

Refrakter Tuğlaların Teknolojik Özelliklerinin İncelenmesi

Özen KILIÇ*¹, Selin YARBİL¹

¹Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Adana

Geliş tarihi: 03.09.2016

Kabul tarihi: 03.10.2016

Öz

Yapılan çalışmada bazı refrakter hammaddelerin farklı oranlarda karıştırılması ile elde edilen refrakter tuğlaların özellikleri incelenmiştir. İnceleme Remsan A.Ş.'nin kullandığı hammaddeler ve bu hammaddelerden üretilen refrakter tuğlalar üzerinde yoğunlaştırılmıştır. İlk aşamada, refrakter tuğla bünyesine giren bazı hammaddelerin kimyasal ve mineralojik özellikleri belirlenmiştir. Ardından değişik oranlarda refrakter hammaddeler ve katkıları kullanılarak Remsan A.Ş. tarafından üretilen refrakter tuğlaların kimyasal, mineralojik ve teknolojik özellikleri belirlenmiştir.

İncelemeler sonunda, refrakter tuğlaların bileşimlerine giren malzemelere bağlı olarak farklı sıcaklıklarda kullanılabilir olduğu ve dayanımlarının değişiklik gösterdiği anlaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Refrakter tuğla, Kimyasal özellik, Mineralojik özellik, Teknik özellikler

Investigation of Technological Properties of Refractory Bricks

Abstract

In this study, the properties of refractory bricks obtained by mixing some refractory raw materials at different ratios were examined. The examination is focused on the raw materials used by REMSAN Inc. and the produced refractory bricks. Firstly, chemical and mineralogical properties of some raw materials kind of refractory bricks are determined. Then, chemical, mineralogical and technological properties of refractory bricks which using different proportions of refractory raw materials and additives produced by Remsan Inc. were determined.

At the end of the tests, it is shown that the refractory bricks can be used in different temperatures and have different durances according to materials contained.

Keywords: Refractory brick, Chemical property, Mineralogical property, Technological properties

*Sorumlu yazar (Corresponding author): Özen KILIÇ, zenkilic@cu.edu.tr

1. GİRİŞ

Refrakterler, ateşe dayanıklı malzemeler olarak tanımlanır. Refrakter malzemeler 1000°C'nin üzerindeki sıcaklıklarda uzun süre kullanılabilirler [1,2]. Refrakter malzemeler ısıya dayanıklı oldukları için ısı geçirmeyen malzemelerdir. Yakma ortamlarında refrakter malzeme kullanılması durumunda ısı geçişi/kaçışı en az olmakta; yakıt tasarrufu sağlanmakta ve buna bağlı olarak da karbondioksit oluşumu azalmaktadır.

Refrakter killer refrakter sanayiinin ana hammaddesini teşkil eder. Kullanımları günden güne artmakta ve özellik arzeden yeni kullanım alanları da gelişmektedir [3,4]. Çoğu zaman refrakter malzemenin görevi yüksek sıcaklıklı reaksiyon ortamını dıştan perdelemek ya da mufl fırınlarda aksine olarak sıcak ortamdaki ısıyı fırın içerisine taşımak olabilir. Yapısal düzenlerinden dolayı camların ısı iletme katsayıları özgül ısıya göre değişir ve ısı iletme kabiliyeti sıcaklık yükseldikçe artar. Bu karakteristik cam fazlı ateşe dayanıklı malzemelerde az ya da çok etkili olur. Hafif tuğlada olduğu gibi çok büyük gözeneklere sahip malzemelerde gözenek cidarları radyasyon alışverişine iştirak ettiklerinden dolayı ısı iletme kabiliyetlerinde yükselme gösterirler.

Sıcaklık değişimlerine dayanım ısıl şok dayanım olarak tanımlanır. İşletme esnasında ısıtma ve soğutma veya sıcaklık salınımları malzemenin yüzeyi ve merkezi arasında sıcaklık farkları ve bunun sonucu olarak da genişleme gerilmeleri meydana getirir. Bir cisim her tarafından soğutulduğunda yüzey boyunca çekme gerilmeleri ve merkezinde basma gerilmeleri meydana gelir. Oluşan ısıl gerilmeler, malzemenin dayanımını

aşarsa çatlaklar meydana getirerek malzemenin parçalanmasına neden olur. Sıcaklığın yükselmesi ile katı hacimde meydana gelen genişleme ile birlikte gözeneklilik azalır. Gözenekliliğin azalması ile refrakter malzeme yumuşar. Bu özellik malzemenin karakterini tayin eder. Gözenekliliğin azalmasıyla orantılı olarak yoğunlukta artış görülür. Refrakter malzemenin yoğunluğunun erime sırasında değişimi büyük önem taşır. Erime olayı ile birlikte hacim değişir ve malzemenin fiziksel özelliklerinde büyük sapmalar olur.

