

757267

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KALSİYUM ALÜMİNATIN SPİNEL ESASLI
DÖKÜLEBİLİR REFRAKTERLERDE
KULLANILABİLİRLİĞİNİN İNCELENMESİ**

15/261

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Ser. Müh. Umut KARAKAŞ
(506021305)**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 26 Nisan 2004
Tezin Savunulduğu Tarih : 17 Mayıs 2004**

Tez Danışmanı :

Prof.Dr. Serdar ÖZGEN

Diğer Jüri Üyeleri

Prof.Dr. Süheyla AYDIN (İ.T.Ü.)

Prof.Dr. Cemalettin YAMAN (Y.T.Ü.)

MAYIS 2004

ÖNSÖZ

Yüksek Lisans eğitimim boyunca ve tez çalışmaların sırasında bilgisi ve tecrübesiyle bana yol gösteren sayın hocam Prof. Dr. Serdar ÖZGEN'e teşekkürü bir borç bilirim.

Bu çalışmanın her aşamasında yanımda olan hammadde ve malzemenin temininde yardımcı olan ve deneysel aşamayı gerçekleştirmemde ekipmanlarını kullanmama müsaade eden METAMİN MÜMESSİLİK ailesine, çalışmalarım sırasında hiçbir yardımı esirgemeyen, bilgisiyle her zaman bana yol gösteren gösterdiği sınırsız anlayıştan ve manevi destekten dolayı sayın Çağatay DURMUŞ Bey'e sonsuz teşekkürler.

Mikro yapı fotoğraflarının çekilmesinde gösterdiği sabırdan ve titizlikten dolayı Volkan KALEM'e teşekkür ederim.

Hayatımın her anında yanımda olan, maddi manevi her türlü desteği sağlayan AİLEME sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

NİSAN 2004

UMUT KARAKAŞ

İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR	V
TABLO LİSTESİ	VI
ŞEKİL LİSTESİ	VII
SEMBOL LİSTESİ	VIII
ÖZET	IX
SUMMARY	X
1 GİRİŞ VE AMAÇ	1
2 DÖKÜLEBİLİR REFRAKTERLER	3
2.1 Genel Özellikleri	3
2.2 Yapısal Özellikleri	5
2.2.1 Porozite ve Hacim Ağırlığı	5
2.3 Dökülebilir Refrakterlerin Bileşenleri	6
2.3.1 Tabular Alümina	6
2.3.2 Reaktif alümina	7
2.3.3 Spinel	7
2.3.4 Kalsiyum Alüminat Çimentosu	8
2.3.5 Çimento Reaksiyonları ve Kurutma Kademesi	9
2.4 Dökülebilir Refrakterlerin Üretimi	10
2.5 Dökülebilir Refrakterlerin Kullanım Alanları	12
3 PARTİKÜL PAKETLENMESİ	16
4 DENEYSEL ÇALIŞMALAR	19
4.1 Kullanılan Hammaddeler ve Özellikleri	19
4.1.1 Kalsiyum Alüminat	19
4.1.2 Magnezyum Alüminat (Spinel)	22
4.1.3 Tabular alümina	23
4.1.4 Reaktif Alümina	24
4.1.5 Çimento	24
4.2 Numunelerin Hazırlanması	25
4.2.1 Numunelerin Sınıflandırılması	25
4.2.1.1 A Grubu Karışımlar	25
4.2.1.2 B grubu karışımlar	25
4.2.2 Numunelerin Üretimi	26
4.3 Numunelere Uygulanan Testler	28

4.3.1	X-ışınları Difraksiyonu (XRD) Analizi	28
4.3.2	Porozite ve Hacim Ağırlığının Belirlenmesi	28
4.3.3	Soğukta Basma Mukavemeti	29
4.3.4	Termal Şok Dayanımının Belirlenmesi	29
4.3.5	Termal Genleşme-Büzülme Oranının Tayini	30
5	SONUÇLAR VE TARTIŞMA	31
5.1	Çimento Oranının Değişiminin İncelenmesi	31
5.1.1	Yoğunluk ve Poroziteye Etkisi	31
5.1.2	Soğukta Basma Mukavemeti Üzerindeki Etkisi	32
5.1.3	Termal Genleşme-Büzülme Üzerindeki Etkisi	33
5.1.4	Termal Şok Dayanımına Etkisi	34
5.2	Kalsiyum Alüminat Oranının Etkisinin İncelenmesi	35
5.2.1	Su Oranına Etkisi	35
5.2.2	Termal Genleşme Üzerindeki Etkisi	35
5.2.3	Termal Şok Dayanımı Üzerindeki Etkisi	36
5.2.4	Soğukta Basma Mukavemetine Etkisi	37
5.3	Mikro yapı İncelemeleri	37
5.3.1	B Grubuna Ait Mikro yapı İncelemesi Sonuçları	37
5.4	B Grubu Numunelerinin X-ışınları Analizi Sonuçları	39
6	DEĞERLENDİRME	40
	KAYNAKLAR	41
	EKLER	43
	ÖZGEÇMİŞ	52

KISALTMALAR

EAF	: Elektrik Ark Ocağı
ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
CPFT	: D'den daha ince tane boyutuna sahip tanelerin kümülatif miktarı
XRD	: X-Işınları Difraksiyonu
N/mm²	: Newton/milimetrekare
g/cm³	: Gram/santimetreküp
SEM	: Taramalı Elektron Mikroskobu
EDS	: Enerji Dağılım Spektrometresi
Kg/cm²	: Kilogram/santimetrekare



TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 2.1. : Alümina-magnezya spinel bileşimleri	7
Tablo 2.2. : Ticari kalsiyum alüminat çimentoları bileşimleri.....	8
Tablo 2.3. : Kalsiyum Aluminat çimentolarında oluşan fazlar ve hidrasyon hızları .	9
Tablo 2.4. : Dökülebilir refrakterlerin genel uygulama alanları	12
Tablo 4.1. : Deneylerde kullanılan kalsiyum aluminata ait kimyasal bileşim ve fiziksel özellikler.....	20
Tablo 4.2. : Deneylerde kullanılan magnezyum alüminata ait fiziksel ve kimyasal özellikler	23
Tablo 4.3. : Deneylerde kullanılan tabular alüminanın kimyasal bileşimi ve fiziksel özellikleri	23
Tablo 4.4. : Deneylerde kullanılan reaktif alüminaya ait kimyasal bileşim.....	24
Tablo 4.5. : Deneylerde kullanılan çimentonun kimyasal bileşimi ve fiziksel özellikleri	24
Tablo 4.6. : A grubu karışım oranları (% Ağırlıkça).....	25
Tablo 4.7. : B grubu karışım oranları (% Ağırlıkça).....	26

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 2.1. : Refrakterlerde görülen por şekilleri	5
Şekil 2.2. : Dökülebilir refrakterlerin üretim akış şeması.....	11
Şekil 2.3. : Titreşim altında dökülebilir refrakterler ile monolitik pota örümü	13
Şekil 2.4. : Monolitik pota örümü	14
Şekil 2.5. : Yüksek fırın yollukları monolitik örüm uygulamaları	15
Şekil 2.6. : a) Gaz üfleme lansı b) Degasser ünitesi şnorkel bloğu	15
Şekil 4.1. : Deneylerde kullanılan kalsiyum alüminata ait görüntüler.	19
Şekil 4.2. : Kalsiyum alüminatın 3-6 mm.lik fraksiyonuna ait görüntü	19
Şekil 4.3. : Kalsiyum alüminatın 1-3 mm.lik fraksiyonuna ait görüntü	20
Şekil 4.4. : -45 mikron boyutundaki kalsiyum alüminat tanelerine ait X-ışını analiz grafiği.....	21
Şekil 4.5. : Kalsiyum alüminat -45 mikron boyutundaki fraksiyonuna ait tane boyut dağılım grafiği.....	21
Şekil 4.6. : Kalsiyum alüminatın SEM'de çekilmiş mikro yapı fotoğrafları	22
Şekil 4.7. : Karışımın titreşimden önceki durumu.....	27
Şekil 4.8. : Bir dakika titreşim uygulanmış karışım	27
Şekil 4.9. : Döküm sonundaki karışım	27
Şekil 4.10. : Kalıptan çıkan numuneler	27
Şekil 5.1. : Çimentonun görünür poroziteye olan etkisi	32
Şekil 5.2. : Çimento oranının soğukta basma mukavemetine etkisi	33
Şekil 5.3. : Çimentonun termal genleşmeye olan etkisi	33
Şekil 5.4. : A grubu için termal şok dayanım testi sonuçları.....	34
Şekil 5.5. : Termal şok testi sonrası A grubu numunelerine ait görüntüler	34
Şekil 5.6. : Kalsiyum alüminat su oranı üzerindeki etkisi	35
Şekil 5.7. : Çimentonun termal genleşme üzerindeki etkisi	36
Şekil 5.8. : B grubu termal şok dayanım testi sonuçları	36
Şekil 5.9. : Termal şok testi sonrası B grubu numunelerine ait görüntüler	37
Şekil 5.10. : B-0 no'lu numuneye ait SEM analiz sonuçları	38
Şekil 5.11. : B6 no'lu reçeteye ait SEM analiz sonuçları.....	38
Şekil 5.12. : B12 no'lu reçeteye ait SEM analiz sonuçları.....	38

SEMBOL LİSTESİ

D	: Tane Boyutu
D_s	: Karışımındaki en küçük tane boyutu
D_l	: Karışımındaki en büyük tane boyutu
R	: Bir elekteki tanelerin hacminin bir sonraki elekteki tanelerin hacmine oranı
σ_{sbm}	: Soğukta basma mukavemeti
P_{max}	: Kırılma anındaki pres basıncı
F₀	: Numunenin basınç uygulanan yüzey kesit alanı
W_k	: Kuru Ağırlık (g)
W_y	: Yaş Ağırlık (g)
W_a	: Askıdaki Ağırlık (g)
N	: Numune sayısı

KALSİYUM ALÜMİNATIN SPİNEL ESASLI DÖKÜLEBİLİR REFRAKTERLERDE KULLANILABİLİRLİĞİNİN İNCELENMESİ

ÖZET

1970 yıllardan bu yana refrakter endüstrisinde meydana gelen hızlı değişimlere paralel olarak dökülebilir refrakterlerin kullanım alanında da büyük bir artış olmuştur. Tuğla refrakterlere göre daha ucuz ve üretiminin daha az zahmetli olması gibi özelliklerinden dolayı dökülebilir refrakterlerin kullanımı gün geçtikçe önem kazanmaktadır.

Bu çalışmada ilk önce Andreasen denklemine göre belirlene tane boyut dağılım modülüne bağlı kalarak değişik pişirme sıcaklıklarında kalsiyum alüminatın çimento ile vereceği reaksiyonlar ve bu reaksiyonların görünür porozite, hacim ağırlığı, soğukta basma mukavemeti, kalıcı genleşme-büzülme ve termal şok dayanımı gibi refrakterler açısından önem arz eden özelliklerin ne derece değiştiği incelenmiş, karışımlarda kullanılacak olan optimum çimento miktarı belirlenmiştir. İkinci aşamada ise karışımlara belirli oranlarda ilave edilen kalsiyum alüminatın spinel esaslı dökülebilir refrakter karışımlarında vereceği reaksiyonlar sonucu yukarıda sayılan özelliklerin değişimleri incelenmiş ve spinel esaslı dökülebilir refrakter karışımlarında kullanılabilecek optimum kalsiyum alüminat miktarı belirlenmiştir. İlave edilen bu hammaddelerin yanında sistemin reolojik özelliklerinin arttırılması amacı ile yapıya %8 oranında reaktif alümina ilavesi yapılmıştır.

Sonuç olarak, ilk aşamada kalsiyum alüminatın %5 çimento oranı ile birlikte kullanılmasının uygun olacağı, kalsiyum alüminatın spinel esaslı karışımlarda denenmesi sonucunda ise artan kalsiyum alüminat oranına paralel olarak yapının büzülmeye doğru gittiği saptanmıştır. Termal şok dayanımında %6 kalsiyum alüminat ilavesinin termal şok dayanımında düşüşe neden olmadığı ancak bu oranın aşılması halinde ise termal şok dayanımında azalma meydana geldiği saptanmıştır. Ayrıca kalsiyum alüminatın sentetik bir malzeme olmasından dolayı su miktarını arttırdığı dolayısıyla priz alma süresini geciktirdiği tespit edilmiştir.

THE INVESTIGATION OF THE USAGE OF THE CALCIUM ALUMINATE IN SPINEL BASED REFRACTORY CASTABLES

SUMMARY

Usage and the consumption of the castables were increased by the developments of the refractory industry since the 1970's. According to, brick refractories, due to its low cost and the rapid usage, the importance of the castables increase day by day.

In this study, firstly, the effect of the reactions between calcium aluminate and cement on the apparent porosity, bulk density, cold crushing strength, thermal expansion-shrinkage and thermal shock resistance are investigated at different temperatures with the grain size distribution determined by using the Andreasen equation and cement ratio was obtained. Secondly, the variation of the properties described in the first part is investigated according to the reactions between calcium aluminate and spinel, when these raw materials are mixtured with certain proportions, then optimum ratio of calcium aluminate for mixture of spinel based refractory castables is generally obtained. A reactive alumina (8 %) is added to the mixture to increase reological properties of the system.

Consequently, in the first part it is determined that %5 of cement should be mixtured by calcium aluminate for the mixture. The spinel based refractory castables structure starts to shrink by increasing of the rate of calcium aluminate in this mixture. Addition of %6 calcium aluminate to the mixture does not change the thermal shock resistance but exceeding this ratio decreases the thermal shock resistance. Since the calcium aluminate is a synthetic material contains some water in it, solidification time increases.

1 GİRİŞ VE AMAÇ

Refrakter kullanımı demir - çelik endüstrisinde önemli orada tüketim alanına sahiptir. Refrakter malzemelerin kalite, tasarım ve proses yönünden gelişmesi ile bu tür malzemelerin kullanıldığı sektörlerin yüksek performanslı refrakter malzeme ihtiyacını karşılamak hedeflenmektedir. Günümüz şartlarında giderek artan monolitik refrakter uygulamaları ve bu tür malzemelerin içinde en fazla rağbet gören sınıf olan dökülebilir refrakterler özellikle demir - çelik sektöründe birçok alanda şekilli refrakterlerin yerini almaktadır. [1]

70' li senelerde çimentonun saflığı ve yüksek oranda kullanımı dökülebilir refrakterlerin kalitesini belirleyici faktördü. Yüksek saflıkta ve yüksek oranda kullanılan çimento sayesinde malzemelerin soğukta dayanımları artmakta buna karşın yüksek sıcaklıktaki refrakterlik özellikleri zayıflamakta, beklenen sonuçların tam tersi sonuçlar elde edilmesine neden olmaktaydı. Yüksek miktarda çimento kullanılması nedeni ile sistemde bulunan CaO , SiO_2 ve Al_2O_3 ile düşük sıcaklıkta ergiyen gehlenit ve anortit fazlarını oluşturmakta böylece malzemenin yüksek sıcaklıkta bağ mukavemetini, korozyon ve erozyon direncini düşmesine neden olmaktaydı. [1]

Hidrolik bağlayıcı görevindeki yüksek alüminalı çimento, dispersan ve su dökülebilir refrakterlerin ana bileşenleri agrega, olarak sıralanabilir. Reaktif alümina ve mikrosilika gibi süper ince olarak bilinen ilaveler, taneler arasında paketlenme ve reolojik özelliklerini geliştirmelerinin yanı sıra malzemenin servis sıcaklığındaki performansını da arttırmaktadırlar. Dispersan, reolojik özelliklerin önemli bir belirleyicisi olmakla beraber, suyun, bağlayıcı görevindeki çimento taneleri üzerinde kayarak yaş karışımın kalıp içerisinde homojen olarak yayılmasını sağlamaktadır. Dispersanın kalitesi doğrudan kullanılan su miktarını etkilediğinden son ürün kalitesi açısından bu sistemlerin en önemli bileşenlerinden biridir.

