ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Selin YARBİL

REFRAKTER TUĞLA ÜRETİMİNDE KULLANILAN HAMMADDELERİN VE REFRAKTER TUĞLALARIN BAZI TEKNOLOJİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

MADEN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ADANA, 2012

ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

REFRAKTER TUĞLA ÜRETİMİNDE KULLANILAN HAMMADDELERİN VE REFRAKTER TUĞLALARIN BAZI TEKNOLOJİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Selin YARBİL

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MADEN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Bu Tez 17/10/2012 Tarihinde Aşağıdaki Jüri Üyeleri Tarafından Oybirliği/~~Oyçokluğu~~ ile Kabul Edilmiştir.

……	……	……
Prof. Dr. Mesut ANIL	Prof. Dr. Suphi URAL	Doç. Dr. Ahmet Mahmut KILIÇ
ÜYE	ÜYE	ÜYE
……..	……	
Doç. Dr. Özen KILIÇ	Yrd. Doç. Dr. Nergis KILINÇ MİRDALI	
DANIŞMAN	ÜYE	

Bu Tez Enstitümüz Maden Mühendisliği Anabilim Dalı'nda hazırlanmıştır.
Kod No:

Prof. Dr. Selahattin SERİN
Enstitü Müdürü

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

ÖZ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

REFRAKTER TUĞLA ÜRETİMİNDE KULLANILAN HAMMADDELERİN VE REFRAKTER TUĞLALARIN BAZI TEKNOLOJİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Selin YARBİL

ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MADEN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Danışman : Doç. Dr. Özen KILIÇ
Yıl: 2012, Sayfa: 87
Jüri: : Prof. Dr. Mesut ANIL
: Prof. Dr. Suphi URAL
: Doç. Dr. Ahmet Mahmut KILIÇ
: Doç. Dr. Özen KILIÇ
: Yrd. Doç. Dr. Nergis KILINÇ MİRDALI

Yapılan tez çalışması ile refrakter hammaddeler ve bu hammaddelerin farklı oranlarda birleşerek meydana getirdiği refrakter tuğlaların özellikleri incelenmiştir. İnceleme Remsan A.Ş.'nin kullandığı hammaddeler ve üretilen refrakter tuğlalar üzerinde yoğunlaştırılmıştır. İlk aşamada, refrakter tuğla bünyesine giren bazı hammaddelerin kimyasal ve mineralojik özellikleri belirlenmiştir. Ardından değişik oranlarda refrakter hammaddeler ve katkılar kullanılarak Remsan A.Ş. tarafından üretilen refrakter tuğlaların (REMGUN 60 SİC 10GG, LOWCAST 75, LOWCAST 70 SİC, LOWCAST 70 ZR, LOWCAST 70 SİC, LOWCAST 60 SİC ve LOWCAST 50) kimyasal, mineralojik, petrografik özellikleri ile sonik hız ve tek eksenli basma dayanımı değerleri belirlenmiştir. İncelemeler sonucunda, refrakter tuğlaların bileşimlerine giren malzemelere bağlı olarak farklı sıcaklıklarda kullanılabilir olduğu ve dayanımlarının değişiklik gösterdiği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Refrakter Tuğla, Kimyasal Özellik, Mineralojik Özellik, Petrografik Özellik, Tek Eksenli Basma Dayanımı

ABSTRACT

MSc THESIS

INVESTIGATION OF RAW MATERIALS USED IN THE PRODUCTION OF REFRACTORY BRICK AND SOME TECHNOLOGICAL PROPERTIES OF REFRACTORY BRICK

Selin YARBİL

CUKUROVA UNIVERSITY
INSTITUTE OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES
DEPARTMENT OF MINING ENGINEERING

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Özen KILIÇ
Year: 2012, Page: 87
Jury : Prof. Dr. Mesut ANIL
: Prof. Dr. Suphi URAL
: Assoc. Prof. Dr. Ahmet Mahmut KILIÇ
: Assoc. Prof. Dr. Özen KILIÇ
: Asst. Prof. Dr. Nergis KILINÇ MİRDALI

In this thesis study, refractory raw materials and the bricks produced by union of these raw materials in different proportions are examined. The examination is focused on the raw materials used by REMSAN Inc. and the produced refractory bricks. First, chemical and mineralogical properties of some raw materials kind of refractory bricks are determined. Then, chemical, mineralogical, petrographic properties, sonic velocity and unaxial compressive strength values of refractory bricks (REMGUN 60 SİC 10GG, LOWCAST 75, LOWCAST 70 SİC, LOWCAST 70 ZR, LOWCAST 70 SİC, LOWCAST 60 SİC ve LOWCAST 50) 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 endurances according to materials contained.