Refrakter malzemelerin en önemli özelliği yük altında şekil değiştirmeye karşı göstermiş oldukları dirençtir. Refrakter malzemelerin soğukta basınç dayanımına malzemenin yapısı ve özellikle gözenek miktarı etkir. Ateşe dayanıklı tuğlalar oda sıcaklığında pek az şekil değiştirme gösterirler. Yüksek sıcaklıkta farklı tane büyüklüğü ve gözenek dağılımı ile yapıdaki değişik fazların arasındaki gerilmeler nedeniyle çatlaklar oluşabilir. Kural olarak cam fazının miktarının yükselmesiyle dayanım artar. Fırın içerisinde kullanım için bu yeterli olmaktadır. Taşıma esnasında kayıpları önlemek için dayanım en az 3 MPa olmalıdır. Mekanik dayanım ve aşınma direnci yaklaşık 1000°C'ye kadar durumunu muhafaza eder. Daha yüksek sıcaklıklarda cam fazının artmasıyla birlikte aşınma dayanımı azalır [5,6] (Çizelge 1).

Çekme olayının meydana gelmesi genellikle malzemenin üretim sırasında yeterli derecede pişmemesinden veya refrakter özelliğinin olmayışından ileri gelir. Genişleme nedeni ise malzemenin yapıldığı hammaddenin parça büyüklüğünün yetersiz olmasındandır.

Çizelge 1. Bazı refrakter tuğlaların önemli özellikleri [5,6]

Malzeme türü	Soğukta basma dayanımı (MPa)	Elastiklik modülü (GPa)	Poisson sabiti	Yoğunluk
Silika tuğla	15-50	11-25	0,6-0,25	1,8-2,2
Şamot tuğla	13-60	24-30	0,20-0,40	1,8-2,2
Periklas tuğla	30-100	110-140	0,19-0,30	2,8-3,3
SiC tuğla	30-90	-	-	2,3-2,8
Karbon tuğla	20-60	12-13	0,21-0,23	1,3-1,6
Ateş tuğlası	3-10	2-8	0,12-0,17	0,4-1,2
Al ₂ O ₃	196-300	240-400	0,2-0,3	3,3-3,6

Şamot ve magnezit tuğlalar üretimleri sırasında daralma, silika tipi tuğlalar genişleme gösterir. Fazla miktarda hacim değişimi çatlamalara neden olur.

Refrakter malzemeler elektriği iyi iletmezler, yük altında kırılındır, ergime noktaları yüksektir mikro ve makro yapıda heterojendir.

Fırın tipi, üretim teknolojisi ve üretim cinsine göre fırınlarda uygulanan prosesler değişmekte ve her değişen proses, değişik tür ve özelliklerde refrakter kullanmayı gerektirmektedir. Bu nedenle çok değişik refrakterler üretilmektedir.

Yapılan çalışma kapsamında, ilk aşamada refrakter tuğla üretiminde kullanılan malzemelerin kimyasal ve mineralojik özellikleri; ardından hammaddeler ve değişik katkı maddeleri kullanılarak üretilen tuğlaların kimyasal, mineralojik ve teknolojik özellikleri analizler ve deneyler ile belirlenmeye çalışılmıştır.

2. MATERYAL VE METOD

İncelenen refrakter numuneleri REMSAN A.Ş. (İstanbul)'nin kullandığı hammaddelerden ve bu hammaddelerle yapılan refrakter tuğlalardan seçilmiştir. Örnekler üzerine uygulanan deneyler REMSAN A.Ş. ve Çukurova Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü laboratuvarlarında yapılmıştır. Yapılan çalışmalarda, farklı hammaddelerin ve bu hammaddelerden farklı oranlarda karıştırılarak üretilen refrakter tuğlaların özellikleri incelenmiştir [7].

Tuğlalar, farklı bileşimlerdeki refrakter hammaddelerin değişik oranlarda karıştırıcıda ortalama %6 su ilavesi ile yaklaşık 2-3 dakika karıştırılması ile elde edilmiş harçtan üretilmiştir. Yeterince karıştırılan karışım vibrasyonlu masalarda yer alan 75x75x75 mm boyutlarındaki kalıplara dökülmüş etiketlenerek priz süresinin tamamlanması beklenmiştir. Tuğlalar donduktan sonra kalıplarından sökülerek farklı sıcaklıklardaki fırında pişirilmiştir. Fırından çıkan pişmiş tuğlalar soğuduktan sonra tuğla özelliklerini belirleme deneylerine tabi tutulmuştur.