Dökülebilir refrakterler mekanik etki altında (vibrasyon ile) tanelerin hareketi ile kalıplar içerisinde şekil alan tiksotropik kolloidal sistemlerdir. Kolloidal sistemlerin mekanik davranışları reolojik özelliklerini belirler. Optimum tane boyut dağılımları ile çalışılarak maksimum paketlenme ve düşük poroziteli yoğun yapı hedeflenmektedir.

Bu çalışmada kalsiyum alüminat fazının spinel esaslı dökülebilir refrakterlerde kullanılabilirliği incelenerek, tane boyut dağılım modülüne bağlı olarak tasarlanan karışımlar karşılaştırmalı olarak değerlendirilecektir. Ayrıca çeşitli hammadde özelliklerine bağlı olarak incelenecek malzemelerin kurutma sonrası uygulanacak testler ile performansları karşılaştırılacaktır. Temel ürün özellikleri değerlendirilerek kalsiyum alüminat fazının optimum kullanım miktarının saptanması amaçlanmaktadır.



2 DÖKÜLEBİLİR REFRAKTERLER

2.1 Genel Özellikleri

Dökülebilir refrakterlerin en geniş tanımlama şekli, şekilsiz refrakter grubu şeklinde olabilir. Daha net bir tanımlama yapılırsa, dökülebilir refrakterler; iri tanelerin ince viskoz bir faz sayesinde birbiri ile bağ yaptığı ve genellikle çimentonun hidrasyon reaksiyonları sonucu sertleşip taneler arasındaki bağ kuvvetinin olduğu iskelet yapısıdır. Matris ve agrega refrakterin özelliğine bağlı olarak birbirinden farklı fiziksel ve kimyasal özellikler gösterebilir. Malzemenin akış özellikleri ve ürünün fiziksel ve kimyasal özellikleri, agrega, bağlayıcı tipi ve miktarı, dispersan özelliği ve oranı, tane boyut dağılım oranından büyük oranda etkilenmektedir. [1]

Geleneksel dökülebilir refrakterlerin çalışma sıcaklığındaki performansı açısından sınırlayıcı bir faktör olan yüksek çimento oranının düşmesi sonucu düşük çimentolu veya çok düşük çimentolu dökülebilir refrakterlerin gelişmesi ile birlikte bu malzemelerin şekilli refrakterlere ciddi bir alternatif olmuştur. Çimento oranının azalması refrakterler için istenmeyen bir durum olan düşük sıcaklıkta ergiyen fazların oluşumunu veya miktarını ve su ihtiyacını düşürmektedir ve malzemenin fiziksel ve mekanik özellikleri artmaktadır.

Dökülebilir refrakterler çimento içeriğine göre şu şekilde sınıflandırılmaktadırlar;

- Geleneksel dökülebilirler ($\%CaO > 2,5$)
- Düşük çimentolu dökülebilirler ($1 < \%CaO < 2,5$)
- Çok düşük çimentolu dökülebilirler ($0,2 < CaO < 1,0$)
- Çimentosuz dökülebilirler ($\%CaO < 0,2$)

Endüstriyel açıdan dökülebilir refrakterler, klasik refrakterlerle birçok açıdan karşılaştırılırsa avantajlarını görmek çok kolaydır. Bu avantajların başında çok hızlı tatbik edilebilmeleri, maliyetlerinin düşük oluşu ve pek çok alanda kullanılabilir olmaları gelmektedir. Bir fırının klasik refrakterle örülüp kullanıma hazır hale gelmesi bir gün almaktadır. Oysa böyle bir fırının dökülebilir refrakterle kaplanması durumunda bu süre birkaç saate inmektedir.

Hidrolik bağlı geleneksel dökülebilir refrakter %8-15 oranında su içerir ve yeterli akış özelliklerine ulaşarak kalıpta yerleşebilir. Çimento ile reaksiyona giren su hidrolik bağın oluşmasını sağlar ve böylece oda sıcaklığında istenen mekanik dayanım elde edilir. Yüksek açık porozite miktarı pişmiş tuğla, refrakter ile karşılaştırıldığında dökülebilir refrakterlerin önemli bir dezavantajı olarak görülmektedir. Bu tür refrakterlerde 110 °C'de kurutma sonrası açık porozite miktarı genel olarak %9-17 arasında değişmektedir. Isıtma sonrası hidrolik bağ kırılır por boyut dağılımı değişir ve açık porozite %15 seviyelerinde büyür. 250-350°C arasında hidrat fazının suyunu kaybetmesi sonucu oluşan kalsiyum alüminat ve reaktif alümina fazlarının oluşumu ile artan poroziteye bağlı olarak mekanik dayanımda bir azalma söz konusudur bu nedenle dökülebilir refrakterler 250-700°C arasında minimum mekanik dayanıma sahiptir. Ancak seramik bağ dökülebilir refrakter 1000°C' nin üzerine pişirildiğinde oluşur. Bu porozite kimyasal olarak bağlanmış su nedeniyle oluşur ve bu nedenle çimento tipi ve miktarına doğrudan bağlıdır. Kullanım sıcaklığındaki porozite miktarı karıştırma sırasında ilave edilen su ile ilgilidir. [2]

Dökülebilir refrakterlerin şekillendirilmesi sırasında ilave edilen suyun fonksiyonları şu şekilde sıralanabilir:

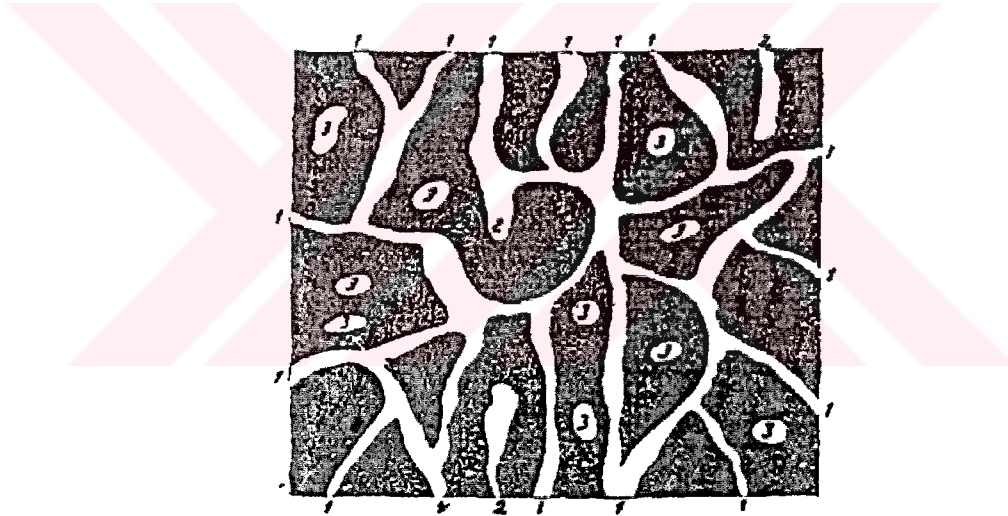
- %0-5 su refrakterin yapısındaki boşluklara dolar ve hidrolik bağa bir katkısı yoktur.
- %6-10 su çimento ile reaksiyona girer ve hidrolik bağ oluşturur.
- Kalan %2-6 su oranı şekillenme ve yoğunlaşmayı kolaylaştırır.[2]

2.2 Yapısal Özellikleri

2.2.1 Porozite ve Hacim Ağırlığı

Refrakter malzemeler katı taneler ve bu katı taneler arasında bulunan porlardan oluşan yapı olarak düşünülebilir. Refrakter yapısında bulunan porlar, şekillerine göre üçe ayrılmaktadır.

- 1- Açık porlar (kanallar)
- 2- Tek taraflı açık porlar (keseler)
- 3- Kapalı porlar (kabarcıklar)



Şekil 2.1. Refrakterlerde görülen por şekilleri [3]

Açık porlar hava ve birbirleriyle bağlantılı porlardır. Kapalı porlar ise birbirlerinden bağımsız olarak yapı içerisinde dağılmışlardır. Şekil 2.1’de refrakterlerde görülen por şekilleri gösterilmektedir.

Yoğun refrakter üretiminde düşük poroziteli ürünler elde edilmek istenir. Porların şekli, tipi ve miktarı ürünün refrakterlik özelliğini doğrudan etkilemektedir. Refrakterlerde genellikle görünür porozite ölçülür ve porozite özelliği buna göre belirlenir. Sıvının yapı içerisinde nüfuz edebildiği boşluklar açık porozite miktarının belirlenmesine yardımcı olur. Açık porozite özellikle refrakterin korozyona karşı

dayanım özellikleri açısından önem kazanmaktadır. Kapalı porozite ise bazı refrakter özellikleri açısından yararları olan bünyede bulunması istenen bir özelliktir[3].

Hacim ağırlığı doğal olarak porozitenin azalması ile artar. Düşük poroziteli ve yoğun refrakter yapıları yüksek hacim ağırlığına sahiptir. Bu tür yapıların mekanik özellikleri de daha yüksek olmaktadır.

Dökülebilir refrakterlerin kalitesini belirleyen en önemli parametreler; porozite ve hacim ağırlığıdır. Tane boyut dağılımı ve sinterleşme şartları bu iki özellik açısından son derece önemlidir. Özellikle tane boyut dağılımı ürün kalitesinin baştan belirlenmesinde yardımcı olan ve yapının paketlenme özelliklerini doğrudan etkileyen en önemli kontrol noktasıdır.

2.3 Dökülebilir Refrakterlerin Bileşenleri

2.3.1 Tabular Alümina

Tabular alümina ismini tipik olarak 50 mikrondan başlayıp 400 mikronun üzerine kadar çıkabilen, tablet şeklinde iri korundum kristallerinden almaktadır. [4]

Korundum ($\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$), elmas ve elmas formundaki sentetik birkaç bileşikten sonra en sert yapıdır. $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ hegzagonal-rombohedral yapıda kristallenir. Bu latis yapısı oksijen iyonlarının hegzagonal sıkı paketlenmesi şeklinde ortaya çıkar. Tabular alümina üretim prosesi, seramik üretim prosesleri ile neredeyse aynıdır. Seramik üretiminde olduğu gibi hammaddenin öğütülmesi, şekillendirme, kurutma ve sinterleme tabular alümina üretimi için de geçerlidir.

Tabular alümina üretiminde sinterleşmeyi ve yoğunlaşmayı teşvik edici kontrollü bir yüzey alanına sahip kalsine alümina kullanılır. Kalsine alümina peletleme işlemi ile 25-30 mm çapında "green ball" adı verilen tabular alümina kürelerine dönüşür. Kurutulan küreler 2000°C civarında şaft fırınında sinterlenir. Peletler fırının alt kısmına düşerken yavaşça ısınmaları sağlanmaktadır. Bu sinterleşme işlemi, büyük kristallerin porları doldurmasını ve teorik yoğunluğa yakın bir yoğunluğa ulaşılmasını sağlamaktadır. Sinterlenen tabular küreleri kırma, manyetik ayırma ve klasifikasyon işlemleri ile çeşitli tane boyutlarında paketlenir.

2.3.2 Reaktif alümina

Reaktif alümina çok ince taneli ve düşük sodalı kalsine alümina sınıfına girmektedir. Reaktif alümina ince kristalli yapısı ile sinterleşme sırasında yoğunlaşmayı teşvik eder ve sinterleşmeyi hızlandırır. [6]

Reaktif alüminanın ince taneli yapısı, tanelerin paketlenme özelliğini geliştirmektedir. İnce taneler yapı içerisindeki boşlukları doldurmakta, böylece porozite miktarını düşürmekte, buna karşın hacim ağırlığı artmasını sağlamaktadır. Dökülebilir refrakter karışımı içerisindeki reaktif alümina plastikliği arttırmakla birlikte, kontrolsüz ilave edilmesi durumunda kıvamın akıcılığını düşürmekte ve su ihtiyacını arttırmaktadır.

2.3.3 Spinel

Son senelerde, özellikle yüksek sıcaklık uygulamalarında tercih edilen malzemelerden biri de alümina-magnezya spinel olmuştur.

Alümina-magnezya spinel eldesi, Bayer prosesi ile elde edilen alümina ve magnezyanın sinterlenmesi veya ikisinin beraber bir ark ocağında ergitilmesi şeklinde olabilir [5]. Tablo 2.1’de Alümina-magnezya spinele ait örnek kompozisyonları verilmiştir.

Tablo 2.1. Alümina-magnezya spinel bileşimleri [5]

	Örnek 1	Örnek 2	Örnek 3	Örnek 4	Örnek 5
Kimyasal Bileşim					
Al ₂ O ₃	66,0	70,4	74,3	20	90,0
MgO	33,0	28,5	25	76	9
Fe ₂ O ₃	<0,01	0,23	<0,01	<0,01	<0,01
CaO	0,4	0,1	0,28	0,3	0,25
SiO ₂	0,09	0,22	0,2	0,06	0,05
Fiziksel Özellikler					
Yoğunluk (g/cm ³)	3,27	3,4	3,3	3,25	3,3
Görünür Porozite (%)	2,0	3,9	7,5	2,0	2,5

2.3.4 Kalsiyum Alüminat Çimentosu

Kireç ve alümina bileşikleri kalsiyum alüminat çimentosunda ana bileşenleri oluşturmaktadırlar. Bu tip çimentolar, dökülebilir refrakterlerde hidrolik bağ oluşmasında en önemli bağlayıcı maddeleridir. [7].

Sinterleme işlemi ile veya klinker prosesi ile kalsiyum alüminat çimentosunun üretimi gerçekleştirilebilmektedir. Kireç kaynağı olarak nispeten daha saf olan kireç taşları tercih edilmektedir. Yüksek saflıkta kalsiyum alüminat çimentosu için alümina kaynağı olarak kalsine alümina kullanılmaktadır. Ticari kalsiyum alüminat çimentoları bileşim aralıkları tablo 2.2’de verilmiştir.

Tablo 2.2. Ticari kalsiyum alüminat çimentoları bileşimleri [7]

% Bileşim	Düşük Saflık	Orta Saflık	Yüksek saflık
Al_2O_3	39-50	55-66	70-90
Fe_2O_3	7-16	1-3	0-0,4
CaO	35-42	26-36	9-28
SiO_2	4,5-9	3,5-6	0-,03

Çimentonun katılaşmasını kontrol eden faktör, çimentodaki fazların su ile reaksiyona girmesi ve meydana gelen hidrasyon reaksiyonları sonucunda bağların oluşmasıdır. Monokalsiyum alüminat, kalsiyum alüminat çimentolarında bulunan en önemli fazdır. Bu fazda hidrasyon reaksiyonları oldukça hızlı bir şekilde meydana gelmektedir ve bunun sonucunda hızlı bir katılaşma sağlanabilmektedir. Bu da endüstriyel kullanımlarda çok önemli bir avantajdır. CA dışında $CA_{12}A_7$ ve CA_2 de katılaşma sırasında alümina çimentosunun mekanik özelliklerini geliştirici etki yapmaktadır, sistemde bulunan $CA_{12}A_7$ ’nin varlığı, düşük çimentolu dökülebilir refrakterlerin hızlı katılaşabilme özelliklerini belirgin bir şekilde etkilemektedir. Tablo 2.3’de kalsiyum alüminat çimentolarında meydana gelen fazlar ve hidrasyon oranları görülmektedir.