Keywords: Refractory Brick, Chemical Property, Mineralogical Property, Petrographic Property, Unaxial Compressive Strength

TEŞEKKÜR

Çukurova Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü Anabilim Dalı'nda yapmış olduğum Yüksek Lisans çalışmamda bilgi ve tecrübeleriyle beni yönlendiren, karşılaştığım sorunlara çözüm üreterek, çalışmalarımın olabildiğince sağlıklı sürmesini sağlayan değerli danışman hocam Sayın Doç. Dr. Özen KILIÇ'a teşekkürü bir borç bilirim.

Çalışmalarım sırasında tüm laboratuar imkanlarından faydalanmama olanak sağlayan hammade ve ürünlerini kullandıran REMSAN A.Ş. Genel Müdürü Sayın Faik IŞIKÇI'ya, REMSAN A.Ş. laboratuar sorumlusu Sayın Fehmi KULA'ya ve tüm REMSAN A.Ş. çalışanlarına, Ç.Ü. Müh.-Mim. Fak. Maden Mühendisliği Bölüm Başkanı Sayın Prof. Dr. Suphi URAL'a, Sayın Yrd. Doç. Dr. Nil YAPICI'ya, Sayın Yard. Doç. Dr. Ahmet TEYMEN'e Sayın Arş. Gör. Onur Dağhan DAÇE'ye kimyasal analizlerde yardımlarından dolayı Sayın Emrah SARIKAYA'ya teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER **SAYFA**

ÖZ I
ABSTRACT II
TEŞEKKÜR III
İÇİNDEKİLER IV
ÇİZELGELER DİZİNİ X
ŞEKİLLER DİZİNİ XIV
1. GİRİŞ 1
2. REFRAKTER MALZEMELER 3
2.1. Refrakter Malzemelerin Genel Özellikleri 4
2.1.1. Kimyasal ve Mineralojik Yapı 4
2.1.2. Genişleme ve Çekme 5
2.1.3. Yoğunluk ve Porozite 5
2.1.4. Fırın Sıcaklığında Basınca Direnç 5
2.1.5. Isıl Özellikler 5
2.1.6. Isıl Çatlama ve Parçalanma 6
2.1.7. Mekanik Dayanıklılık 6
2.2. Refrakter Malzemelerin Sınıflandırılması 6
2.2.1. Refrakterlerin Fiziksel Sınıflandırılması 7
2.2.2. Refrakterlerin Kimyasal Yapıya Göre Sınıflandırılması 8
2.2.2.1. Asidik Karakterli Refrakterler (Alümina-Silikat Grup) 8
2.2.2.2. Nötral Karakterli Refrakterler 9
2.2.2.3. Bazik Karakterli Refrakterler 9
2.2.3. Hammadde Orijinine Göre Sınıflandırma 9
2.2.4. Ergime Noktasına Göre Sınıflandırma 10
2.3. Üretim Metoduna Göre Refrakter Malzemeler (Tuğla ve Monolitikler) 10
2.3.1. Alümina-silikat Refrakter Malzemeler (Tuğla ve Monolitikler) 11
2.3.1.1. Yüksek Alümina 11
2.3.1.2. Şamot 13
2.3.1.3. Semi-silika (Yarı Silika) 14

2.3.1.4. Silika 14
2.3.1.5. İzolasyon 15
2.3.1.6. Aside Dayanıklı Refrakterler 16
2.3.1.7. Özel Tip Refrakterler 16
2.3.1.7.(1). Silikon-Karbid 16
2.3.1.7.(2). Karbon 17
2.3.1.7.3. Zirkon ve Zirkonya 17
2.3.1.7.(4). Fused Granüle 17
2.3.1.7.(5). Ergimiş Döküm Tuğlası 17
2.3.1.8. Bazik Refrakter Malzemeler (Tuğla ve Monolitikler) 18
2.3.1.8.(1). Magnezit 19
2.3.1.8.(2). Magnezit-krom 21
2.3.1.8.(3). Magnezit-karbon 22
2.3.1.8.(4). Ziftli-Zift Emprenye 23
2.3.1.8.(5). Dolomit 24
2.3.1.8.(6). Forsterit 25
2.3.1.9. Seramikler 26
2.3.1.9.(1). Taşıl Seramikleri 26
2.3.1.9.(2). Vicro Seramikler 26
2.3.1.9.(3). Özel Seramikler 26
2.3.1.9.(3).(a). Sinter Korund (Korundum) 26
2.3.1.9.(3).(b). Silisyum Karbür 27
2.3.1.9.(3).(c). Karbon Refrakter 27
2.3.1.9.(3).(d). Porselen 27
2.4. Refrakter Malzemelerin Teknik Özellikleri 28
2.4.1. Mukavemet 28
2.4.2. Isıl İletme Katsayısı 29
2.4.3. Isıl Genleşme Katsayısı 30
2.4.4. Isıl Şok Dayanımı 30
2.5. Üretim ve Tüketim 30
2.5.1. Teknoloji ve Üretim Yöntemi 30