Deneysel çalışmalarda kullanılan refrakter tuğlaların üretiminde kullanılan hammaddelerin isimleri, ticari olması nedeni ile açıkça verilmeyerek kodlarla gösterilmiştir. Refrakter tuğlalar ise Remsan A.Ş.'nin kullandığı isimleri ile belirtilmiştir. Şirket sırrı olması nedeni ile yapılan çalışma kapsamında refrakter tuğlaların üretiminde kullanılan hammadde karışım oranları da belirtilmemektedir. Refrakter tuğla bileşimine giren hammaddelerin neler olduğu yapılan kimyasal ve mineralojik analizler ile belirlenmeye çalışılmış; hammaddeler ve değişik katkı maddeleri kullanılarak üretilen tuğlaların kimyasal, mineralojik, mekanik ve teknolojik özellikleri yapılan analizler ve deneyler ile anlaşılmaya, belirlenmeye çalışılmıştır.

Refrakter örneklerinin kimyasal analizleri XRF (Siemens SRS 300 X-ray Fluoresans Spectrometer) kullanılarak, mineralojik tanımlama kalitatif ve yarı kalitatif analiz yöntemi (XRD) Rigaku Minflex 2 ile ve sonik hız ölçümü (P dalgası) pundit cihazı (CNS Farnel Pundit Plus C) ile yapılmıştır.

3. ARAŞTIRMA BULGULARI

3.1. Toz Haldeki Numuneler

3.1.1. Kimyasal Analiz

Remsan A.Ş.'den getirilen refrakter tuğla yapımında kullanılan toz haldeki bazı hammaddelerin kimyasal analizleri XRF yöntemi ile yapılmış ve analiz sonuçları Çizelge 2'de verilmiştir. Kimyasal analizi yapılan örneklerin kimyasal bileşimleri göz önüne alındığında 1 nolu örneğin kil veya şamot tuğla (ateşe dayanıklı killerden elde edilir. Bu killeri alkali, toprak alkali, muskovit veya mika içerebilir), 2 nolu örneğin silika, 3 ve 4 nolu örneklerin yüksek Al_2O_3 bileşimine sahip olması nedeniyle korundum veya korund tuğla ($1700^{\circ}C$ ve üzeri sıcaklıklarda sıvı gaz miktarı düşerek kristal oluşumu sağlanır; yük altında refrakterlik artar) ve 5 nolu örneğin boksit veya disten (boksit ve disten bileşim olarak %40-55 Al_2O_3 ihtiva eden bir mineraldir) olduğu düşünülmektedir.

Çizelge 2. Toz halindeki örneklerin kimyasal analiz sonuçları (%)