Tablo 2.3. Kalsiyum Alüminat çimentolarında oluşan fazlar ve hidrasyon hızları[5]

Rölatif hidrasyon hızı	Düşük saflıkta	Orta saflıkta	Yüksek saflıkta
Hızlı	CA C ₂ A ₇ CA ₂ C	CA C ₁₂ A ₇ CA ₂ C	CA C ₁₂ A ₇ CA ₂
Yavaş	C ₂ S C ₄ AF C ₂ AS	C ₂ S C ₄ AF C ₂ AS	
Hidratlaşmayan	CT A	CT A	A

Her ne kadar dökülebilir refrakterlerde çimento hidrolik bağlayıcı olarak kullanılsa da, çimentonun içerisindeki CaO, refrakterin yüksek sıcaklıktaki özelliklerini olumsuz etkilemektedir. Bu nedenle dökülebilir refrakterlerde çimento oranı azaltılmaya çalışılmaktadır. Modern refrakter bileşimlerinde az oranlarda kalsiyum alüminat çimentosu kullanılmaktadır.[8]

2.3.5 Çimento Reaksiyonları ve Kurutma Kademesi

Yüksek refrakterliğe sahip karışımlarda genellikle %70 veya %80 Al₂O₃'lı çimentolar kullanılmaktadır. Bu tür çimentoların empürite içeriği %1-2'nin altındadır.

Düşük ve çok düşük çimentolu dökülebilir refrakterlerde düşük sıcaklıkta ergiyen fazların miktarı azalması CaO oranının düşmesiyle mümkündür böylece malzemenin yüksek sıcaklıktaki performansı artar.

En fazla karşılaşılan çimento fazları CA, CA₂, C₁₂A₇, CA₆, ve reaksiyona girmemiş alümina fazları olarak saptanmıştır. Bunlardan aktif olanlar CA, CA₂, C₁₂A₇, fazlarıdır. Ancak bu fazlarının hidrasyon hızları birbirinden farklılık göstermektedir. C₁₂A₇ fazı en hızlı sertleşen dolayısıyla en reaktif faz olmakla birlikte, CA ve CA₂ fazları nispeten daha yavaş reaksiyona girerler. Çimento ile su reaksiyona girdiğinde hidrat fazları oluşarak harcın yerleşmesini ve sertleşmesini sağlarlar. [9]

Yüksek çimento içeriği yerleşme için daha fazla su ihtiyacı doğuracağından pişirildiğinde malzeme içerisinde yüksek oranda porozite ortaya çıkacaktır. Bu durum cüruf sızmalarına karşın malzemenin direncinin düşmesiyle sonuçlanabilir. Öte yandan silika bazlı hammaddeler kullanıldığında çimentodan gelen CaO ile oluşan reaksiyon sonucu 1200°C'den itibaren düşük sıcaklıkta ergiyen fazlar oluştuğu gözlenmektedir. Çimentonun diğer bir etkisi ise hidrat fazlarının seramik bağ oluşumundan önce parçalanması sonucu 800-1000 C arasında malzemenin dayanımını düşürmektedir[1].

Gelişmiş özellikleri, örüm ve tamir kolaylıkları sayesinde genel refrakter tüketiminde sağladıkları düşüşe rağmen bu tür malzemelerin üretimi sırasında yaşanan en büyük zorluklardan biri de kurutma kademesidir. Kurutma ile bünyedeki fiziksel anlamda bağlı suyun tamamı buharlaştırılarak sistemden uzaklaştırılır. Bu tür malzemelerin düşük sıcaklıklarda geçirgenliklerinin oldukça düşük olması malzemede çatlak oluşumuna neden olmaktadır. İç yapıda sıkışan su buharı büyük hacimli parçalarda zaman zaman patlamalara neden olmaktadır. Bu tür problemleri en aza indirmek için uygulanan bazı yöntemler vardır. Bunlar;

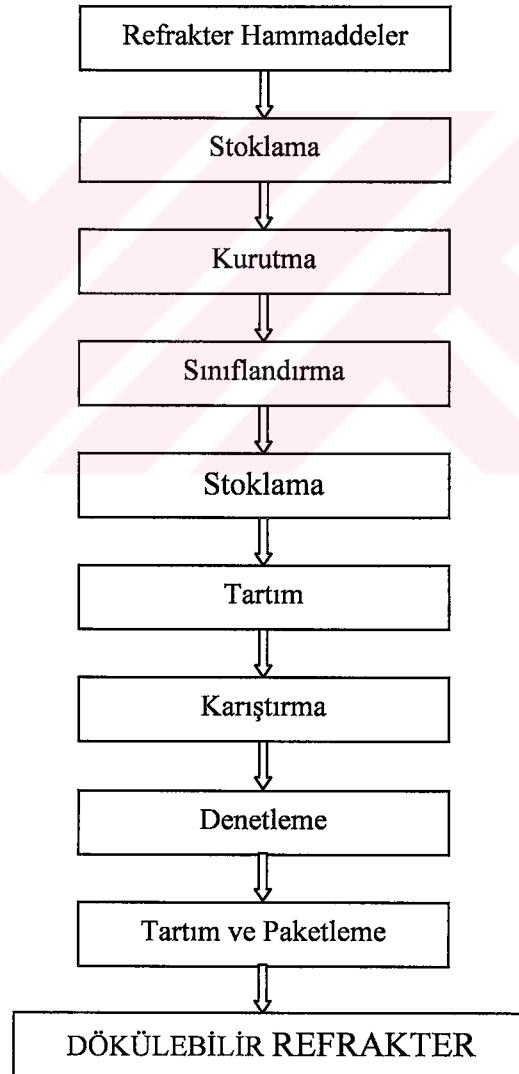
- Isıtma hızı iç bünyedeki buhar oluşumu ile yüzeyden buharlaşma aynı hızda olacak şekilde, ayarlanmalıdır. Buhar basıncı refrakter dayanımını aşmamalıdır. Bu, durum üretim hızını yavaşlattığından pek istenmeyen bir proses şeklidir.
- Kurutma hızını arttırmak için sisteme ilave edilen organik fiberler erimeden önce çekerler ve buharın çıkabileceği kanallar oluştururlar[10].

2.4 Dökülebilir Refrakterlerin Üretimi

Dökülebilir refrakterlerin üretimi, temel olarak çok geniş bir partikül boyutu dağılımında bulunan agrega ve matris bileşenlerinin karışımını kapsamaktadır. Agregaların ortalama partikül boyutları 75 µm'den 8 mm'ye kadar değişirken, matris bileşenlerinin ortalama partikül boyutları 0,1 µm'ye kadar düşebilir. Dökülebilir refrakterden servis şartlarında istenen özelliklerin elde edilmesi için bütün bileşenlerin iyi bir şekilde karışmış olması çok önemlidir. Her seferinde iyi performans elde edebilmek için karışımdaki her partikül boyutunun oranları

belirlenerek kaydedilmelidir. Karışımdaki tane boyutu dağılımı ve karışımın homojenliği, dökülebilir refrakterlerin kalitesi üzerinde etkili faktörlerdir[5].

Dökülebilir refrakter üretiminde temelde ilk yapılan işlem kırma ve öğütme işlemleridir. Bu işlemlerle malzeme istenen boyutlara getirilir. Dökülebilir refrakterlerde tane boyutunun ayarlanması çok önemlidir. Kırma ve öğütme işlemlerinden sonra malzeme değişik tane boyutlarına ayrılır. Malzemeyi tane boyutuna ayırmak, üretilen refrakterin yoğunluk, porozite ve mekanik özelliklerinin geliştirilmesinde etkilidir. Tane boyutu ayarlanmasından sonra refrakter agregaları, çimento, su ve gerekli ilaveler karıştırılır. Karıştırma işlemi bittikten sonra, malzeme paketlenip stoklanır. Şekil 2.2'de dökülebilir refrakterlerin üretim akış şeması görülmektedir.



Şekil 2.2. Dökülebilir refrakterlerin üretim akış şeması [11]

2.5 Dökülebilir Refrakterlerin Kullanım Alanları

Geleneksel dökülebilir refrakter üretiminde çoğunlukla kullanılan yüksek saflıkta %70-80 Al_2O_3 'lı çimento ile CaO oranı %3-4' ten aşağı düşmemektedir. [12]

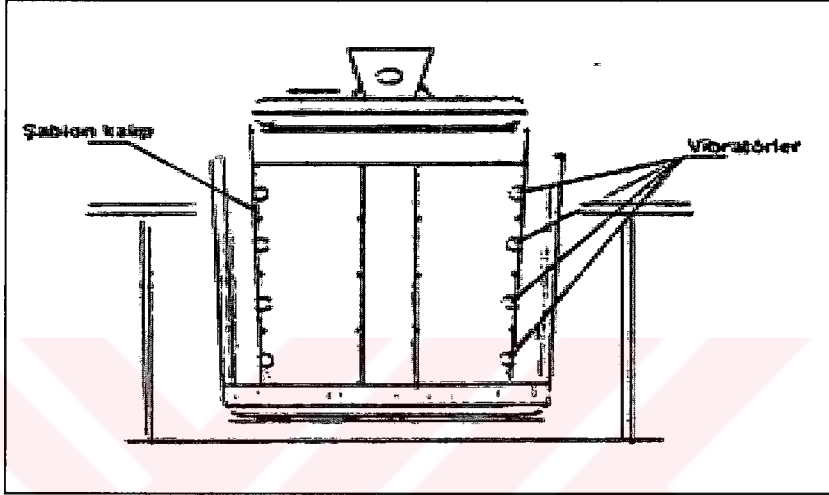
Şekilsiz refrakterler, şekilli refrakterlere nazaran daha yüksek termal şok dayanımı gösterirler. Bunun nedenlerinden biri sinterleşmenin sıcak yüzeyden soğuk yüzeye doğru değişmesidir. Sinterleşme fırının yavaşça ısıtılıp suyun bünyeden uzaklaşması sağlandıktan sonra kullanım esnasında meydana gelir. Sinterleşmesini tamamlayan bölge 1-2 cm.den kalın değildir ve bu bölgenin arkasından itibaren soğuk yüzeye doğru sinterleşme belli bir gradyan izlemektedir. Şekilsiz refrakterlerin şekilli refrakterlerden ayıran bu yapısal farklılık, termal şok nedeniyle oluşabilecek gerilimlerin azalması anlamında sistemi olumlu yönde etkilemektedir. [12]

Refrakter malzemelerin en yoğun olarak tüketildiği sektör olan Demir-Çelik sektörü dökülebilir refrakterlerin gelişmesine yakından tanık olan bir endüstri koludur. Dökülebilir refrakterlerin demir çelik sektöründeki kullanım alanları ve malzeme özellikleri Tablo 2.4'de özetlenmektedir.[13]

Tablo 2.4. Dökülebilir refrakterlerin genel uygulama alanları [14]

Refrakter Matriks	Kimyasal Bileşim				1500 °C'de elde edilen test değerleri			Uygulama alanları
	Al_2O_3	MgO	SiC	H_2O	Hacim Ağırlığı (g/cm ³)	Görünür Porozite (%)	Soğukta Basma dayanımı (N/mm ²)	
Korund	98	-	-	5,5-6,5	3,03	19,8	110	Çelik Endüstrisi
Korund Spinel	95	3	-	6,3-6,9	2,95	20,5	150	Çelik Endüstrisi
Korund Spinel	92	6	-	5,7-6,5	3,00	20,1	170	Monolitik pota örümü
Korund- SiC/C	82	-	15	5,5-6,5	3,10	15,5	120	Yüksek fırın yollukları
Boksit	90	-	-	6,3-6,8	303	16,5	110	E.A.F.
Andaluzit	67	-	10	6,2-6,7	2,77	15,7	100	Tandış astarları
Boksit/SiC	80	-	15	6,0-7,0	2,93	16,7	100	Bakır endüstrisi
Korund/SiC	48	-	50	6,2-6,8	2,85	16,2	100	Demir dışı metal endüstrisi

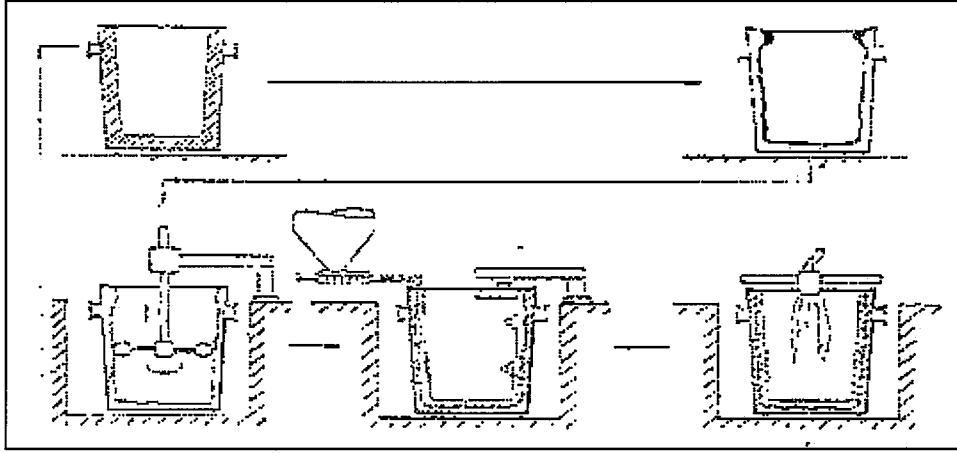
Yüksek fırının tüyer bölgesinde krom oksit esaslı monoblok kullanılır. Bu malzemeler %10 Cr_2O_3 % 1.1 -1.2 kireç içermektedir. Yüksek fırın yolluklarında düşük çimentolu dökülebilir refrakterlerin yansıra. prefabrik bloklar ve dövme harçlar kullanılmaktadır. Bu karışımlar %55-80 Al_2O_3 , % 10-25 SiC ve %5-10C ihtiva etmektedirler. [12] Ayrıca yüksek fırın yolluklarının monolitik örümü dökülebilir refrakterlerin değişik uygulama alanlarından biridir. Şekil 2.3’de monolitik örüm için kullanılan tesisat gösterilmektedir.