2.5.1.1. Şekilli Refrakterler (Tuğla) 31
2.5.1.1.(1). Alümino-Silikat 31
2.5.1.1.(2). Silika Tuğlalar 31
2.5.1.1.(3). Grafitli Reçine Bağlı Alümina ve Magnezit Tuğlalar 32
2.5.1.1.(4). Silisyum Karbür Tuğla 32
2.5.1.1.(5). Bazik Refrakter Tuğlalar 32
2.5.1.1.(6). Ziftli Tuğlalar 33
2.5.1.2. Şekilsiz Refrakterler (Harç veya Monolitik) 33
2.5.1.3. Prefabrik Refrakter Elemanları 34
2.5.2. Teknoloji ve Refrakter Hammaddeler 34
2.5.2.1. Gelişmeler ve Yönelimler 35
2.5.2.2. Popüler Refrakter Hammaddeler 37
2.6. Yurtiçi Tüketimi 39
2.7. Avrupa Birliği Refrakter Sanayisi Profili 39
3. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR 41
4. MATERYAL VE METOD 43
4.1. Materyal 43
4.1.1. Refrakter Yapımında Kullanılan Hammaddeler ve Özellikleri 43
4.1.1.1. Toz Halinde Refrakterin İçinde Kullanılan Hammadde Özellikleri 43
4.1.1.1.(1). Boksit (Al_2O_3 NH_2O) 43
4.1.1.1.(2). Olivin 44
4.1.1.1.(3). Alümina Silikat 44
4.1.1.1.(4). Silika 44
4.1.1.1.(5). Kil 44
4.1.1.2. Değişik Bileşenlerle Oluşturulan Refrakter Tuğlalar 45
4.3.1. Refrakter Tuğla Deney Numunelerinin Tanımları 47
4.3.1.1. Remlowcast 50 Vibration Castable 47
4.3.1.2. Remlowcast 60 SİC 55 Vibration Castable 47
4.3.1.3. Remlowcast 60 SİC Vibration Castable 47

4.3.1.4. Remlowcast 60 Vibration Castable 47
4.3.1.5. Remgun 60 SİC 10 Gg Gunning Castable 48
4.3.1.6. Remlowcast 75 Vibration Castable 48
4.3.1.7. Remlowcast 70 SİC Vibration Castable 48
4.3.1.8. Remlowcast 70 Zr Vibration Castable 48
4.3.1.9. Remlowcast 70 SİC Vibration Castable 49
4.3.1.10. Remlowcast 60 SİC 30 Vibration Castable 49
4.3.1.11. Remlowcast 50 Vibration Castable 49
4.2. Metod 49
4.2.1. Kimyasal Analiz 49
4.2.2. Petrografik Analiz 50
4.2.3. Kalitatif ve Yarı Kalitatif Mineralojik Faz Analizi 50
4.2.4. Sonik Hız Deneyi 50
4.2.5. Tek Eksenli Basma Dayanımı 51
5. ARAŞTIRMA BULGULARI 53
5.1. Toz Haldeki Örnekler 53
5.1.1. Kimyasal Analiz 53
5.1.2. Mineralojik Analiz 54
5.2. Refrakter Tuğlalar 57
5.2.1. Refrakter Tuğlaların Teknolojik Özellikleri 57
5.2.1.1. Remlowcast 50 Vibration Castable 57
5.2.1.2. Remlowcast 60 SİC 55 Vibration Castable 58
5.2.1.3. Remlowcast 60 SİC Vibration Castable 59
5.2.1.4. Remlowcast 60 Vibration Castable 60
5.2.1.5. Remgun 60 SİC 10 GG Gunning Castable 61
5.2.1.6. Remlowcast 75 Vibration Castable 62
5.2.1.7. Remlowcast 70 SİC Vibration Castable 64
5.2.1.8. Remlowcast 70 Zr Vibration Castable 65
5.2.1.9. Remlowcast 70 SİC Vibration Castable 66
5.2.1.10. Remlowcast 60 SİC 30 Vibration Castable 68
5.2.1.11. Remlowcast 50 Vibration Castable 69

5.2.2. Mineralojik Analiz 71
5.2.3. Petrografik Analiz 74
5.2.4. Ultrasonik Test 77
6. SONUÇLAR 79
KAYNAKLAR 83
ÖZGEÇMİŞ 87