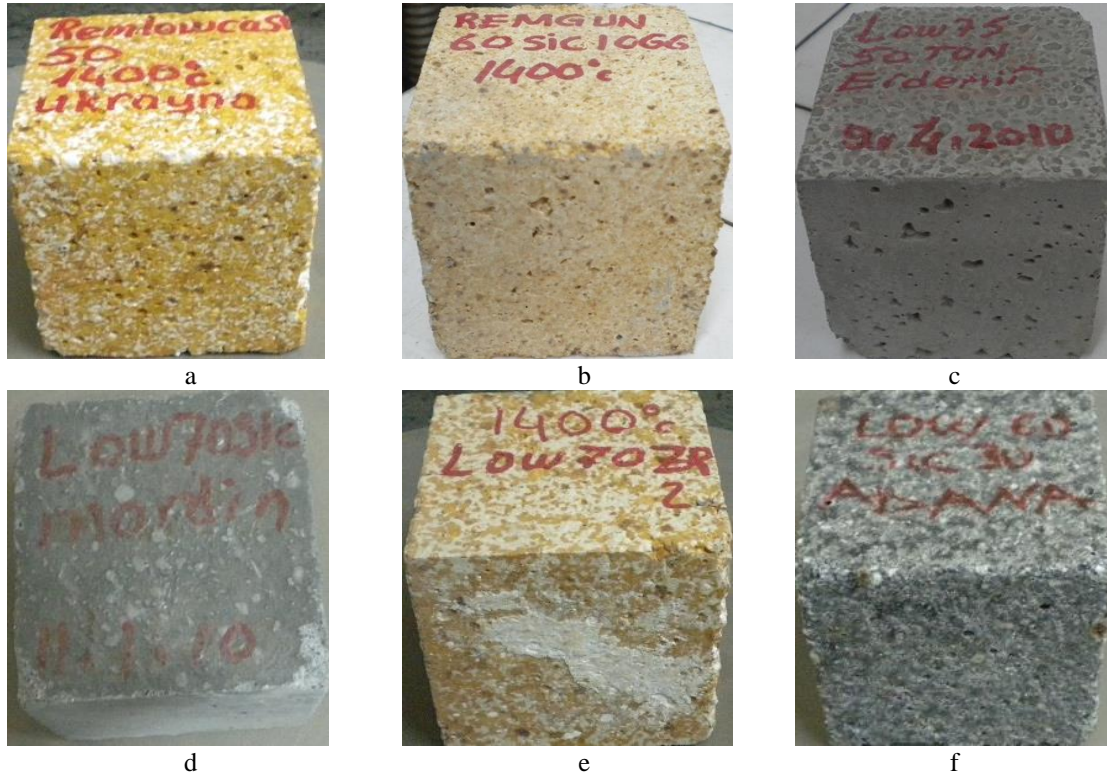
Örnek	Al ₂ O ₃	SiO ₂	CaO	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	K ₂ O
1	34,10	58,54	0,304	1,112	3,070	1,790
2	1,260	96,67	-	0,013	0,1054	-
3	98,76	0,18	0,108	0,013	0,020	-
4	96,47	-	0,066	0,380	0,0335	-
5	43,20	52,53	0,379	-	1,562	-

3.2. Mineralojik Analiz

Mineralojik analiz için XRD cihazı ile çekilen paternler incelendiğinde 1 nolu örneğin kil, 2 nolu örneğin silika, 3 nolu örneğin kil katkı korund, 4 nolu örneğin boksit katkı korund ve 5 nolu örneğin boksit olabileceği düşünülmektedir. İncelenen örnekler ve eklenecek katkıları değişik oranlarda karıştırılarak refrakter tuğla üretimi için uygun harçlar oluşturulmasına olanak sağlanabilecektir.

3.2. Refrakter Tuğla Deney Numuneleri

Refrakter tuğlalar üzerinde lup ile yapılan incelemelerde hamur maddesi içerisinde yer alan tanelerin yarı özşekilli-özşekilsiz ve belirgin porfirik yapılı (ince ve iri tanelerin birlikte bulunması) olduğu gözlenmiştir. Tuğlaların dış yüzeylerinde değişik oranlarda ve değişik geometrilere boşluklar görülmüştür (Şekil 1).



Şekil 1. İncelenen refrakter tuğlaların görüntüsü (a. Remlowcast 50 vibration castable, b. Remgun 60 SiC 10 GG gunning, c. Remlowcast 75 vibration castable, d. Remlowcast 70 SiC vibration castable, e. Remlowcast 70 Zr vibration castable, f. Remlowcast 60 SiC 30 vibration castable)

3.2.1. Kimyasal Analiz

Remsan A.Ş.'den getirilen altı farklı refrakter tuğlanın kimyasal analizleri XRF yöntemi ile yapılmış ve analiz sonuçları Çizelge 3'de verilmiştir. İncelenen refrakter tuğlaların >%50 Al₂O₃ ihtiva etmesi nedeni ile sıcaklık şoklarına

dayanabilecek yüksek mukavemete sahip olacağı Fe₂O₃ oranının düşük olması ile de tuğlaların erozyon ve aşınmaya karşı yüksek mukavemet sergileyeceği düşünülmektedir. Al₂O₃ oranı fazla olan bileşenlerden üretilen tuğlaların dayanım değerinin ise yüksek olacağı düşünülmektedir.