Şekil 2.3. Titreşim altında dökülebilir refrakterler ile monolitik pota örümü [15]

Alüminyum endüstrisinde anot üretimi, elektrolit fırınları, transfer fırınları, ergitme ve tutma fırınlarının astarlar düşük çimentolu ve çok düşük çimentolu dökülebilir refrakterlerin uygulama alanları arasında sayılabilir. Çimento fırınları, cam fırın rejeneratörleri. petrokimya endüstrisi dökülebilir refrakterlerin uygulama alanı bulunduğu diğer sektörlerdir. [12]

Çelik pota astarlarının monolitik örümü. Japonya' da gelişim sürecini tamamlayan, Avrupa'da da son senelerde uygulamaları giderek artan bir proses şeklidir. Pota yan duvar ve tabanında dökülebilir refrakterler ile yapılan uygulamalar başarılı sonuçlar vermekte, makine-ekipman, kurutma işlemi, döküm sonrası astarın temizlenmesi ve tamiri gibi hususlar üzerinde çalışmalar sürmektedir. Monolitik örüm için kaliteli ve uygun hammadde tek başına yeterli değildir. Kurulacak ekipmanın astarın homojen biçimde örümü ve kurutma kademelerini gerçekleştirecek yeterlilikte olması gerekmektedir. (Şekil 2.4)

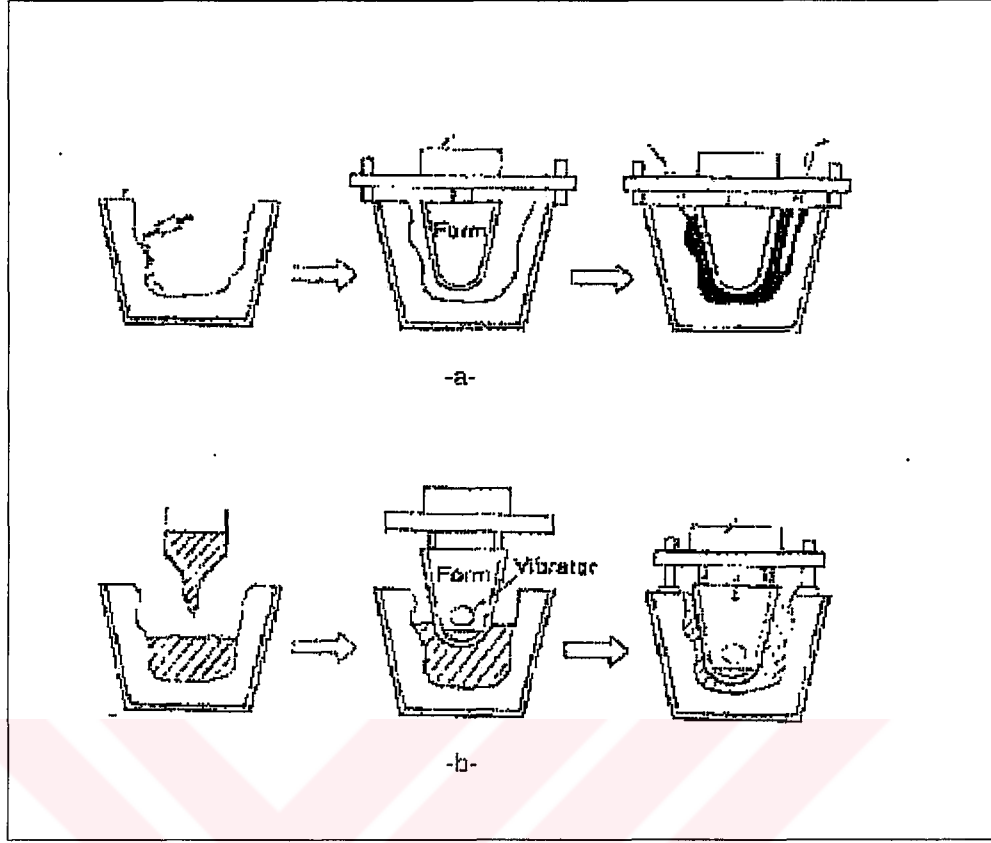


Şekil 2.4 Monolitik pota örümü [13]

dökülebilir refrakterlerin diğer bir uygulama alanı tandişlerdir. Emniyet ve çalışma astarları bir şablon vasıtası ile monolitik olarak örülmektedir. Bu bölgede andaluzit esaslı refrakterler kullanılmakta olup, termal şok dirençleri yüksektir. Mullit dönüşümü nedeniyle uygulama sıcaklığında meydana gelen hacimsel genleşmeler oluşabilecek çatlaklar üzerinde söndürücü etki taşımaktadır [12]

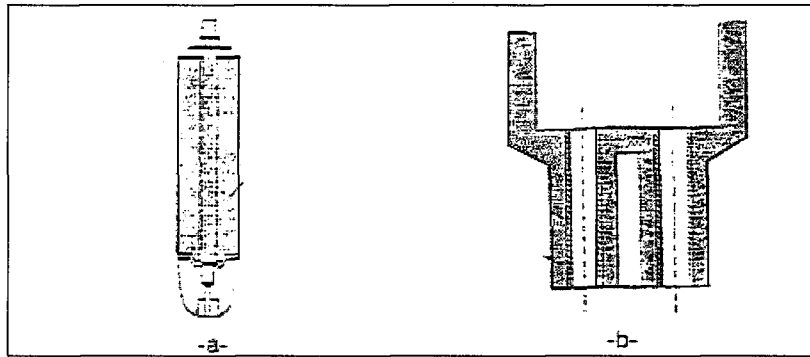
Alüminyum endüstrisinde anot üretimi, elektrolit fırınları, transfer fırınları, ergitme ve tutma fırınlarının astarları düşük çimentolu ve çok düşük çimentolu dökülebilir refrakterlerin uygulama alanları arasında sayılabilir. Çimento fırınları, cam fırın rejeneratörleri. petrokimya endüstrisi dökülebilir refrakterlerin uygulama alanı bulduğu diğer sektörlerdir. [5,16]

Ayrıca yüksek fırın yolluklarının monolitik örümü dökülebilir refrakterlerin değişik uygulama alanlarından biridir. (Şekil 2.5)



Şekil 2.5. Yüksek fırın yollukları monolitik örüm uygulamaları [15]

Oksijen lansları çelik fiber katkılı ve düşük çimentolu dökülebilir refrakterler ile imal edilmektedir. Vakumla gaz giderme prosesi şnorkelleri alümina esaslı prefabrik bloklar ile üretilmektedir. (Şekil 2.6) [12]



Şekil 2.6. a) Gaz üfleme lansı **b)** Degasser ünitesi şnorkel bloğu [12]

3 PARTİKÜL PAKETLENMESİ

Dökülebilir refrakterlerin ana yapısı iri taneli agrega içeriğinden etkilenmektedir. İri taneler arasındaki boşluklar ince, çok ince ve çimento tanelerinden oluşan viskoz bir sıvı ile dolmaktadır. Burada çimento bağlayıcı görevini taşır ve sertleşme sonrası dökülebilir ürünlerin katı faza geçmesini sağlar. Aynı zamanda ince taneli yapısı ile de paketlenme açısından önem taşımaktadır[1].

Maksimum partikül paketlenmesi durumunda viskozite minimuma düşecektir. Maksimum paketlenme geniş tane boyut dağılımları ile sağlanabilir. Öte yandan paketlenmenin maksimum olması durumunda taneler arası temas artacağından yeterli akış özelliklerine ulaşmak için sistem dıştan mekanik bir etkiye ihtiyaç duyabilir. Bunun nedeni ince tanelerin irilerin arasını doldurarak yoğun bir yapıya ulaşması ve tanelerin birbiri üzerindeki hareketini sınırlamasıdır. İri tanelerin miktarı böyle bir sistemdeki akış özelliklerini belirleyen önemli parametrelerden biridir. İri tane oranının azalmasıyla akış özellikleri gelişecektir. Tane paketlenmesi üzerine yapılmış iki temel çalışma, Furnas ve Andreasen'in çalışmalarıdır. Andreasen, dağılımda bütün tane boyutlarının gösterildiği sürekli tane boyut dağılımlarının paketlenmesine temel oluşturduğunu söylemiştir. Furnas'ın çalışması ise, farklı boyutlu tanelerin paketlenmesine temel oluşturmaktadır [13].

Furnas'ın yaklaşımı daha çok ince tanelerin paketlenme üzerine etkisi ile ilgilenmektedir. Furnas'a göre en iyi paketlenme, incelerin irilerin arasına girerek boşlukları doldurması yoluyla gerçekleşebilir. Bu nedenle ince tanelerin sistemdeki varlığı, Furnas denkleminin temelini oluşturmaktadır. Eğer üç farklı boyut varsa; orta boyutlu taneler iri taneler arasındaki boşlukları tamamen doldurmalıdır. İnce taneler ise, orta ve iri boyutlu taneler arasındaki boşluktan tamamen doldurmalıdır. Paketlenmeyi optimize etmek için iri tanelerin çaplarının ince tanelerinkine oranı ideal olarak çok büyük olmalıdır. Formül (3.1)'de Furnas Denklemi belirtilmiştir [16]

$$\frac{CPFT}{100} = \frac{r^{\log D} - r^{\log D_s}}{r^{\log D_l} - r^{\log D_s}} \quad (3.1)$$

D = Tane boyutu

D_s = Karışımındaki en küçük tane boyutu

D_l = Karışımındaki en büyük tane boyutu

CPFT = D'den daha ince olan tanelerin kümülatif yüzdesi

r = Bir elektteki tanelerin hacminin bir sonraki elektteki tanelerin hacmine oranı

Andreasen, Furnas'ın tersine, iri tanelerin paketlenme üzerine etkisini incelemiştir. Furnas denklemi, Andreasen'e göre daha karmaşık olup tamamen teorik temeller üzerine kurulmuştur. Andreasen'in yayını ise yan deneysel bir çalışma olup, tane boyut dağılımları reel olarak ele almaktadır. Andreasen denkleminin bu özelliği pratik olarak daha kullanılabilir gibi gözükmesine neden olmuştur. Andreasen'in paketlenme teorisine ait olan formül (3.2)'de gösterildiği gibidir. [16]

$$\frac{CPFT}{100} = \left(\frac{D}{D_l} \right)^n \quad (3.2)$$

n = Maksimum yığın yoğunluğunun bir sistemi için bileşen boyutlarının sayısı (Tane boyut dağılım modülü)

Furnas'a göre, bir eleğin üzerindeki malzeme miktarının, altındaki eleğin üzerindeki malzeme miktarına oranı sabittir. Dağılımını oluşturmak için önce iri tanelerle başlamış, sonra gittikçe daha ince taneler ilave etmiştir. Andreasen ise, dağılımını oluşturmak için önce ince tanelerle başlamış, sonra gittikçe daha iri taneler ilave etmiştir

Andreasen denklemi, en küçük tane boyutunu (D_s) içermemektedir. Bu yüzden Andreasen denklemi, en küçük boyut tarafında sonsuzluk ifade etmektedir. Andreasen denklemindeki problemin nedeni budur. Çünkü gerçek bir tane boyut dağılımının sonu vardır. Andreasen, dağılımının ilk boyut aralığından daha küçük taneler içermesi gerektiği gerçeğini göz ardı etmiştir. Bu problemin çözümüne yönelik olarak Andreasen denklemi ile Furnas denklemi birleştirilerek yeni bir

bağıntı bulunmuş ve buna da "Değiştirilmiş Andreasen Denklemi" veya "Dinger&Funk Denklemi" adı verilmiştir. (3.3) no'lu formülde gösterilen bu denklem, en küçük tane boyutu (D_s) ilave edilerek Andreasen'in çalışmasının değiştirilmesi ve Furnas denkleminin matematiksel olarak yeniden gözden geçirilmesiyle elde edilmiştir. [9]

$$\frac{CPFT}{100} = \frac{D^n - D_s^n}{D_l^n - D_s^n} \quad (3.3)$$

D_s = Karışımdaki en küçük tane boyutu

D_l = Karışımdaki en büyük tane boyutu

CPFT = D'den daha ince olan tanelerin kümülatif yüzdesi

n = Maksimum yığın yoğunluğunun bir sistemi için bileşen boyutlarının sayısı (Tane boyut dağılım modülü)

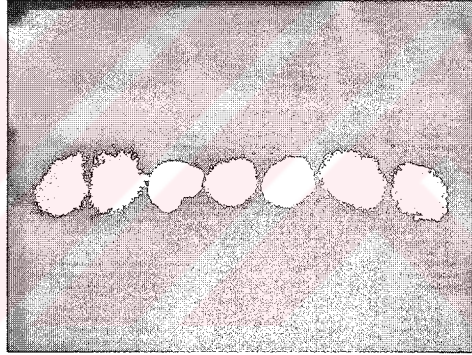
Bu çalışmada tane boyut dağılımı Andreasen denklemine göre $q=0,27$ belirlenmiş ve hazırlanan karışımlarda yukarıda belirtilen q değerine bağlı kalınmıştır.

4 DENEYSEL ÇALIŞMALAR

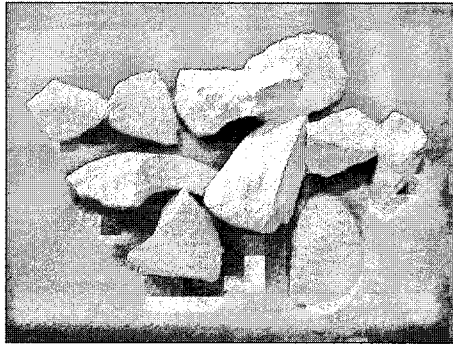
4.1 Kullanılan Hammaddeler ve Özellikleri

4.1.1 Kalsiyum Alüminat

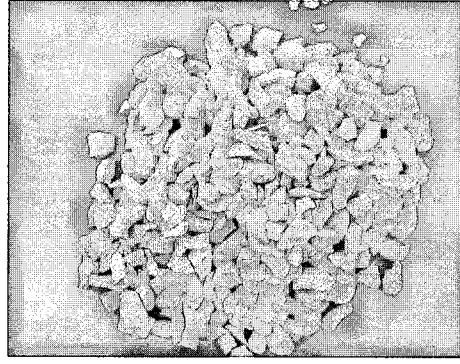
Bu çalışmada ALCOA firmasından temin edilen Şekil 4.1’de de görülen kalsiyum alüminat malzemesi kullanılmıştır. Kalsiyum alüminatın kimyasal analizi ve tipik fiziksel özellikleri Tablo 4.1’de verilmiştir.



Şekil 4.1. Deneylerde kullanılan kalsiyum alüminata ait görüntüler.