ÇİZELGELER DİZİNİ **SAYFA**

Çizelge 2.1. Şekillendirilmemiş refrakterler 7
Çizelge 2.2. Refrakterlerin fiziksel sınıflandırılması 7
Çizelge 2.3. Değişik ülkelere ait dolomit sinterinin tipik kimyasal özellikleri.....25
Çizelge 2.4. Bazı refrakter tuğlaların önemli özellikleri.....28
Çizelge 2.5. Refrakter tüketiminin sektörel dağılımı.....35
Çizelge 2.6. Demir-çelik sektöründe refrakter kullanım oranları 35
Çizelge 2.7. Refrakter manyezit sınıflaması 37
Çizelge 2.8. 2000–2005 dönemi refrakter üretim ve tüketim dengesi (ton) 39
Çizelge 2.9. Yurt içi refrakter tüketiminin sektörel dağılımı (1999-2002) (ton) 40
Çizelge 5.1. Toz halindeki örneklerin kimyasal analiz sonuçları (%) 54
Çizelge 5.2. Remlowcast 50 vibration castable numunesinin kimyasal analiz sonuçları (%) 57
Çizelge 5.3. Remlowcast 50 vibration castable numunesinin fiziksel özellikler.....57
Çizelge 5.4. Remlowcast 50 vibration castable numunesinin teknik özellikleri.....57
Çizelge 5.5. Remlowcast 60 SİC 55 vibration castable numunesinin kimyasal analiz sonuçları (%).....58
Çizelge 5.6. Remlowcast 60 SİC 55 vibration castable numunesinin fiziksel özellikleri 57
Çizelge 5.7. Remlowcast 60 SİC 55 vibration castable numunesinin teknik özellikleri.....59
Çizelge 5.8. Remlowcast 60 SİC vibration castable numunesinin kimyasal analiz sonuçları (%) 59
Çizelge 5.9. Remlowcast 60 SİC vibration castable numunesinin fiziksel özellikleri.....59
Çizelge 5.10. Remlowcast 60 SİC vibration castable numunesinin teknik özellikleri 60
Çizelge 5.11. Remlowcast 60 vibration castable numunesinin kimyasal analiz sonuçları 60
Çizelge 5.12. Remlowcast 60 vibration castable numunesinin fiziksel özellikleri....60

Çizelge 5.13. Remlowcast 60 vibration castable numunesinin teknik özellikleri.....61
Çizelge 5.14. Remgun 60 SİC 10 gg gunning castable numunesinin kimyasal analiz sonuçları 62
Çizelge 5.15. Remgun 60 SİC 10 gg gunning castable numunesinin fiziksel özellikleri.....62
Çizelge 5.16. Remgun 60 SİC 10 gg gunning castable numunesinin teknik özellikleri 62
Çizelge 5.17. Remlowcast 75 vibration castable numunesinin kimyasal analiz sonuçları 63
Çizelge 5.18. Remlowcast 75 vibration castable numunesinin fiziksel özellikleri....63
Çizelge 5.19. Remlowcast 75 vibration castable numunesinin teknik özellikleri.....63
Çizelge 5.20. Remlowcast 70 SİC vibration castable numunesinin kimyasal analiz sonuçları 64
Çizelge 5.21. Remlowcast 70 SİC vibration castable numunesinin fiziksel özellikleri.....65
Çizelge 5.22. Remlowcast 70 SİC vibration castable numunesinin teknik özellikleri.....65
Çizelge 5.23. Remlowcast 70 zr vibration castable numunesinin kimyasal analiz sonuçları 66
Çizelge 5.24. Remlowcast 70 zr vibration castable numunesinin fiziksel özellikleri.....66
Çizelge 5.25. Remlowcast 70 zr vibration castable numunesinin teknik özellikleri .66
Çizelge 5.26. Remlowcast 70 SİC vibration castable numunesinin kimyasal analiz sonuçları 67
Çizelge 5.27. Remlowcast 70 SİC vibration castable numunesinin fiziksel Özellikleri.....67
Çizelge 5.28. Remlowcast 70 SİC vibration castable numunesinin teknik özellikleri.....67
Çizelge 5.29. Remlowcast 60 SİC 30 vibration castable numunesinin kimyasal analiz sonuçları.....68

Çizelge 5.30. Remlowcast 60 SİC 30 vibration castable numunesinin fiziksel özellikleri.....69
Çizelge 5.31. Remlowcast 60 SİC 30 vibration castable numunesinin teknik özellikleri.....69
Çizelge 5.32. Remlowcast 50 vibration castable numunesinin kimyasal analiz sonuçları 69
Çizelge 5.33. Remlowcast 50 vibration castable numunesinin fiziksel özellikleri....70
Çizelge 5.34. Remlowcast 50 vibration castable numunesinin teknik özellikleri.....70
Çizelge 5.35. Ultrasonik testi deney sonuçları (km/sn) 77