Çizelge 3. Refrakter tuğlaların kimyasal analiz sonuçları (%)

Örnek	Al ₂ O ₃ +TiO ₂	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	ZrO ₂	SİC	Alkali
Remlowcast 50 vibration castable	51	44,8	1,2	1,9	0,1	-	-	0,6
Remgun 60 SİC 10 GG gunning castable	59,6	20,2	0,8	4,9	-	-	14	0,2
Remlowcast 75 vibration castable	75,9	20	1,3	1,7	-	-	-	0,4
Remlowcast 70 SİC vibration	29	9,2	0,2	1,8	0,1	-	59,5	0,1
Remlowcast 70 Zr vibration castable	71	19,9	1,5	1,6	-	5,7	-	0,1
Remlowcast 60 SİC 30 vibration	39,7	26	0,62	1,8	-	-	31	-

3.2.2. Mineralojik Analiz

Refrakter tuğla örneklerinin mineralojik analizleri Ç.Ü. Maden Mühendisliği Bölümü laboratuvarında bulunan XRD cihazı ile gerçekleştirilmiş ve elde edilen XRD paterni sonuçlarının incelenmesinden; Remlowcast 50 vibration castable'ın mullit, anortit, Remgun 60 SİC 10 GG gunning'in anortit, korundum, mullit, andalusit, Remlowcast 75 vibration castable'ın sillimanit, ilvait, Remlowcast 70 SİC vibration castable'ın mullit, Remlowcast 70 Zr vibration castable'ın mullit ve Remlowcast 60 SİC 30 vibration castable'ın andalusit ve mullit minerallerinden oluştuğu belirlenmiştir.

Mineralojik inceleme sonuçlarına göre refrakter tuğlalarda kil grubu minerallerin hakim olduğu ve incelenen örneklerin yüksek sıcaklıklara kolayca dayanan iyi kalite refrakterler grubunda olacak şekilde üretildiği anlaşılmıştır.

3.2.3. İncelenen Refrakter Tuğlaların Özellikleri

3.2.3.1. Remlowcast 50 Vibration Castable

75x75x75 mm'lik kalıplara döküldükten sonra pişirilen Remlowcast 50 vibration castable refrakter tuğla numunesinin fizikomekanik özellikleri Çizelge 4'de ve teknik özellikleri ise Çizelge 5'de verilmiştir.

Çizelge 4. Remlowcast 50 vibration castable numunesinin fizikomekanik özellikleri

Sıcaklık (°C)	Kırılma Modülü (kg/cm ²)	Basma Mukavemeti (kg/cm ²)	Kalıcı Boyutsal Değişme (%)	Termal Kondüktivite (kcal/°C.h.m)
110	105	660	-	-
820	110	700	+0,1	-
1100	138	720	+0,2	0,65
1250	160	800	+0,2	0,7
1400	190	1000	-0,2	0,8
1500	200	1100	-	-

Remlowcast 50 vibration castable numunesi içerisindeki Al₂O₃ miktarı %50 olan düşük çimentolu, vibrasyon uygulamalı beton

refrakterdir. Yüksek yoğunluklu, düşük poroziteli ve çok yüksek mukavemet değerlerine sahip bir malzeme olmasının nedeninin bünyesindeki su

miktarının az olması olduğu düşünülebilir. Fe₂O₃ oranının düşük olması nedeni ile erozyon ve aşınmaya karşı yüksek mukavemete sahiptir. Yük altında sıcakta deformasyonun az olması istenen yerlerde kullanımı uygundur. Remlowcast 50 vibration castable 110-1550°C arası servis sıcaklığına sahiptir.

Çizelge 5. Remlowcast 50 vibration castable numunesinin teknik özellikleri

Servis sıcaklığı	1550°C
Yumuşama sıcaklığı	36°C
Kuru malzeme ihtiyacı	2,3 kg/dm ³
Katılacak su miktarı	%6 en fazla
816°C'de Porozite	17,5
Çalışma süresi	90, 120 dakika en fazla

Çizelge 6. Remgun 60 SİC 10 GG gunning castable numunesinin fizikomekanik özellikleri

Sıcaklık (°C)	Kırılma Modülü (kg/cm ²)	Basma Mukavemeti (kg/cm ²)	Kalıcı Boyutsal Değişme (%)	Termal Kondüktivite (kcal/°C.h.m)
110	95	360	-	-
820	68	200	-0,1	1,2
1100	69	250	-0,2	1,05
1400	95	300	-0,5	-

Çizelge 7. Remgun 60 SİC 10 GG gunning castable numunesinin teknik özellikleri

Servis sıcaklığı	1450°C
Yumuşama sıcaklığı	35°C
Kuru malzeme ihtiyacı	2,4 kg/dm ³
Katılacak su miktarı	en fazla %12

3.2.3.3. Remlowcast 75 Vibration Castable

75x75x75 mm'lik kalıplara döküldükten sonra 820°C'de pişirilen Remlowcast 75 vibration castable refrakter tuğla numunesinin fizikomekanik özellikleri Çizelge 8'de ve teknik özellikleri ise Çizelge 9'da verilmiştir.