Şekil 4.2. Kalsiyum alüminatın 3-6 mm.lik fraksiyonuna ait görüntü

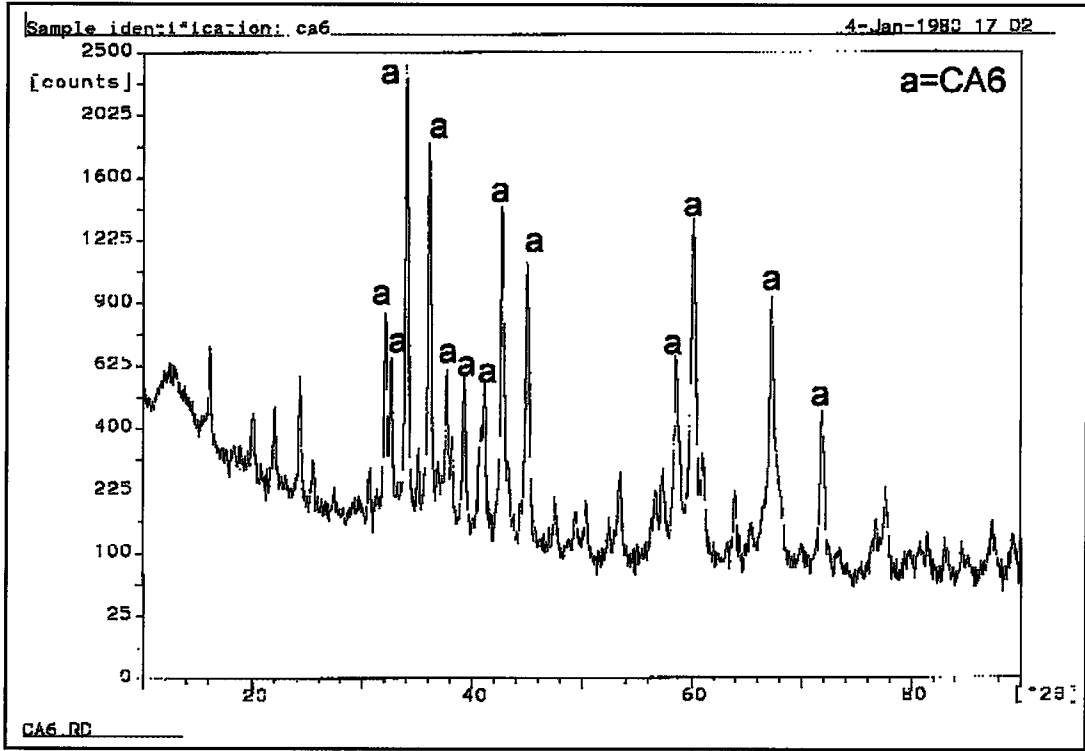


Şekil 4.3. Kalsiyum alüminatın 1-3 mm.lik fraksiyonuna ait görüntü

Tablo 4.1. Deneylerde kullanılan kalsiyum alüminata ait kimyasal bileşim ve fiziksel özellikler

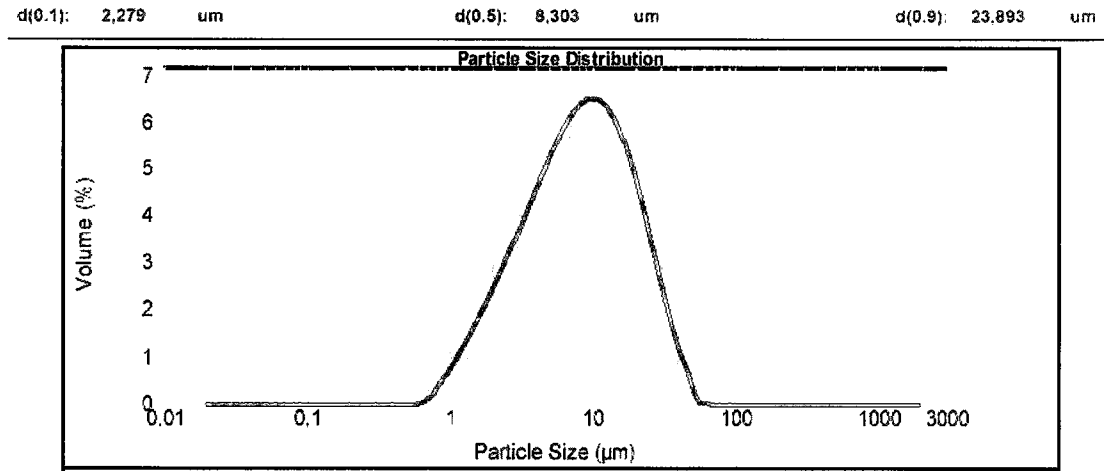
KİMYASAL BİLEŞİM (%)	
Al_2O_3	90
CaO	8,5
Fe_2O_3	0,09
SiO_2	0,9
Fe - Mag.	<0,02
FİZİKSEL ÖZELLİKLER	
Özgül Ağırlık (g/cm^3)	3,0
Görünür Porozite (%)	8,5
Su Emme (%)	2,7

Kalsiyum alüminat üretimi sonunda çeşitli fraksiyonlara kırılarak sınıflandırılmaktadır. Şekil 4.4’de görüldüğü gibi Shimadzu sedimantasyon cihazı ile belirlenen -45 mikron ebadındaki kalsiyum alüminat tanelerinin X ışınları analizinde ana faz kalsiyum alüminat olarak tespit edilmiştir.



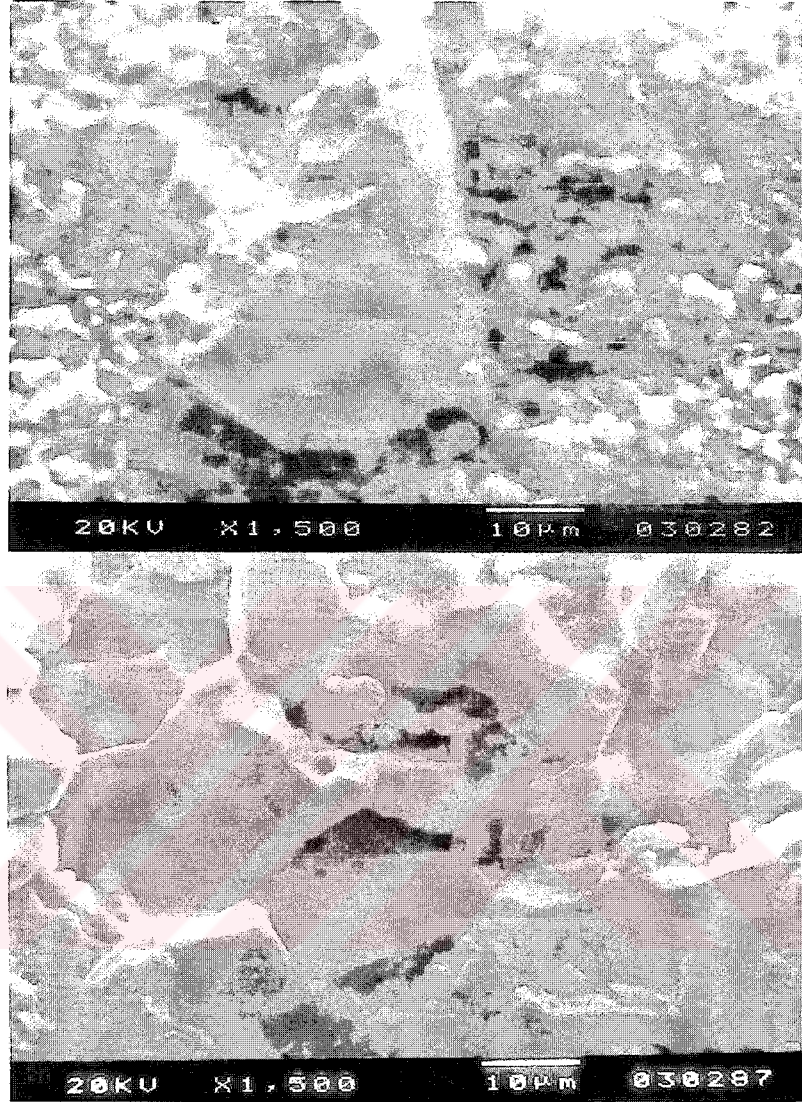
Şekil 4.4. -45 mikron boyutundaki kalsiyum alüminat tanelerine ait X-ışını analiz grafiği

En ince kalsiyum alüminat fraksiyonları -45 mikron ve -20 mikron olarak üretilmektedir. Bu fraksiyonların kendi içindeki tane boyut dağılımı Malvern marka particle sizer (tane boyut ölçüm cihazı) yardımıyla belirlenmiş olup Şekil 4.5’de verilmiştir.



Şekil 4.5. Kalsiyum alüminat -45 mikron boyutundaki fraksiyonuna ait tane boyut dağılım grafiği

Voyager model SEM-EDS elektron mikroskopunda yapılan mikro yapı incelemesinde köşeli taneli kalsiyum alüminat tanelerinin görüntüleri Şekil 4.6'da verilmiştir.



Şekil 4.6. Kalsiyum alüminatın SEM'de çekilmiş mikro yapı fotoğrafları

4.1.2 Magnezyum Alüminat (Spinel)

ALCOA firmasından temin edilen ve deneylerde kullanılan magnezyum alüminata ait fiziksel ve kimyasal özellikler Tablo 4.2'de verilmiştir.

Tablo 4.2. Deneylerde kullanılan magnezyum alüminata ait fiziksel ve kimyasal özellikler

KİMYASAL BİLEŞİM (%)	
Al ₂ O ₃	≥87
MgO	8-11
SiO ₂	≤0,20
Na ₂ O	≤0,38
CaO	≤0,25
Fe ₂ O ₃	≤0,20
FİZİKSEL ÖZELLİKLER	
Özgül Ağırlık (g/cm ³)	≥3,20
Görünür Porozite (%)	≤5,00
Su Emme (%)	

4.1.3 Tabular alümina

Bu çalışmada ALCOA firmasından temin edilen T60 kalite tabular alümina malzemesi kullanılmıştır. Tabular alüminanın kimyasal analizi ve tipik fiziksel özellikleri Tablo 4.3’de verilmiştir.

Tablo 4.3. Deneylerde kullanılan tabular alüminanın kimyasal bileşimi ve fiziksel özellikleri

KİMYASAL BİLEŞİM (%)	
Al ₂ O ₃	>99,4
Na ₂ O	<0,40
CaO	<0,08
SiO ₂	<0,06
Fe ₂ O ₃	<0,03
FİZİKSEL ÖZELLİKLER	
Özgül Ağırlık (g/cm ³)	>3,50
Görünür Porozite (%)	<5,00
Su Emme (%)	<1,43

4.1.4 Reaktif Alümina

Deneylerde, hazırlanan karışımlara katılan reaktif alümina ALCOA firmasından temin edilen CL370C kalitesindedir. Reaktif alüminanın kimyasal analizi Tablo 4.4’de verilmiştir.

Tablo 4.4. Deneylerde kullanılan reaktif alüminaya ait kimyasal bileşim

KİMYASAL BİLEŞİM (%)	
Al ₂ O ₃	>99,7
Na ₂ O	<0,11
Fe ₂ O ₃	<0,03
SiO ₂	<0,05
CaO	<0,02

4.1.5 Çimento

Deneylerde kullanılan çimento ALCOA firmasından temin edilmiş olup kimyasal bileşimi Tablo 4.5’de verilmiştir.

Tablo 4.5 Deneylerde kullanılan çimentonun kimyasal bileşimi ve fiziksel özellikleri

KİMYASAL BİLEŞİM (%)	
Al ₂ O ₃	≥68,5
CaO	≤31,0
SiO ₂	≤0,8
Fe ₂ O ₃	≤0,4
MgO	≤0,5
TiO ₂	≤0,4
K ₂ O+Na ₂ O	≤0,5

4.2 Numunelerin Hazırlanması

4.2.1 Numunelerin Sınıflandırılması

4.2.1.1 A Grubu Karışımlar

Bu aşamada kalsiyum alüminatın çimento ile vereceği reaksiyonların ölçülmesi ve karışımlarda kullanılabilecek optimum çimento miktarının belirlenmesi amaçlanmıştır. Tablo 4.6’da gösterilen karışım oranları ile hazırlanan A grubu numunelerinin özellikleri incelenmiştir. A grubu reçetelerden elde edilecek olan sonuçlar ışığında B grubu karışımlarda kullanılabilecek maksimum çimento miktarı belirlenebilecektir.

Tablo 4.6. A grubu karışım oranları (% ağırlıkça)

MALZEME	ORAN (ağırlıkça %)		
	A ₁	A ₂	A ₃
Kalsiyum Alüminat 6,3-0,045 mm	85	87	89
Reaktif Alümina	8	8	8
Çimento	7	5	3
Dispersan	1	1	1
Su	6	6	6

4.2.1.2 B grubu karışımlar

Kalsiyum alüminatın spinel esaslı karışımlarda nasıl tepki vereceğini görmek amacıyla tasarlanan karışım oranları Tablo 4.8’de verilmiştir. B grubu karışımlarda ana bileşen olarak spinel, köşeli tanelerden oluşan, tane boyutu -45 mikron mertebesinde olan CA₆ ile yine köşeli tanelerden -45 mikron boyutundaki tabular alümina ile oranı karışım içinde birbirine göre göreceli olarak azaltıp arttırılarak kullanılmıştır. Bu şekilde kalsiyum alüminat miktarı artışının karışıma ne şekilde yansıdığı tespit edilmeye çalışılmıştır.

Tablo 4.7. B grubu karışım oranları (% ağırlıkça)

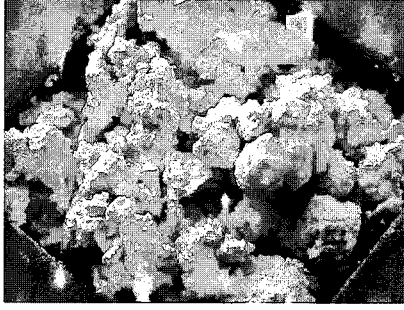
MALZEME	ORAN (ağırlıkça %)						
	B ₀	B ₂	B ₄	B ₆	B ₈	B ₁₀	B ₁₂
Spinel 6,3-0,5 mm	75	75	75	75	75	75	75
Kalsiyum Alüminat -0,045 mm	0	2	4	6	8	10	12
Tabular Alümina -0,045 mm	12	10	8	6	4	2	0
Reaktif Alümina	8	8	8	8	8	8	8
Çimento	5	5	5	5	5	5	5
Dispersan	1	1	1	1	1	1	1
Su	4,7	4,7	4,9	4,9	5,1	5,2	5,2

4.2.2 Numunelerin Üretimi

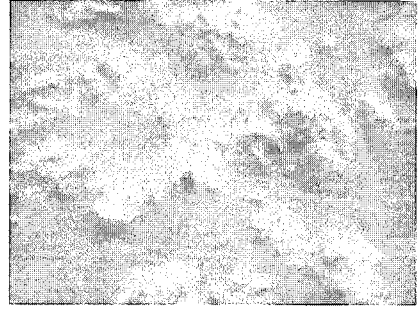
Numuneler Bölüm 2’de anlatılan hammaddeler ve hazırlanan karışım oranlarına göre tasarlanmıştır. Numunelerin tamamı 4.2.1 no’lu bölümde verilmiş olan karışım oranları esas alınarak hazırlanmış, döküm işlemlerinin tamamı titreşim altında yapılmıştır.

Numune gruplarına ait, ağırlıkça yüzde karışım oranlarını gösteren reçetelere göre belli tane boyut aralıklarındaki fraksiyonlar, su ve dispersan tartılıp karışımlara ilave edilmiştir. Her bir reçete için deneylerde kullanılmak üzere 7’şer adet numune dökülmüştür.

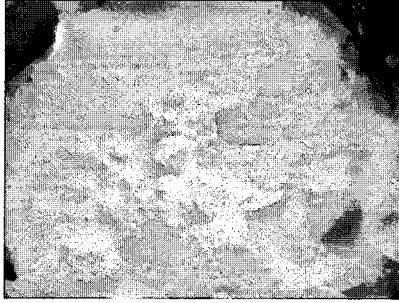
Hazırlanan karışımlara su ilavesinden önce 1-2 dakika kuru karıştırılmış ve bu işlemi takiben kontrollü bir biçimde su ilave edilerek plastiklik sağlanana kadar takriben 3-4 dakika karıştırılmıştır. Bu işlemin ardından Şekil 4.7, Şekil 4.8, Şekil 4.9, ve Şekil 4.10’da görüldüğü gibi 50x50x50 mm ebatlarındaki numune kalıplarına titreşim altında döküm işlemi yapılarak numuneler hazırlanmıştır.



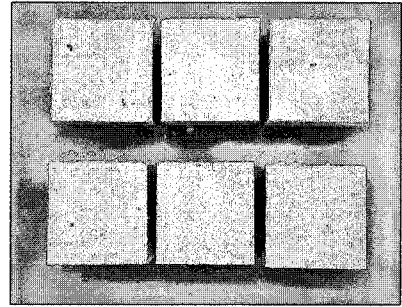
Şekil 4.7. Karışımın titreşimden önceki durumu



Şekil 4.9. Döküm sonundaki karışım



Şekil 4.8. Bir dakika titreşim uygulanmış karışım



Şekil 4.10. Kalıptan çıkan numuneler

Kalıplar vibrasyon masalarına sabitlenmiş olup, titreşim uygulanacak şekilde hazırlanmıştır. Numuneler priz aldıktan sonra kalıptan çıkartılarak, bağlayıcı fazı teşkil eden çimento reaksiyonlarının tamamlanabilmesi için bir süre daha ortam sıcaklığında bekletildikten sonra, 110°C' de 18 saat kurutulmak suretiyle bünyeden çimento ile reaksiyona girmeyen serbest suyun uzaklaşması sağlanmıştır. Kurutma ile birlikte numuneler deneyler için hazır hale gelmiştir.