ŞEKİLLER DİZİNİ **SAYFA**

Şekil 2.1. Bazı refrakter malzemelerin basınç altında yumuşama eğrileri.....28
Şekil 2.2. Bazı refrakter malzemelerin ortalama ısınma ısıları 29
Şekil 2.3. Bazı refrakter tuğlaların lineer genleşme yüzdeleri.....29
Şekil 4.1. Karıştırıcıda karışan harç 45
Şekil 4.2. Kalıplara dökülen refrakter.....45
Şekil 4.3. Kalıpta prizlenen refrakter tuğla 46
Şekil 4.4. Tuğlaların fırında pişirilmesi 46
Şekil 4.5. Deneylerde kullanılan refrakter tuğlalar 46
Şekil 4.6. Sonik hız ölçmede kullanılan pundit cihazı.....51
Şekil 4.7. Basma mukavemetinin ölçüldüğü alet.....52
Şekil 5.1. 1 nolu öreneğe ait XRD sonucu.....54
Şekil 5.2. 2 nolu örneğe ait XRD sonucu.....55
Şekil 5.3. 3 nolu örneğe ait XRD sonucu.....55
Şekil 5.4. 4 nolu örneğe ait XRD sonucu.....56
Şekil 5.5. 5 nolu örneğe ait XRD sonucu.....56
Şekil 5.6. Deney yapılan refrakter örneği 61
Şekil 5.7. Deney yapılan refrakter örneği 63
Şekil 5.8. Deney yapılan refrakter örneği 64
Şekil 5.9. Deney yapılan refrakter örneği 65
Şekil 5.10. Deney yapılan refrakter örneği 67
Şekil 5.11. Deney yapılan refrakter örneği 68
Şekil 5.12. Deney yapılan refrakter örneği 70
Şekil 5.13. Remgun 60 SİC 10 GG gunning castable ait XRD paterni 71
Şekil 5.14. Remlowcast 75 vibration castable ait XRD paterni.....71
Şekil 5.15. Remlowcast 70 SİC vibration castable ait XRD paterni.....72
Şekil 5.16. Remlowcast 70 Zr Vibration castable ait XRD paterni 72
Şekil 5.17. Remlowcast 70 SİC vibration castable ait XRD paterni.....73
Şekil 5.18. Remlowcast 60 SİC 30 vibration castable ait XRD paterni.....73
Şekil 5.19. Remlowcast 50 vibration castable ait XRD paterni.....74

Şekil 5.20. Refrakter tuğlaların ince kesit görüntüleri 76
Şekil 5.20.g. Remlowcast 50 vibration castable 77

1. GİRİŞ

Refrakterler, ateşe dayanıklı malzemeler olarak tanımlanır. Refrakter malzemeler 1000^{o}C'nin üzerindeki sıcaklıklarda uzun süre kullanılabilir. Başta endüstrinin temel izolasyon malzemesi olan ateş tuğlaları olmak üzere, camlar, mutfak eşyaları gibi büyük bir malzeme grubunu oluşturur. Bunlar metalik malzemelerin pahalı olduğu veya kullanılmadığı yerlerde tercih edilir (Geçkinli, 1992; Kuşoğlu, 2004). Metalürjik işlemlerde kullanılan refrakter malzemeler asidik, bazik ve nötr olmak üzere üç grup altında toplanır. Bünyesinde bulunan SiO_2'nin bazik bileşenlere oranı malzemenin asitlik derecesini belirler. Bazik karakterdeki cüruflar bazik refrakterlere, asidik cüruflar da asidik refrakterlere etki etmezler. Ancak, malzemenin kimyasal özelliği yanısıra gözenekliliği de önemli rol oynar. Daha gözenekli yapıya sahip olan refrakter malzemeler çabuk ısınır. Mineralojik yapıya bağlı olarak değişik sıcaklıklardaki farklı kristal bünyeleri oluşur; refrakter malzeme yoğunluğunda değişmeler meydana gelir. Refrakter malzemeler kullanım sırasında genellikle basınç, gerilme gibi çeşitli kuvvetlerin etkisi altında kalırlar. Yumuşama sunucu boyut değişikliği olması halinde sakıncalar ortaya çıkar. Bu nedenle, normalde yüksek bir basınçta parçalanan malzeme fırın sıcaklığında bu değerden çok daha düşük sıcaklıkta parçalanabilir. Sıcaklığın etkime süresi de refrakter tuğlanın mekanik mukavemetinde oldukça etkilidir. Refrakter malzemelerin soğukta basınç dayanımına malzemenin yapısı ve özellikle gözenek miktarı etkir. Ateşe dayanıklı tuğlalar oda sıcaklığında pek az şekil değişikliği gösterirler. Yüksek sıcaklıkta farklı tane büyüklüğü ve gözenek dağılımı ile yapıdaki değişik fazların arasındaki gerilmeler nedeniyle çatlaklar oluşabilir. Mekanik dayanım ve aşınma direnci yaklaşık 1000^{o}C'ye kadar durumunu muhafaza eder. Daha yüksek sıcaklıklarda cam fazının artmasıyla birlikte aşınma dayanımı azalır. Refrakter malzemelerin bileşenleri; SiO_2, Al_2O_3, Fe_2O_3, TiO_2, MgO, H_2O'dur. Kullanım alanlarına göre oranları değişebilir. Refrakter malzemelerin/tuğlaların kullanım alanları; sıvı cam haznesi kapağı, bakır rafinasyon fırını, elektrik ark fırını üst bölgesi, kok fırını, soba, tav fırını, sıvı cam haznesi kapağı, daldırıma nozulu, pota kapağı, kok fırını kapısı, yüksek ısılı döner fırınlar, kayar kapı, aluminyum ergitme

fırınları, tünel fırın rayları, sıvı metal nakil ve işlem potası, yakma fırınıdır (DPT, 2001).