Çizelge 8. Remlowcast 75 vibration castable numunesinin fizikomekanik özellikleri

Sıcaklık (°C)	Kırılma Modülü (kg/cm ²)	Basma Mukavemeti (kg/cm ²)	Kalıcı Boyutsal Değişme (%)	Termal Kondüktivite (kcal/°C.h.m)
110	120	650	-	-
820	160	750	-0,18	0,980
1100	170	1100	-0,21	0,95
1400	180	1200	0,4	1,05
1600	140	1250	0,15	1,15

3.2.3.2. Remgun 60 SİC 10 GG Gunning Castable

75x75x75 mm'lik kalıplara döküldükten sonra 1400°C'de pişirilen Remgun 60 SİC 10 GG gunning castable refrakter tuğla numunesinin fizikomekanik özellikleri Çizelge 6'da ve teknik özellikleri ise Çizelge 7'de verilmiştir.

İçeriğinde %58 Al₂O₃ ihtiva eden Remgun 60 SİC 10 GG gunning castable yapıda bir betondur. Fırında 1400°C'de pişirilerek refrakter tuğla haline getirilmiştir. İçerisine silicon carbide eklenerek çok yüksek yapışma ve yüksek mukavemetli olması sağlanmıştır. 110-1400°C arası servis sıcaklığına sahiptir.

Remlowcast 75 vibration castable numunesi bileşiminde en az %75 Al₂O₃ içeren düşük çimentolu, özellikle vibrasyonlu dökümlerde kullanılan bir malzemedir.

Bünyesindeki su miktarının çok düşük olması nedeni ile yüksek yoğunluğa, düşük poroziteye ve diğer numunelere göre yüksek mukavemete sahiptir. Fe₂O₃ oranının düşük olması nedeni ile erozyon ve aşınmaya karşı yüksek mukavemete sahiptir ve yük altında sıcakta deformasyonun en az olması istenen yerlerde kullanımı uygundur. 110-1600°C arası servis sıcaklığına sahiptir.

Çizelge 9. Remlowcast 75 vibration castable numunesinin teknik özellikleri

Servis sıcaklığı	1760°C
Yumuşama sıcaklığı	39°C
Kuru malzeme ihtiyacı	2,5 kg/dm ³
Katılacak su miktarı	%5 en fazla
816°C'de porozite	18,7
Çalışma süresi	en fazla 90, 120 dakika

3.2.3.4. Remlowcast 70 SiC Vibration Castable

75x75x75 mm'lik kalıplara döküldükten sonra 1100°C'de pişirilen Remlowcast 70 SiC vibration castable refrakter tuğla numunesinin fizikomekanik özellikleri Çizelge 10'da ve teknik özellikleri ise Çizelge 11'de verilmiştir.

Çizelge 10. Remlowcast 70 SiC vibration castable numunesinin fizikomekanik özellikleri

Sıcaklık (°C)	Kırılma Modülü (kg/cm ²)	Basma Mukavemeti (kg/cm ²)	Kalıcı Boyutsal Değişme (%)	Termal Kondüktivite (kcal/°C.h.m)
110	129,5	760	-	-
820	176,5	1500	-0,18	-
1100	230	1300	-0,21	6,98
1200	248	1200	0,15	6
1350	263	1300	0,45	-

Çizelge 11. Remlowcast 70 SiC vibration castable numunesinin teknik özellikleri

Servis sıcaklığı	1400°C
Yumuşama sıcaklığı	30°C
Kuru malzeme ihtiyacı	2,6 kg/dm ³
Katılacak su miktarı	%4-4,5
816°C'de porozite	18,7
Çalışma süresi	en fazla 90, 120 dakika

3.2.3.5. Remlowcast 70 Zr Vibration Castable

75x75x75 mm'lik kalıplara döküldükten sonra 1400°C'de pişirilen Remlowcast 70 Zr vibration castable refrakter tuğla numunesinin fizikomekanik özellikleri Çizelge 12'de ve teknik özellikleri ise Çizelge 13'de verilmiştir.

Remlowcast 70 SiC vibration castable numunesi bileşimine %59,5 SiC eklenen düşük çimentolu bir malzemedir. Yüksek yoğunluklu, düşük poroziteli ve çok yüksek mukavemet değerlerine sahip bir malzemedir. Fe₂O₃ oranı düşük olduğu için erozyon ve aşınmaya karşı yüksek mukavemet sahiptir. 110-1350°C arası servis sıcaklığına sahiptir.