Kalıplardan çıkan numuneler 50x50x50 mm boyutlarında küp şeklinde olup, porozite, hacim ağırlığı, soğukta basma, mukavemeti gibi özelliklerin belirlenmesinde kullanılmıştır. Bu özelliklerin belirlenirken çıkan sonuçların ortalamaları alınmıştır.

4.3 Numunelere Uygulanan Testler

4.3.1 X-ışınları Difraksiyonu (XRD) Analizi

X-ışınları difraksiyonu ile malzemenin içindeki fazların belirlenebilmesi amaçlanmıştır. Bunun için Rigaku Rint marka X-ışınları difraktometresi kullanılmıştır. -100 mikrometre altına öğütülen numuneler 2°C/dakika hızında ısıtılmış ve elde edilen piklerin analizi yapılmıştır. X-ışınlarına ait sonuçlar Ek 1’de verilmiştir.

4.3.2 Porozite ve Hacim Ağırlığının Belirlenmesi

Porozite miktarı refrakter malzemeler için çok önemli bir parametredir. Genel olarak refrakter malzemelerde porozite miktarının düşük olması istenir. Refrakter malzemelerin porozite miktarının ve yığın yoğunluğunun hesaplanmasında DIN 51056 standardı kullanılır. Hazırlanan numuneler 110°C’de 18 saat kurutulduktan sonra kuru ağırlıkları terazide tartılıp kaydedilip, 2 saat suda kaynatılmıştır. Numunelerin kabın tabanı ile temasını önlemek amacıyla, tabana tel ızgara yerleştirilmiştir. 2 saat sonunda kabın sıcaklığının oda sıcaklığına düşmesi beklenip numunelerin yaş ağırlıkları kaydedilmiştir. Yaş ağırlıkları kaydedilen numuneleri içi su dolu bir kaptaki askıda bekletmek suretiyle askıdaki ağırlıkları da kaydedildikten sonra formül 4.1 ve 4.2 yardımıyla porozite ve hacim ağırlıkları belirlenmiştir.

$$\% \text{ Görünür Porozite} = \frac{W_y - W_k}{W_y - W_a} * 100 \quad (4.1)$$

W_k = Kuru Ağırlık (g)

W_y = Yaş Ağırlık (g)

W_a = Askıdaki Ağırlık (g)

$$\rho_R = \frac{W_k}{W_y - W_a} * 100 \quad (4.2)$$

ρ_R = Yığın Yoğunluğu (g/cm³)

W_k = Kuru Ağırlık (g)

W_y = Yaş Ağırlık (g)

W_a = Askıdaki Ağırlık (g)

4.3.3 Soğukta Basma Mukavemeti

Soğukta basma mukavemeti refrakter malzemeler için en önemli parametrelerden biridir. Bu çalışmada üretilen numunelerin soğukta basma mukavemetleri DIN 51067'ye uygun olarak tespit edilmiştir. Soğukta Basma mukavemetini hesaplamak için kullanılan formül, formül 4.3'de gösterilmiştir.

$$\sigma_{sbm} = \frac{P_{\max}}{F_0} \quad (4.3)$$

σ_{sbm} = Soğukta basma mukavemeti (kg/cm²)

$P_{\max}$ = Kırılma anındaki pres basıncı (kg)

F_0 = Numunenin basınç uygulanan yüzey kesit alanı (cm²)

4.3.4 Termal Şok Dayanımının Belirlenmesi

Termal şok dayanımı endüstride kullanılan refrakter malzemeler için hayati bir önem arz etmektedir. Çelik üretiminin kesintiye uğramaması ve kullanılan ekipmanın zarar görmemesi için refrakterin ani sıcaklık değişimlerine dayanıklı olması gerekmektedir.

Bu çalışmada termal şok dayanım testi 1500°C'de 2 saat pişirilen numunelere uygulanmıştır. Bunun için numuneler 1000°C'de 30 dakika ısıtılmış ve fırından çıkarılıp soğuk suya bırakılmıştır. Numunelerin tabanla etkileşiminin engellenmesi için su kabının tabanına çelik bir plaka yerleştirilmiştir.

4.3.5 Termal Genleşme-Büzülme Oranının Tayini

Refrakterin sıcaklık altında genleşme yada büzülme eğilimi göstermesi refrakterin servis ömrünü önemli ölçüde etkilemektedir. 50x50x50 mm boyutlarında dökülen numuneler 110 °C’de 18 saat kurutulduktan sonra numunenin iki yüzünden alınan boyut ölçüm verileri kaydedilmiş ve 1500°C’de 2 saat pişirildikten sonra tekrar boyut ölçüm testine tabi tutulmuşlardır ve formül 4.4 yardımıyla termal genleşme-büzülme miktarları belirlenmiştir.

$$\% \text{Kalıcı Genleşme-Büzülme} = \frac{B_i - B_s}{n} \quad (4.4)$$

B_i = İlk Boy

B_s = Son Boy

n = Numune sayısı

5 SONUÇLAR VE TARTIŞMA

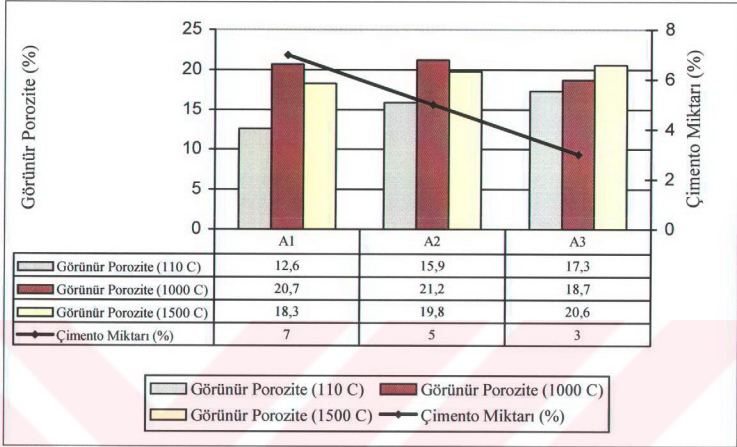
5.1 Çimento Oranının Değişiminin İncelenmesi

Yapılan testler sonucuna A grubu reçetelerden sonuçları optimum olarak değerlendirilen A2 no'lu reçete seçilmiştir. Her ne kadar A1 no'lu reçetenin sonuçları daha iyi gibi gözükse de endüstriyel anlamda refrakterlerde kullanılan çimento oranı malzemenin su ihtiyacını arttırmakta , dolayısıyla priz alma süresini geciktirmekte ve maliyeti arttırmaktadır. Bu nedenlerden ötürü A2 no'lu reçetenin sonuçları daha uygun bulunmuştur.

5.1.1 Yoğunluk ve Poroziteye Etkisi

A grubu reçetelerde çimento oranının kademeli olarak azalmasına karşın görünür porozitede belirgin bir artış ve porozitenin artmasıyla da yoğunlukta belirgin bir düşüş olduğu tespit edilmiştir. Çimento oranının göreceli olarak azalması nedeni ile seramik bağ oluşum mekanizmasının zayıflamasından kaynaklanmaktadır. Çimento ile reaksiyona giren su hidrat fazlarını oluşturmaktadır. Genel olarak 800-1000°C sıcaklıklara kadar refrakter malzemenin yapısında olan hidrolik bağ, daha yüksek sıcaklıklarda yerini seramik bağa bırakır. Ancak yapıda azalan çimento oranı ile bağ yapıcı ana mekanizma zayıflamıştır. Bu sebepten dolayı çimento ile reaksiyona girmeyen su da porozitenin artmasında önemli bir rol oynamıştır. Çimentonun görünür porozite üzerine olan etkisi Şekil 5.1'de görülmektedir. 110°C'deki porozite miktarının 1000°C ve 1500°C'deki porozite miktarından az oluşunun nedeni 110°C'de kurutulan numunelerin içinde hidrolik bağın gelişmemesi ve yapı içerisinde hali hazırda su bulunmasına bağlanılabilir. Nitekim 1500°C'de pişen numunelerde yapıdaki su tamamıyla buharlaştığından ve hidrat fazını seramik fazına dönüşmesinden dolayı ölçülen porozite değeri gerçek porozite değeridir. Bu nedenlerden dolayı 1500°C'deki porozite miktarı 110°C'ye nazaran fazla

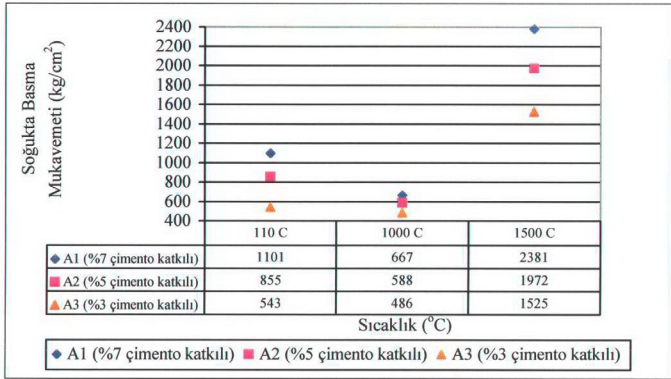
çıkmaktadır. 1000°C'deki porozite değerleri beklendiği üzere yüksek çıkmıştır. 1000°C'lik sıcaklıkta hidrat fazının seramik faza dönüşmeye başlamasından dolayı yapı poroz bir hal alır ki bu durum porozitenin maksimuma ulaşmasına neden olur.



Şekil 5.1. Çimentonun görünür poroziteye olan etkisi

5.1.2 Soğukta Basma Mukavemeti Üzerindeki Etkisi

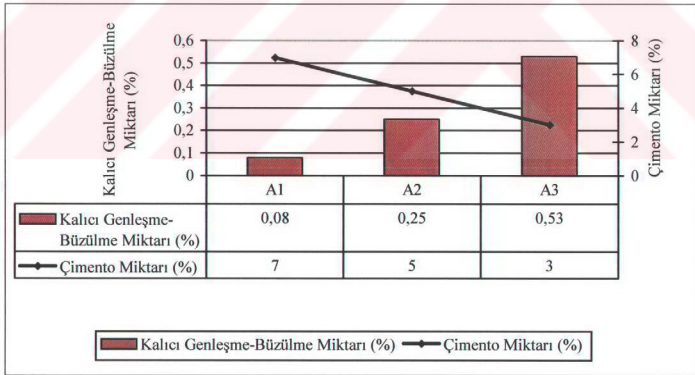
Çimento oranının soğukta basma mukavemetine olan etkisi Şekil 5.6'da verilmiştir. Pişirme sıcaklığı arttıkça malzemenin mukavemetinde düşüş olduğu görülmektedir. Bunun sebebi çimento oranının göreceli olarak azalması nedeni ile hidrat fazının dolayısıyla seramik bağ oluşum mekanizmasının zayıflamasından kaynaklanmaktadır.



Şekil 5.2. Çimento oranının soğukta basma mukavemetine etkisi

5.1.3 Termal Genleşme-Büzülme Üzerindeki Etkisi

Çimento oranının azalması ile A grubu reçetelerinde belirgin bir termal genleşme söz konusu olduğu, çimentonun kalsiyum alüminat fazının genleşme karakteri üzerinde önleyici bir rol oynadığı anlaşılmıştır. Şekil 5.3'de çimento katkısının termal genleşme üzerine olan etkileri görülmektedir.



Şekil 5.3. Çimentonun termal genleşmeye olan etkisi

5.1.4 Termal Şok Dayanımına Etkisi

Seçilen A1, A2, A3 no'lu reçetelerin 1500°C'de pişen numunelerine uygulanan termal şok dayanım testi sonuçlarına göre Şekil 5.4 ve 5.5'den de anlaşılacağı gibi A grubu reçetelerde çimento oranının azalması ile hidrolik bağ mekanizmasının zayıflaması sistemde top yekun bir mukavemet azalmasına neden olmaktadır.

Çimento Miktarı	Çevrim Sayısı	A1	A2	A3
7	1	Çatladı	Çatladı	Çatladı
5	11		İkiye Ayrıldı	İkiye Ayrıldı
3	14	Kenar Kısmından Ayrıldı		

Şekil 5.4. A grubu için termal şok dayanım testi sonuçları

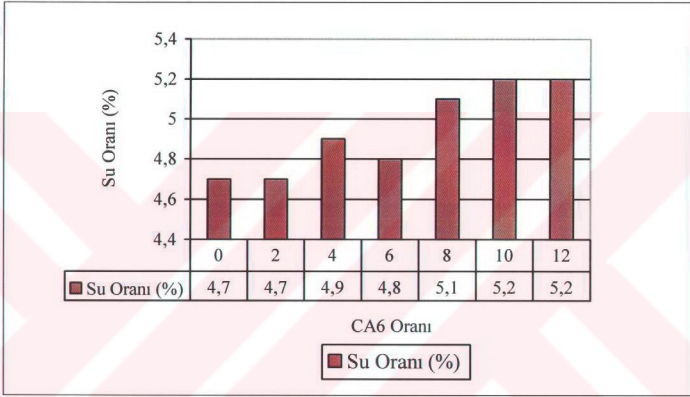


Şekil 5.5. Termal şok dayanım testi sonrası A grubu numunelerine ait görüntüler

5.2 Kalsiyum Alüminat Oranının Etkisinin İncelenmesi

5.2.1 Su Oranına Etkisi

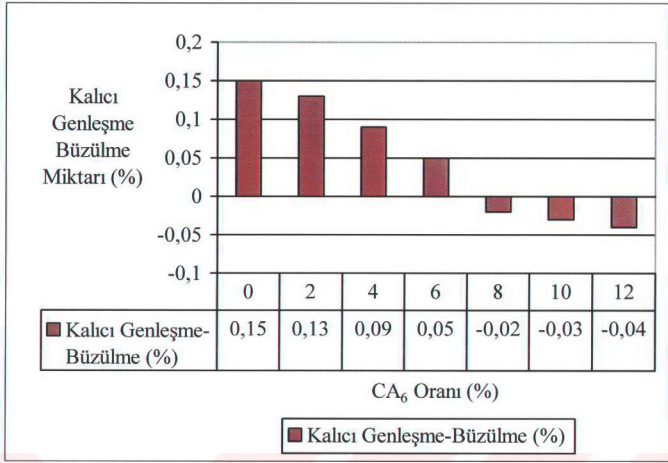
Karışımlarda kullanılan CA₆ miktarına paralel olarak su oranının arttığı gözlemlenmiştir. sentetik kalsiyum alüminat suyu bünyesine hapsedemediği için daha fazla su kullanılması ile akışkan hale gelmektedir. Kalsiyum alüminatın su oranına olan etkisi Şekil 5.6’da verilmiştir.



Şekil 5.6. Kalsiyum alüminat su oranı üzerindeki etkisi

5.2.2 Termal Genleşme Üzerindeki Etkisi

Kalsiyum alüminat katkısının kademeli olarak arttırıldığı B grubu reçetelerde, kalsiyum alüminat oranının artışı ile beraber A grubu reçetelerde görülen genleşmenin aksine Şekil 5.7’den de anlaşılabacağı gibi sistem büzülme eğilimi göstermektedir. Buradan da anlaşılabacağı üzere kalsiyum alüminatın büzülme eğilimi çimento tarafından engellenmektedir. Ancak kalsiyum alüminat oranın arttıkça çimentonun engelleyici etkisi azalmaktadır.



