kanal taşları yaklaşık 32 tondur. 2019 yılında AZS refrakter üreticisi firmalardan alınan bütçe teklif fiyatı ortalama AZS tuğlalar için yaklaşık 8000 euro/tondur. 2019 yılında alfa beta yüksek alümina (Jargal) üreticisi firmalardan alınan bütçe teklif fiyatı ise ortalama 11500 euro/tondur.

AZS'nin (ER 1681) yığın yoğunluğu 3,72 g/cm³ iken alfa beta yüksek alümina (Jargal) refrakterin yığın yoğunluğu 3,14 g/cm³ olarak verilmiştir. Bu sebeple fırın için çalışma havuzu ve forehearth cam temas eden tuğlalarının AZS (ER 1681) seçilmesi durumunda 72 ton tuğla satın alınması gerekli iken, alfa beta yüksek alümina (Jargal) seçilmesi durumunda satın alınması gereken miktar 61,4 tondur. Bu 10,6 tonluk fark yurt dışından satın alınan tuğlaların transferinde yaklaşık 3000 Euro kadar maliyet avantajı sağlayacaktır. Alfa beta yüksek alümina tuğla seçilmesi durumunda AZS refraktere göre ilk yatırım maliyeti 126 920 Euro daha fazla olacaktır.

camı, cam hatalarından dolayı kaybederken, bu kayıplar her yıl %1 oranında artarak devam eder. Bir züccaciye fırının 7 yıl olan kampanya ömrü sonunda 13,2 günlük bir üretim kaybına neden olur. Çizelge 3.6'da cam hataları nedeniyle kaybedilen cam tonajı

ve fırın kampanya ömrü boyunca gerçekleşen değişimleri verilmiştir.

Çizelge 3.6. Cam hataları nedeniyle kaybedilen cam tonajının yıllara göre değişimi.

Fırın Kampanya Süresi	Yıllık Üretilen Cam (ton)	% Refrakter Kaynaklı Cam Hatası	Ortalama Kayıp Cam Tonajı
1.Yıl	54 750	0,00500	274
2. yıl	54 750	0,00505	276
3. yıl	54 750	0,00510	279
4. yıl	54 750	0,00515	282
5. yıl	54 750	0,00520	285
6. yıl	54 750	0,00526	288
7. yıl	54 750	0,00531	291
		Toplam	1975

Çizelge 3.6' da fırın kampanya süresince detayları verilen cam tonajı kaybının toplam 1975 ton olduğu görülmektedir. Bu kayıp tonajın ciro sal tutar kaybı olarak karşılığı Çizelge 3.7'de verilmiştir. Fırın kampanya ömrü boyunca 1 911 800 Euro ciro kaybı refrakter kaynaklı cam hataları yüzünden meydana gelmektedir.

Çizelge 3.7. Fırın kampanya ömrü boyunca cam hataları yüzünden gerçekleşen ciro kaybı.

Ton Cam Satış Fiyatı (Euro)	Kayıp Cam Tonajı	Ciro Kaybı Tutarı (Euro)
968	1 975	1 911 800

Çizelge 3.6'da kıyaslanan alfa beta yüksek alumina (Jargal) ve AZS (ER 1681) refrakterlerin nakliye ve refrakter malzeme tutarına bakıldığında alfa beta yüksek alumina (Jargal) refrakterin ilk yatırım maliyeti 126.920 Euro daha fazladır. Çizelge 3.7'de verilen 1975 ton cam kaybının ciro sal bedeli Çizelge 3.7'de 1 911 800 Euro olarak verilmiştir. Sonuç olarak, 7 yıllık fırın kampanya ömründe alfa beta yüksek alumina (Jargal) kullanılmaya başlanmasıyla birlikte 1 787 880 Euro kazanç sağlayacağı görülmektedir.