Refrakter killer refrakter sanayiinin ana hammaddesini teşkil eder. Kullanımı gittikçe artmakta buna bağlı olarak özellik arzeden yeni kullanım alanları gelişmektedir. Dünyada üretim ve tüketimi özellikler arzetmesi nedeniyle daha çok iç piyasaya yönelik olarak yapılmaktadır. Son yıllarda firmaların kapasite artırımı ve döner fırınlarda sinterleme kapasite artışı ile yurtdışı ithalatları da artmaktadır (Alaca, 1999; Tümer, 2004; Karabaş, 2006).

Refrakter malzemeler ısıya dayanıklı malzeme oldukları için ısı geçirmeyen malzemelerdir. Isı geçişi olmadığından dolayı; yakıt tasarrufu sağlaması, CO_2 salınımını düşürmesi bakımından önemi ile ülke ekonomisine katkısı çok fazladır.

Yapılan tez çalışması kapsamında, refrakter tuğla üretiminde kullanılan malzemelerin kimyasal ve mineralojik özellikleri belirlenmeye çalışılmıştır; ardından hammaddeler ve değişik katkı maddeleri kullanılarak üretilen tuğlaların kimyasal, mineralojik, petrografik, teknolojik ve mekanik özellikleri yapılan analizler ve deneyler ile anlaşılmaya, belirlenmiştir.

2. REFRAKTER MALZEMELER

Kelime olarak “inatçı” manasına gelen refrakterin teknolojik tanımı “yüksek sıcaklıklara ve bu sıcaklıklarda gaz, sıvı ve katı maddelerin fiziksel ve kimyasal etkilerine karşı koyabilen malzeme” olarak yapılabilir. Bu tanımdan da anlaşılacağı üzere evlerimizdeki kömür sobalarından çeşitli ağır sanayi fırınlarına kadar tüm ısıl işlem fırınlarında refrakter malzeme kullanılmaktadır.

Geleneksel olarak; yüksek sıcaklıkta çalışan fırın ve benzeri ünitelerin yapımında veya içinin kaplanmasında kullanılan, sıcaklık altında fiziksel ve kimyasal nitelikte çeşitli aşındırıcı etkilere karşı ergimeden ve fiziksel-kimyasal özelliklerini koruyarak dayanabilen malzemelere refrakter malzemeler denilmektedir. Ancak, yukarıda tanımlanan özelliklere sahip metal ve alaşımlar refrakter malzeme tanımının dışında kalmaktadırlar. Refrakter malzemelerde bünye; saç kaplı tuğlalarda olduğu gibi metalik bir bileşene sahip olabilir, ama tamamen metal ve alaşım olamaz.

ISO (International Standard Organization) ve buna dayanan TSE’nin (Türk Standartları Enstitüsü) tanımlama ve sınıflandırması oldukça farklıdır. Uluslararası kabul görmüş söz konusu tanımlama ve sınıflandırmanın üretici ve tüketici kuruluşlar tarafından kullanılması ve sanayi dalında dil ve terim birliğini sağlamaya yardımcı olacaktır. ISO 1927-1975 (E), ISO 1109-1975 (E), TSE 2335 ve TSE 2334’e göre bu tanımlama ve sınıflandırma aşağıdaki gibidir:

“Ateşe dayanıklı (refrakter) malzeme; metaller ve metal alaşımları dışında olup, ateşe dayanıklılık sıcaklığı 1500°C’den az olmayan malzeme ve mamullerdir.” (Saç kaplı tuğlalarda olduğu gibi içinde metalik kısımlar bulunabilir.) İzolasyon malzemesi için ISO 2245-1978 (E) ve ISO 2477-1973 (E) standartları hazırlanmıştır.

DIN 51060 standardına göre, refrakter malzemeler üç grupta toplanabilir;

- Ateşe dayanıklı 1500°C
- Refrakter minimum 1500°C
- Yüksek refrakter minimum 1800°C

Refrakter başlığı altında verilen bilgiler DPT raporlarında yer alan (DPT, 2001; DPT, 2006) verilerden yararlanılarak yazılmıştır. Bu nedenle, alt başlıklar içerisinde kaynak tekrarı sıklıkla yapılmamıştır.