Remlowcast 70 Zr vibration castable numunesi %70 Al₂O₃ ihtiva ettiği için diğer numunelere göre yüksek mukavemete sahiptir. Yüksek yoğunluklu ve düşük porozitelidir. Fe₂O₃ oranı düşük olduğu için erozyon ve aşınmaya karşı yüksek mukavemet gösterir ve yük altında sıcakta deformasyonun minimum olması istenen yerlerde kullanımı uygundur. 110-1350°C arası servis sıcaklığına sahiptir.

Çizelge 12. Remlowcast 70 Zr vibration castable numunesinin fizikomekanik özellikleri

Sıcaklık (°C)	Kırılma Modülü (kg/cm ²)	Basma Mukavemeti (kg/cm ²)	Kalıcı Boyutsal Değişme (%)	Termal Kondüktivite (kcal/°C.h.m)
110	129,5	750	-	-
820	176,5	850	-0,18	0,98
1100	180	860	0,2	1,05
1400	195	1010	0,3	1,1
1600	200	1040	-0,1	-

Çizelge 13. Remlowcast 70 Zr vibration castable numunesinin teknik özellikleri

Servis sıcaklığı	1760°C
Yumuşama sıcaklığı	39°C
Kuru malzeme ihtiyacı	2,8 kg/dm ³
Katılacak su miktarı	%5-5,5
816°C'de porozite	18,7
Çalışma süresi	en fazla 90, 120 dakika

3.2.3.6. Remlowcast 60 SİC 30 Vibration Castable

75x75x75 mm'lik kalıplara döküldükten sonra 1100°C'de pişirilen Remlowcast 60 SİC 30 vibration castable refrakter tuğla numunesinin

fizikomekanik özellikleri Çizelge 14'de ve teknik özellikleri ise Çizelge 15'de verilmiştir.

Remlowcast 60 SİC 30 vibration castable numunesi 31 SİC ihtiva ettiği için yüksek mukavemete sahiptir. Fe₂O₃ oranı düşük olduğu için erozyon ve aşınmaya karşı yüksek mukavemet gösterir ve yük altında sıcakta deformasyonun en az olması istenen yerlerde kullanımı uygundur. Yüksek yoğunluklu, düşük poroziteli ve çok yüksek mukavemet değerlerine sahip bir malzeme olmasının nedeni bünyesindeki su miktarının azlığıdır. 110-1350°C arası servis sıcaklığına sahiptir.

Çizelge 14. Remlowcast 60 SİC 30 vibration castable numunesinin fizikomekanik özellikleri

Sıcaklık (°C)	Kırılma Modülü (kg/cm ²)	Basma Mukavemeti (kg/cm ²)	Kalıcı Boyutsal Değişme (%)	Termal Kondüktivite (kcal/°C.h.m)
110	110	700	-	-
820	120	850	-	-
1100	130	1100	-0,15	2,8
1250	140	1300	-0,2	2,95
1350	105	800	-0,3	-

Çizelge 15. Remlowcast 60 SİC 30 vibration castable numunesinin teknik özellikleri

Servis sıcaklığı	1370°C
Yumuşama sıcaklığı	25°C
Kuru malzeme ihtiyacı	2,5 kg/dm ³
Katılacak su miktarı	en fazla %5
816°C'de porozite	15
Çalışma süresi	en fazla 90, 120 dakika

3.2.4. Ultrasonik Test

Refrakter tuğlalara yapısal özelliklerinin belirlenmesi ve pişme sırasında bünyesinde oluşan boşlukların tespiti amacıyla P-dalgası uygulanmış ve elde edilen sonuçlar Çizelge 16'da verilmiştir.

Çizelge 16. Ultrasonik testi deney sonuçları (km/sn)

Remlowcast 50 vibration castable	3,857
Remgun 60 SİC 10 GG gunning castable	3,003
Remlowcast 75 vibration castable	4,066
Remlowcast 70 SİC vibration castable	4,720
Remlowcast 70 Zr vibration castable	4,411
Remlowcast 60 SİC 30 vibration castable	3,468

Çizelge 16'da yer alan ultrasonik test deney sonuçları incelendiğinde Remgun 60 SİC 10 GG gunning castable, Remlowcast 60 SİC 30 vibration castable ve Remlowcast 50 vibration castable refrakter tuğlalarının P-dalgası değerlerinin diğer tuğlalara göre daha düşük olduğu görülmüştür. Gözlenen düşük P-dalgası değerlerinin tuğlaların pişmesi esnasında oluşan gözeneklerden kaynaklandığı düşünülmektedir.