4. Tartışma ve Sonuç

Taş dökme testi (Stoning test) sonucunda, A ve C fırınının camlarıyla temasta bulunan alfa beta yüksek alumina (Jargal) ve AZS (ER1681) refrakter numunelerinde alfa beta yüksek alumina (Jargal) refrakter ile cam yüzeyi arasında oluşan ara yüzeyde refrakter parçalarının olmadığı, AZS (ER1681) refrakter numunesinin ise 1300°C sıcaklıkta yüksek oranda primer zirkonya kristalleriyle ara yüzey oluşturduğu görülmüştür. Bu sonuca istinaden alfa beta yüksek alumina (Jargal) refrakterin kullanılması sonucunda daha az cam hatası ile karşılaşılacağı anlaşılmaktadır.

Dinamik korozyon testleri sonucunda, 1300°C sıcaklıkta A ve C fırını cam numuneleriyle yapılan test sırasında alfa beta yüksek alumina (Jargal) ve AZS (ER 1681) refrakterleri arasında herhangi bir farklılık görülmemiştir.

Blistering testlerinden pota kabarcıklanma testinde ise, alfa beta yüksek alumina (Jargal) refrakter numunesinin 30 saat süreyle 1100°C sıcaklıkta AZS (ER 1681) numunesinden daha iyi sonuçlar gösterdiğini görüyoruz. Bu sonuçlara istinaden refrakter yüzeyinden cam bünyesine geçen zirkon miktarı azalacak, dolayısı ile üretim kaybı daha az olacaktır. 1300°C'de ise monoklinik zirkonya dönüşümü tamamlandığı için iki refrakter numunesinde bir fark görülmemiştir.

Her iki refrakter numunesinin fiziksel ve kimyasal özellikleri incelendiğinde alfa beta yüksek alumina (Jargal) refrakterinin daha az camsı faza sahip olması yüksek sıcaklıklardaki çalışma koşullarında aşınmasının daha az olacağını ve cam hatalarına daha az sebebiyet vereceğinin göstergesidir.

Daha yüksek yük altında refrakterlik katsayısına sahip olması alfa beta yüksek alumina refrakter numunesinin AZS numunesine göre yüksek sıcaklık çalışma koşulları altında daha dayanımlı olacağını göstermektedir.

Alfa beta yüksek alumina (Jargal) refrakter numunesinin, AZS (ER 1681) refrakter numunesine göre sert kırma mukavemetinin daha düşük olması nedeniyle kırılmalara karşı taşıma ve montaj sırasında alfa beta yüksek alumina (Jargal) numunelerine daha dikkat etmek gerekmektedir.

Mevcutta kullanılan AZS (ER1681) refrakterinin kullanımında meydana gelen, çözünmeyen ve çökeltme yapan zirkon tanecikleri çalışma havuzu ve forehearth kaynaklı cam hatalarının temel sebebidir. AZS refrakterlerinden gelen alümina ve zirkon içeriklerinin aynı anda birlikte bulunması yüksek viskozite ve yüksek yüzey gerilimleri oluşturduğundan refrakter kaynaklı cam hatalarının oluşma ihtimalini arttırmaktadır. Zirkon taneciklerinin alümina taneciklerine göre dibe batmaya daha eğilimli olmalarından dolayı cam hatalarının ortaya çıkma olasılığı daha yüksektir.

Önerilen alfa beta yüksek alümina refrakter kullanımıyla cama nüfuz eden refrakter sorunu çok fazla yaşanmayacağından, yaşanması halinde de cam eriyiği içerisinde çözünme eğiliminde olduğundan cam hatalarına minimum seviyede sebebiyet vereceği öngörülmektedir.

5. Kaynaklar

- C.R.E.E., (2018). Centre De Recherches Et Detudes Europeen, France
- Güvel, B. (2011). Refrakter Kaynaklı Cam Hatalarının Fırın İçerisindeki Oluşum Yerlerinin Tespiti, Yüksek Lisans MEB, (2013), Seramik ve Cam Teknolojisi, Ankara.
- Oran,M. (2015). Habbe, İleri Cam Teknolojisi, Şişecam Araştırma ve Mühendislik Müdürlüğü, İstanbul
- Varshneya, A. (2006). Fundamentals of Inorganic Glasses, (Second Edition), 17-18