Malzeme sınıflanmasında refrakter malzemeler; seramik, cam, çimento gibi metalik olmayan anorganik malzeme sınıfına girmektedir. Seramik teknolojisinin bir kolu olan refrakter sanayiinde, demir-çelik, demir dışı metal sanayii, çimento sanayii, seramik ve kimya sanayii gibi temel sanayi kollarının önemli bir yan girdisi olan refrakter malzemeler üretilmektedir.

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.

Refrakter malzemelerin özellikleri ise aşağıda sıralanmaktadır;

- Elektriği iyi iletmezler,
- Yük altında kırılgandır,
- Ergime noktaları yüksektir,
- Mikro ve makro yapıda heterojendir.

2.1. Refrakter Malzemelerin Genel Özellikleri

2.1.1. Kimyasal ve Mineralojik Yapı

Metalurjik işlemlerde kullanılan refrakter malzemeler asidik, bazik ve nötr olmak üzere üç grup altında toplanır. Bünyesinde bulunan SiO_2'nin bazik bileşenlere oranı malzemenin asitlik derecesini belirler. Bazik karakterdeki cüruflar bazik refrakterlere, asidik cüruflarda asidik refrakterlere etki etmezler. Ancak bu kimyasal özellik yanında malzemenin gözenekliliği önemli rol oynar. Daha gözenekli olan refrakter malzemeler daha çabuk ısınır. Mineralojik yapıya bağlı olarak değişik sıcaklıklarda farklı kristal bünyeler oluşur. Bu nedenle refrakter malzeme yoğunluğunda da değişmeler meydana gelir.

2.1.2. Genişleme ve Çekme

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

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.

2.1.3. Yoğunluk ve Porozite

Sıcaklığın yükselmesi ile katı hacimde meydana gelen genişleme ile birlikte porozite azalır. Porozitenin azalması ile refrakter malzeme yumuşar. Bu özellik malzemenin karakterini tayin eder. Porozitenin 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.

2.1.4. Fırın Sıcaklığında Basınca Direnç

Refrakter malzeme kullanma sırasında genellikle basınç, gerilme gibi çeşitli kuvvetlerin etkisi altında kalır. Yumuşama sunucu boyut değişikliği olması halinde sakıncalar ortaya çıkar. Bu nedenle, normalde yüksek bir basınçta parçalanan malzeme fırın sıcaklığında bu değerden çok daha düşük sıcaklıkta parçalanabilir. Sıcaklığın etki süresi de etkili olmaktadır.

2.1.5. Isıl Özellikler

Refrakter malzemelerin ısıl özellikleri özgül ısı, ısıl iletkenlik ve ısıl genişlemedir. Malzemenin özgül ısı ve ısıl iletkenliği kullanılma yerine göre farklı şekilde değerlendirilir. Bazı halde yüksek, bazen de düşük olması arzu edilir. Oysa

ısıl genişleme özelliği malzemenin tamamen bünyesinden ileri gelen ısı karşısında genişlemeyi temsil ettiğinden fonksiyonel etkiye sahiptir. Bu nedenle, fırın tasarımlarında kullanılan refrakter malzemenin ısıl genişlemesi, işletme sırasında bir zarar meydana getirmemesi için özenle seçilir.

2.1.6. Isıl Çatlama ve Parçalanma

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 genleşme 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.

2.1.7. Mekanik Dayanıklılık

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. Mekanik dayanım ve aşınma direnci yaklaşık 1000°C'ye kadarki sıcaklıklarda durumunu muhafaza eder. Daha yüksek sıcaklıklarda cam fazının artmasıyla birlikte aşınma dayanımı azalır.

2.2. Refrakter Malzemelerin Sınıflandırılması

Refrakter malzemeler esas alınan birçok kritere göre sınıflandırılabilmekte ve pratikte bu sınıflandırmalar az veya çok yaygınlıkta kullanılmaktadır. Sınıflandırma için dikkate alınan kriter değiştikçe yeni bir sınıflandırma ortaya çıkmakta ve refrakterlerin sınıflandırılması güçleşmektedir. Sınıflandırmaların birçoğunda bazı sınıflar birbiri içine girmektedir. Değişik kriterlere göre dört çeşit sınıflandırma (fiziksel, kimyasal özellikler, hammadde orijini ve ergime noktası) yapılabilmektedir.

2.2.1. Refrakterlerin Fiziksel Sınıflandırılması

Refrakterleri sabit şekilli refrakterler, lifli refratkerler ve şekilli refrakterler olarak üç grupta sınıflandırmak mümkündür (DPT, 2006) (Çizelge 2.1-2.2).