4. SONUÇLAR

Yapılan çalışma kapsamında, refrakter tuğla üretiminde kullanılan malzemelerin kimyasal ve mineralojik özellikleri belirlenmiş; ardından hammaddeler ve değişik katkı maddeleri kullanılarak üretilen tuğlaların kimyasal, mineralojik, mekanik ve teknolojik özellikleri yapılan analizler ve deneyler ile incelenmiştir.

Toz refrakter hammaddelerin kimyasal analiz sonuçları örneklerin yüksek saflıkta olduğunu ve refrakterlik derecesini düşürecek alkali ve toprak alkali oksitlerin minimum seviyede bulunduğunu

göstermiştir. Örneklerin kil veya şamot tuğla, silika, korundum veya korund tuğla, disten veya boksit olabileceği; mineralojik inceleme sonucuna göre örneklerin kil, silika, kil katkılı korund, boksit katkılı korund ve boksit olabileceği sonucuna varılmıştır. İncelenen örnekler ve eklenen katkıları değişik oranlarda karıştırılarak refrakter tuğla üretimi için uygun harçlar oluşturulmasına olanak sağlandığı anlaşılmıştır.

İncelenen refrakter tuğlaların $>50\%$ Al_2O_3 ihtiva etmesi nedeni ile sıcaklık şoklarına dayanabilecek yüksek mukavemete sahip olacağı düşünülmektedir. Fe_2O_3 oranının düşük olması tuğlaların erozyon ve aşınmaya karşı yüksek mukavemet sergileyeceğini göstermiş; yük altında sıcakta deformasyonunun en az olması istenen fırın bölgelerinde kullanımının uygun olacağı sonucuna varılmasını sağlamıştır.

110°C, 820°C ve 1100°C sıcaklıklarda pişirilmiş refrakter tuğlalar üzerinde yapılan tek eksenli basma dayanım belirleme deneylerinde, incelenen numunelerden Remlowcast 75 vibration castable ve Remlowcast 70 SİC vibration castable adlı numunelerin tek eksenli basma mukavemetlerinin diğer numunelere oranla daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Elde edilen değerlerden korund tuğlanın yüksek sıcaklıklarda sıvı gaz miktarı düşerek kristal oluşumu sağlanması ile yük altında refrakterliğinin arttığı, ergimiş silika tuğlanın hiç devitrifikasyona uğramadan kuvarsın modifikasyonları sırasında yoğunluklarının değişmesi nedeni ile yavaş soğutulması gerektiği anlaşılmıştır.

Ultrasonik test deney sonuçları incelendiğinde Remgun 60 SİC 10 GG gunning castable, Remlowcast 60 SİC 30 vibration castable ve remlowcast 50 vibration castable refrakter tuğlalarının P-dalgası değerlerinin diğer tuğlalara göre daha düşük olduğu görülmüştür. Gözlenen düşük p-dalgası değerlerinin tuğlaların pişmesi esnasında oluşan gözeneklerden kaynaklandığı düşünülmektedir.

Deneyler sonucunda incelenen örneklerin iyi kalite refrakter olduğu sonucuna varılmıştır.

5. KAYNAKLAR

1. Geçkinli, A.E., 1992. İleri Teknoloji Malzemeleri, İstanbul Teknik Üniversitesi Matbaası Gümüşsuyu.
2. Kuşoğlu, İ.M., 2004. İleri Teknik Seramik Üretimi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi, İzmir, s. 111.
3. Tümer, M., 2004. Silisyum Nitrür Tozu Üretimi ve Sinterlenmesi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Metal Eğitimi Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi, Konya, s. 110.
4. Karabaş, K., 2006. Bor Karbür Üretimi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi, İzmir, s. 82.
5. DPT, 2001. Endüstriyel Hammaddeler Alt Komisyonu Toprak Sanayi Hammaddeleri III (Kuvars kumu-Kuvarsit-Kuvars) Çalışma Grubu Raporu, Ankara.
6. DPT, 2006. Dokuzuncu Kalkınma Planı (2007–2013), Taş ve Toprağa Dayalı Sanayiler Özel İhtisas Komisyonu Refrakter Sanayii Ön Raporu, Ankara.
7. Yarbıl, S., 2012. Refrakter Tuğla Üretiminde Kullanılan Hammaddelerin ve Refrakter Tuğlaların Bazı Teknolojik Özelliklerinin İncelenmesi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enst., Maden Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi, Adana, s. 87.