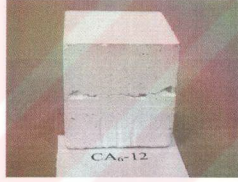
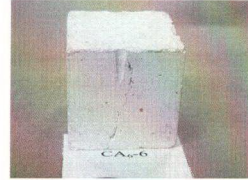
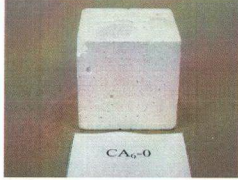
Şekil 5.7. Çimentonun termal genleşme üzerindeki etkisi

5.2.3 Termal Şok Dayanımı Üzerindeki Etkisi

Kalsiyum alüminat etkisinin görülmesi için hazırlanan B grubu reçetelerde artan CA₆ miktarıyla termal şok dayanımında bir azalma söz konusudur. B0 olarak adlandırılan ve içerisinde hiç CA₆ barındırmayan reçete ile içerisinde ağırlıkça %6 Ca₆ barındıran ve B6 olarak adlandırılan reçeteler termal şok dayanım testinde 30 çevrim almıştır. Buna karşın ve B12 no'lu reçete 2 çevrimde çatlamış ve 14. çevrimde ortadan ikiye ayrılmıştır. B grubu reçeteler için termal şok dayanım testi sonuçları Şekil 5.8 ve Şekil 5.9'da verilmiştir.

ÇEVİRİM SAYISI	CA ₆ MİKTARI		
	B-0	B6	B12
1			Çatladı
2		Çatladı	
7	Çatladı		
14	Çatlaklar ilerlemedi	Çatlaklar ilerlemedi	İkiye Aynıldı
30	Sağlam	Sağlam	

Şekil 5.8. B grubu termal şok dayanım testi sonuçları



Şekil 5.9. Termal şok testi sonrası B grubu numunelerine ait görüntüler

5.2.4 Soğukta Basma Mukavemetine Etkisi

B grubu reçetelerde soğukta basma mukavemeti 110°C 'de $629-755 \text{ kg/cm}^2$ arası, 1000°C 'de $409-446 \text{ kg/cm}^2$, 1500°C 'de ise $1329-1471 \text{ kg/cm}^2$ arasında tespit edilmiştir. Kalsiyum alüminat katkısının soğukta basma mukavemeti üzerinde negatif bir etki yaratmadığı anlaşılmıştır.

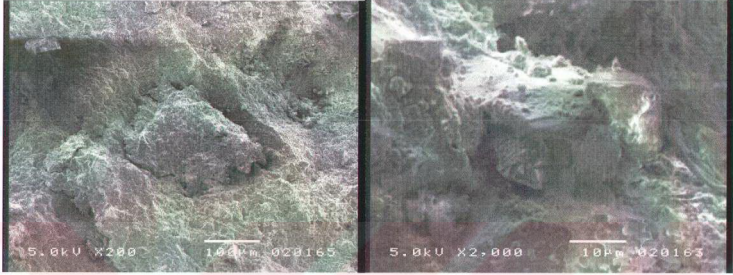
5.3 Mikro yapı İncelemeleri

5.3.1 B Grubuna Ait Mikro yapı İncelemesi Sonuçları

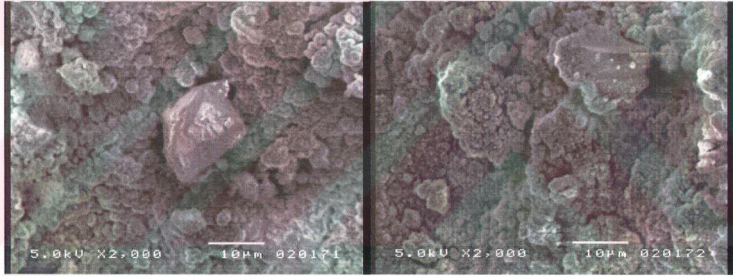
Seçilen B-0, B6 ve B12 no'lu numunelere uygulanan SEM-EDS analizinde B0 numaralı numune B6 ve B12 no'lu numunelerle kıyaslanmıştır. B0 no'lu reçetede ağırlıklı olarak spinel taneleri ve bu taneler etrafında çöreklenmiş halde tabular alümina taneleri görülmüştür. B6 ve B12 no'lu numunelerde ise CA_6 tanelerinin

tabular alümina tanelerinin yerini alarak spinel tanelerini çevrenmiş olduğu görülmüştür.

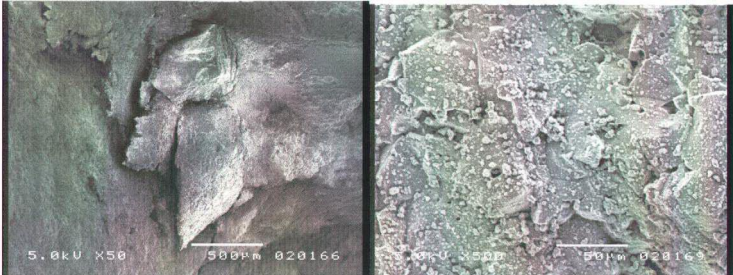
Bu durum yapının daha mukavim olmasının yanında termal şok dayanımını da olumlu yönde etkilemektedir. SEM analizine ait görüntüler Şekil 5.10, Şekil 5.11 ve Şekil 5.12’de verilmiştir.



Şekil 5.10. B-0 no'lu numuneye ait SEM analiz sonuçları



Şekil 5.11. B6 no'lu reçeteye ait SEM analiz sonuçları



Şekil 5.12. B12 no'lu reçeteye ait SEM analiz sonuçları

5.4 B Grubu Numunelerinin X-ışınları Analizi Sonuçları

Rigaku ritz marka X-ışınları cihazında yapılan incelemeye göre kalsiyum alüminatın spinel çevresinde bir alan oluşturduğu, düşük ergime noktasına sahip diğer CA fazlarının ise sistemde yer almadığı saptanmıştır. 110°C, 1000°C, 1500°C’de pişen B grubu numunelerine ait X-ışınları analizi sonuçları Ekler bölümünde verilmiştir.

6 DEĞERLENDİRME

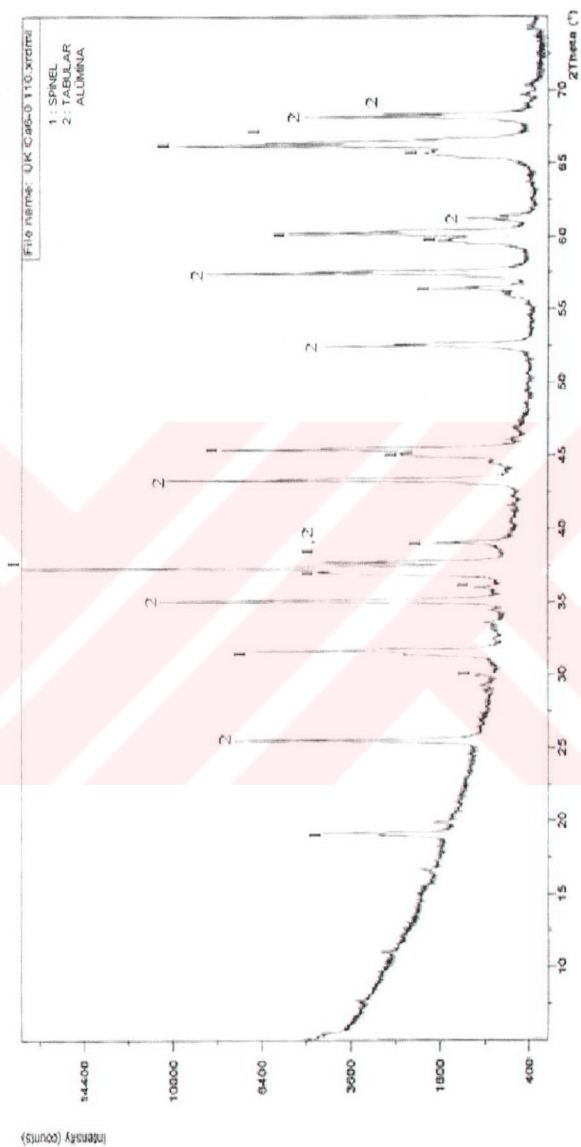
1. Çimento oranının kalsiyum alüminat esaslı malzemeler üzerinde hayati bir önemi olduğu saptanmıştır. Kalsiyum alüminatın %5 çimento oranı ile kullanılması optimum sonuçlar verecektir.
2. Doğada bulunan kalsiyum alüminatların sahip olduğu düşük ergime sıcaklıklarının aksine reçetelerde kullanılan kalsiyum alüminatın 1500°C’de bile düşük ergiyen faza neden olmadığı görülmüştür.
3. Kalsiyum alüminatın %6’dan fazla oranlarda kullanılması sistemi olumsuz yönde etkilemeye başladığı tespit edilmiştir.
4. Maksimum %6 oranında sisteme ilave edilen kalsiyum alüminat ilavesi termal şok dayanımını olumlu yönde etkilemektedir.
5. Artan kalsiyum alüminat miktarı sistemin su ihtiyacını arttırmakta ve priz alma süresinin uzamasına neden olmaktadır.
6. %10 kalsiyum alüminat oranının sistemde bir doyum noktası olması ihtimali güçlüdür. Bunun daha detaylı bir biçimde incelenmesi gerekmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] **Myre, B.** The Effect of Particle Size Distribution on Flow of Refractory Castables. Eklem Refractories. (1994)
- [2] **Myre, B., Sunde, K.** Tabular Alümina Based Refractory Castables-Part 1, The fine art of Eklem Refractories, April (1992)
- [3] **Özen, İ.**, Haziran 1998, Magnezit-Karbon refrakterlerde granülasyon İncelemesi ve Antioksidan Katkısı, *Yüksek Lisans Tezi*. İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü
- [4] **Hart, L. D.**, Production Processes , Properties and Applications for Tabular alumina Refractory Agregates. Alümina Chemicals Science and Thecnology Handbook. (1990), p.109-170
- [5] **Banerjee, S.**, 1998, Monolithic refractories. World Scientific Publishing.
- [6] **Roy, J.M., Tingley, L.R.**, High Performance Aluminas for Refractories, Interceram, Vol.43. No.4 (1994), p.236-239
- [7] **Sen, Y.**, Self Flowing Castables, the American Ceramic Society Bulletin, Vol.74, No.9 (september 1995), p.117-118
- [8] **Doskov, K., Wöhrmeyer C., Parr, C., Bier, A.T.**, Calcium Aluminate Cements for Monolithic Refractories, Lafarge p.141-149
- [9] **Karadeniz, E.**, Alümina Esaslı Düşük çimentolu Kendi Kendine Akabilen Dökülebilir Refrakterlerin İncelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*. İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü
- [10] **Banerjee, S.**, 1993, Thermal and Corrosion Properties of Monolithic Refractories for Iron and Steel Applications, Key Engineering Materials, Vol.88, 1-20.

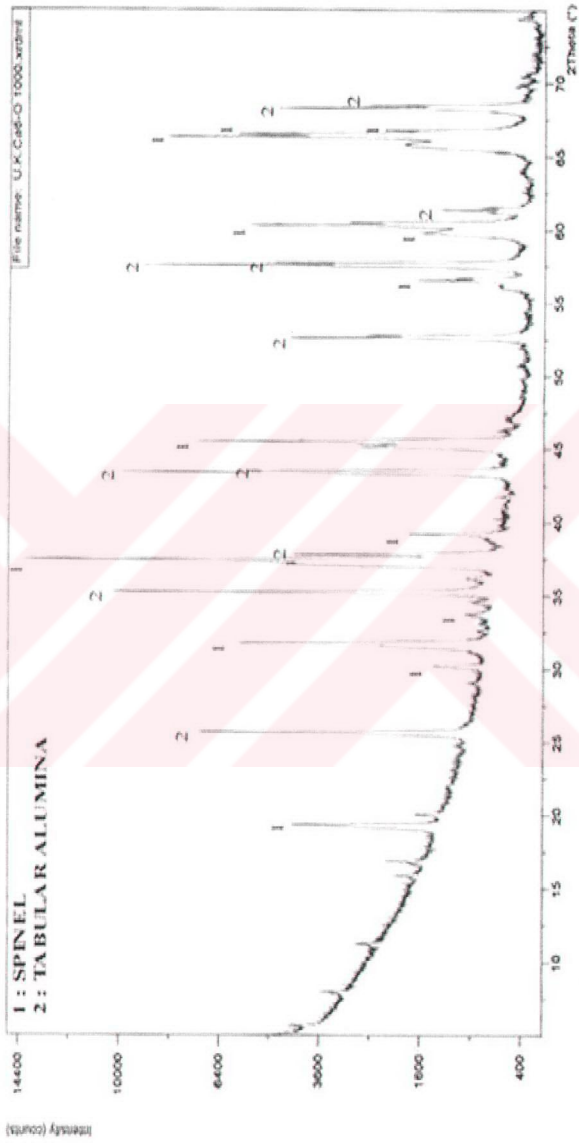
- [11] **The Technical Association of Refractories**, 1998, Refractories Handbook
- [12] **Kröner, W., Schumacher, U.** New Developments on Low and Ultra-Low-Cement Castables, Aachen Proceedings, s.12-18, (1998)
- [13] **Durmuş, Ç.**, Alümina Esaslı Dökülebilir Refrakterlerin geliştirilmesi, *Yüksek Lisans Tezi*. İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü
- [14] **Bugajski, M., Schwaiger, R.** Self Flowing Castables – A New Type of Unshaped Refractory Products. 1/1996, p.44-52
- [15] **Hey, A., Gregory, S.J., Hutchesson, G.S., Pickard, D.M., Taylor, D.S., Tomlinson, S.B.**, Applications of Engineered Castable Systems to Refractory Linings in the Steel Industry, 39. International Colloquium on Refractories. (October 1996), p.104-107
- [16] **Dinger, D.R., Funk, J.E.**, Discrete versus Continuous Particle Sizes Part III, Interceram Vol.41 No.5 (1992) P.332-334

EK-1



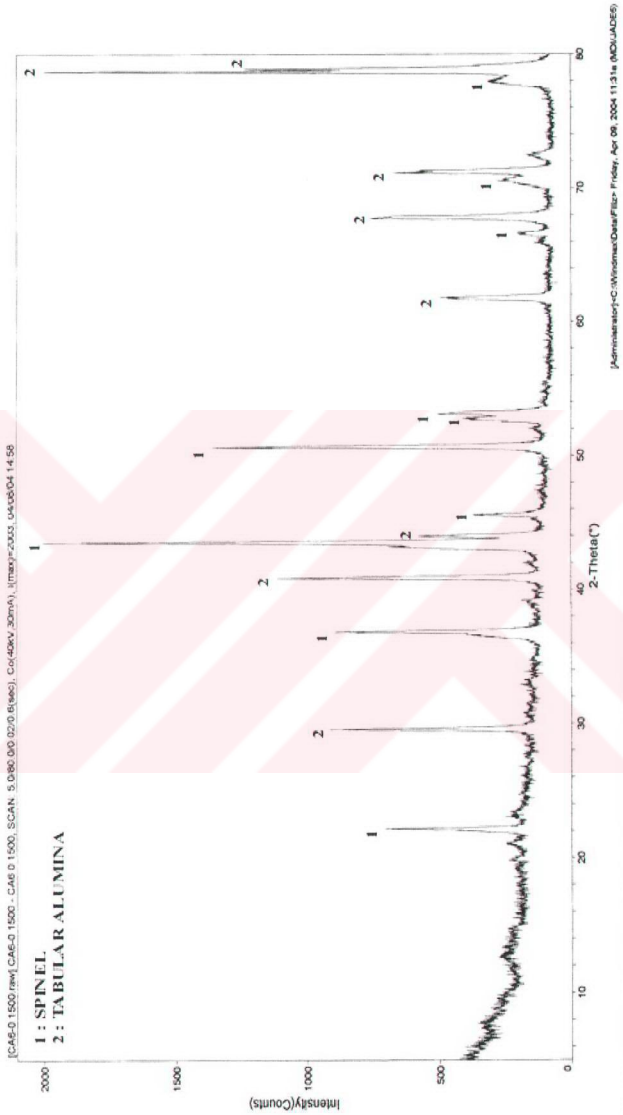
Sekil 1-A. 110°C'de pisen B-0 no'lu receteye ait XRD analizi sonucu

EK-1-B



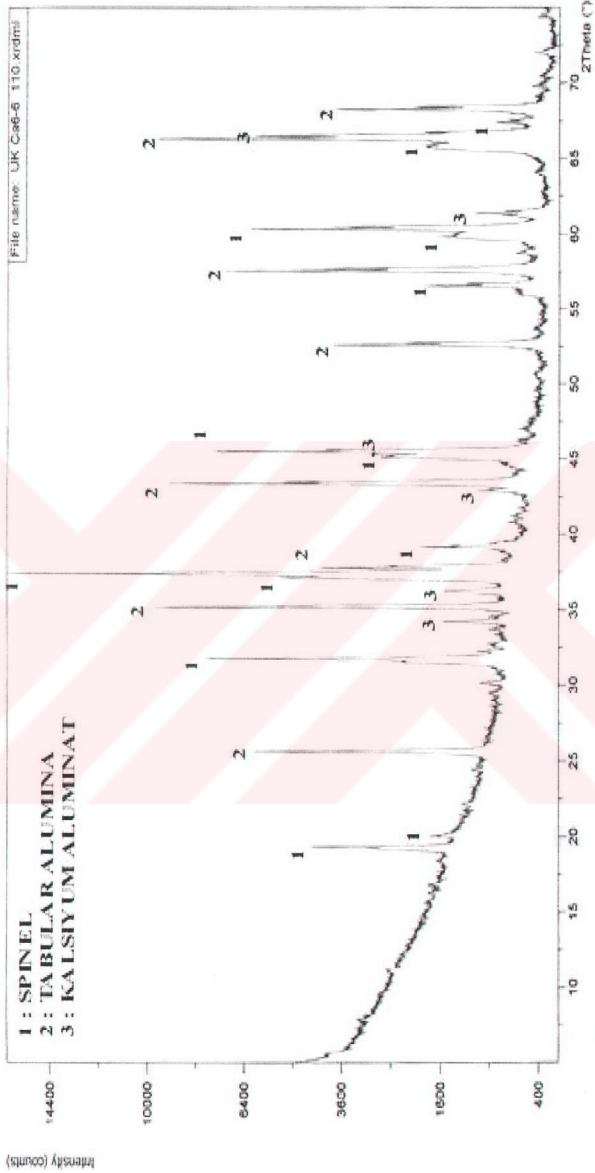
Şekil 1-B. 1000 °C'de pişen B-0 numaralı reçeteye ait XRD analizi sonucu

EK-1-C



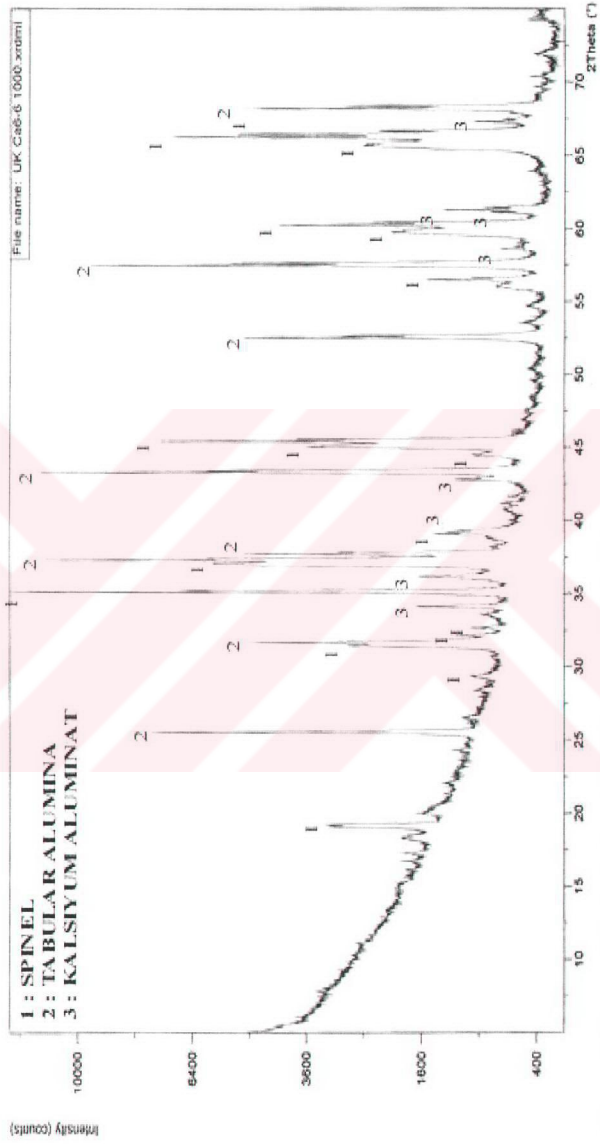
Şekil 1.C. 1500 °C'de pişen B-0 no'lu reçeteye ait XRD analizi sonucu

EK-2-A



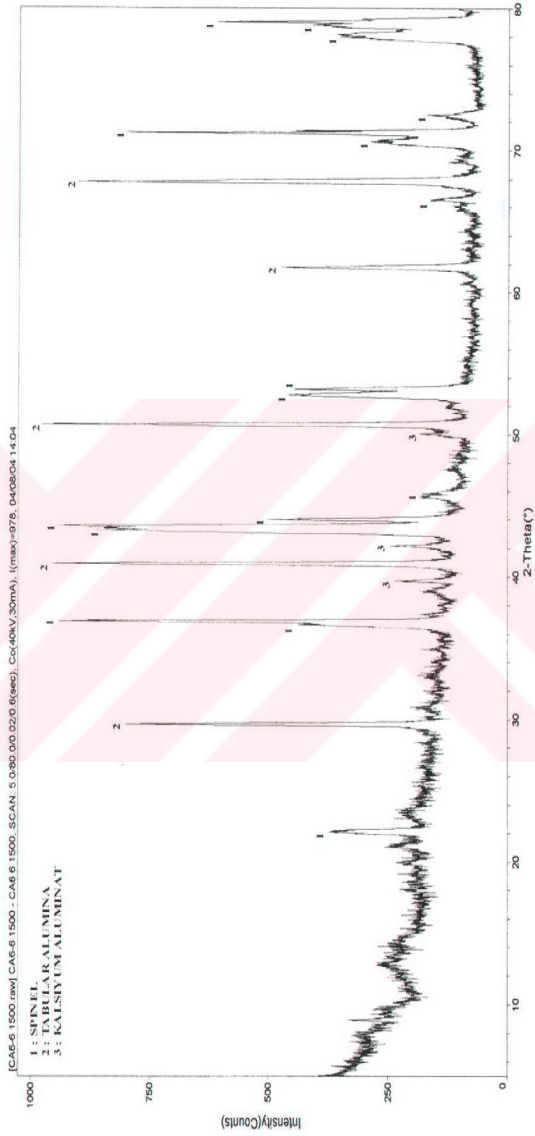
Şekil 2.A. 110 °C'de pişen B6 no'lu reçeteye ait XRD analizi sonucu

EK-2-B



Şekil 2.B. 1000 °C'de pişen B6 no'lu reçeteye ait XRD analizi sonucu

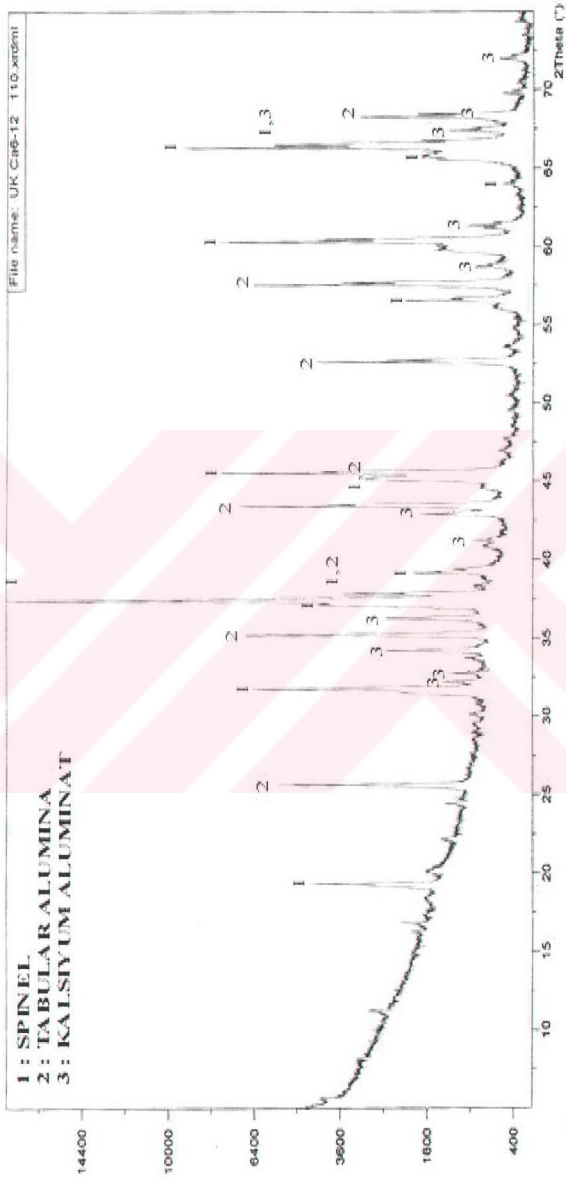
EK-2-C



[Administrator] C:\WinMvcsData\Filez - Friday, Apr 09, 2004 11:31:16 (MDL\AD68)

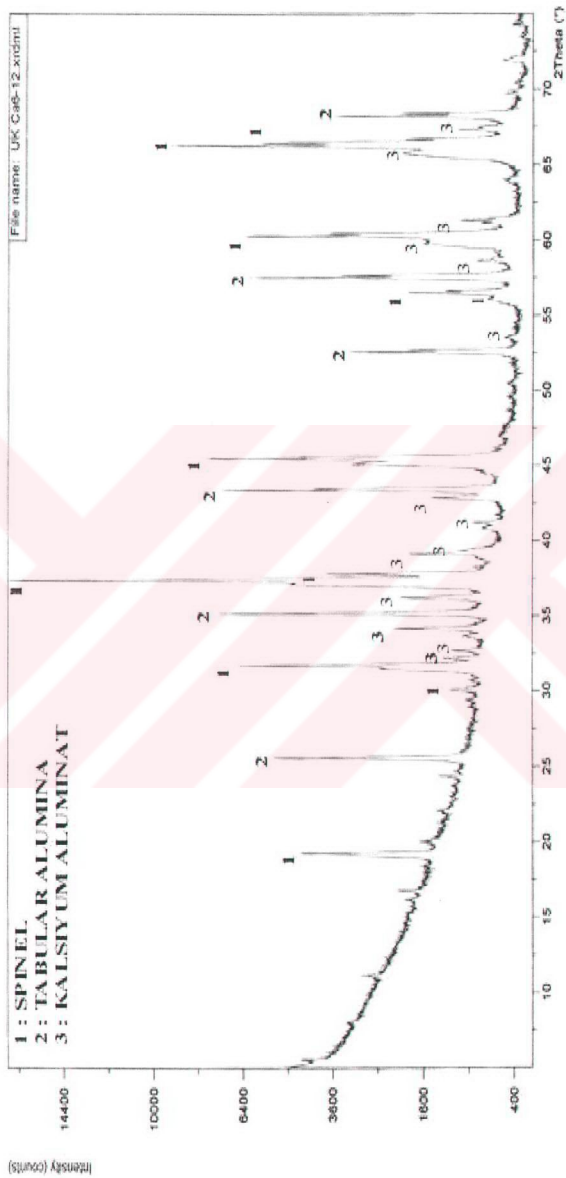
Şekil 2.C. 1500 °C'de pişen B6 no'lu reçeteye ait XRD analizi sonucu

EK-3-A



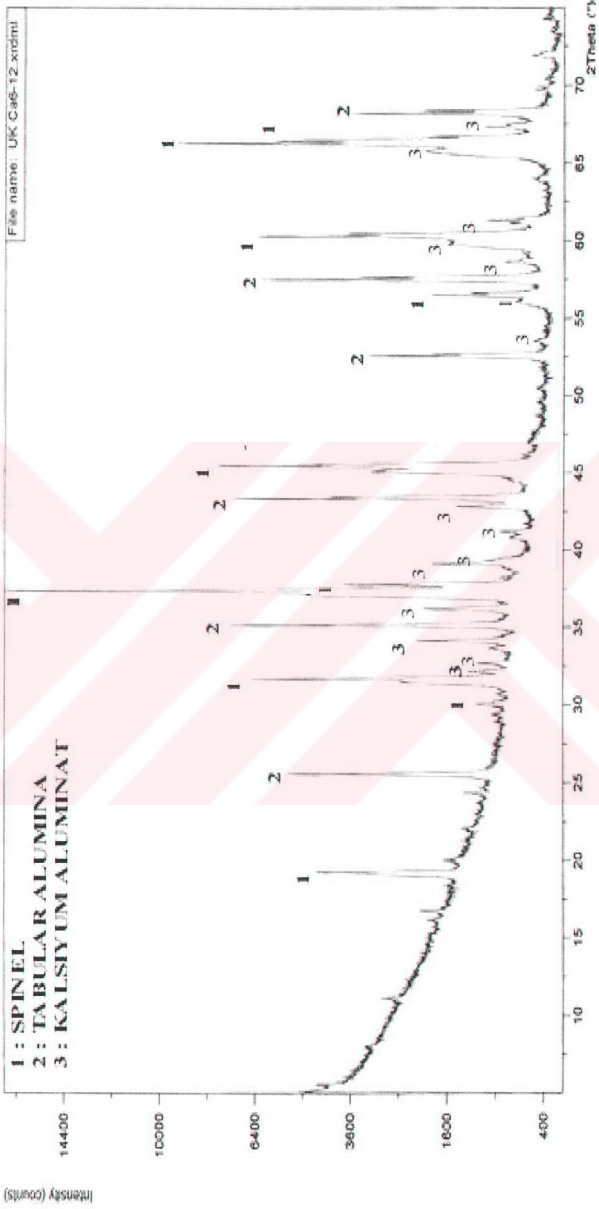
Şekil 3.A. 110 °C’de pişen B12no’lu reçeteye ait XRD analizi sonucu

EK-3-B



Şekil 3.B. 1000 °C'de pişen B12no'lu reçeteye ait XRD

EK-3-C



Şekil 3.C. 1500 °C'de pişen B12no'lu reçeteye ait XRD analizi

ÖZGEÇMİŞ

1979 Çanakkale doğumludur. Liseyi İbrahim Bodur lisesinde bitirdikten sonra 1997 yılında girdiği Dumlupınar Üniversitesi Seramik Mühendisliği bölümünden 2002 yılında mezun olmuştur.

2002 bahar döneminde İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Seramik Mühendisliği Bölümünde Yüksek Lisans eğitimine başlamıştır. Halen METAMİN MÜMESSİLLİK A.Ş.'de tez çalışmalarına devam etmektedir.