Çizelge 2.1. Şekillendirilmemiş refrakterler (DPT, 2006)

Sınıf		Tür	Tanımlama ve Özellikler
Şekillendirilmemiş refrakterler	Harçlar	Termoset Air-set Hidrolik-set	Astarlanmada kullanılan tuğlaları birbirine bağlayan derz dolguları
	Dökme (castable) refrakterler		Hammadde ile hidroset çimentonun (veya kimyasal bağlayıcının) karıştırılmasından oluşan refrakterler. Su ile karıştırılıp monolitik döküm yoluyla sabit ve döner fırınların astarlanmasında kullanılırlar.
	Tabancayla atılan karışımlar		Fırın iç çeperlerine püskürtme yoluyla yapıştırılan sıcak tamir ve soğuk tamir refrakterleri
	Dövme harçları		İri taneli ve ısınınca seramik bağ oluşturarak mukavemet kazanan refrakterler. Düşük plastisiteye sahip bu malzemeler yüzeylere pnömatik dövücülerle tutturulur.
	Savurma karışımları		Savurma makinalarıyla yüzeylere tatbik edilen akışkan harçlar
	Yama malzemeleri kaplama malzemeleri		Refrakter harçlarınkine benzer özellikte, yama veya yüzey kaplamaya uygun granülasyonda kullanılan refrakterler
	Düşük yoğunluklu (hafif siklet) dökme refrakterler		Gözenekli hafif malzeme ile hidrolik çimento karışımından oluşan refrakterler.
			Su ile akışkanlaştırılıp kalıplı döküm yoluyla sabit ve döner fırın astarlamada kullanılır.

Çizelge 2.2. Refrakterlerin fiziksel sınıflandırılması (DPT, 2006)

Sınıf	Tür		Tanımlama ve özellikler
Şekillendirilmiş (kalıplanmış) Refrakterler	Tuğlalar	Pişirilmiş	Sabit fırınların, döner fırınların, sıvı cam haznelerinin ve yakma fırınlarının döşeme yoluyla astarlanmasında kullanılan refrakterler
		Pişirilmemiş	
	İzolasyon tuğlaları		Düşük termal iletkenlikli tuğlalar
Lifli Malzemeler	Seramik Fiberler		İnsan yapımı refrakter elyaf malzemeler. Battaniye, kağıt, modül-tabaka, serbest elyaf vb olarak kullanılırlar.

2.2.2. Refrakterlerin Kimyasal Yapıya Göre Sınıflandırılması

Refrakterleri kimyasal olarak sınıflandırırken refrakterliği veren esas madde kriter olarak alınmıştır. Magnezitkrom ve krom-magnezit refrakterler magnezyum ve kromit bazlı sınıflar arasındaki birbirine girmeler için iyi bir örnek teşkil eder;

- Silis Bazlıları (Kuvartz)
- Alümina Silikatlar (Şamot)
- Magnezyum Bazlılar (Magnezit)
- Kromit Bazlılar (Kromit)
- Karbon Bağlılar (Grafit)
- Zirkon Bileşikleri (Zirkon Oksit)
- Karbid, Silis ve Nitridler
- Aside dayanıklı ve izolasyon özellikliler
- Diğer oksitler

2.2.2.1. Asidik Karakterli Refrakterler (Alümina-Silikat Grup)

Refrakter kil veya kaolinin pişirilmesiyle elde edilen ve esas olarak Al_2O_3 ve SiO_2'den oluşan, plastikliği olmayan ve suyla hidrolize olmayan ve ıslanmayan bünyeye sahiptir;

- Şamot
- Silika (SiO_2)
- Silimanit (Al_2O_3. SiO_2)
- Mullit ($3Al_2O_3$. $2SiO_2$)
- Zirkon (ZrO_2. SiO_2)
- Zirkonya (ZrO_2)

2.2.2.2. Nötral Karakterli Refrakterler

Nötral karakterli refrakterler beş kısımda incelenebilmektedir. Bunlar;

- Boksit (Al_2O_3 . H_2O veya Al_2O_3 . $3H_2O$)
- Alümina (Al_2O_3)
- Karbon (Karbon bileşenli refrakterler: zift, grafit, katran)
- Silisyum Karbür (SİC)
- Kromit (Cr_2O_3)'dir.

2.2.2.3. Bazik Karakterli Refrakterler

Bazik karakterli refrakterler altı kısımda incelenebilmektedir. Bunlar;

- Magnezit (MgO periklas kristali)
- Magnezit-Krom (MgO ve Cr_2O_3)
- Dolomit (MgO . CaO)
- Forsterit (2MgO . SiO_2)
- Krom-Magnezit (Cr_2O_3 ve MgO)
- Kromit (Cr_2O_3)

2.2.3. Hammadde Orijinine Göre Sınıflandırma

Refrakterler hammadde orijinine göre tabii refrakterler ve sentetik refrakterler olmak üzere iki grupta sınıflandırılırlar.

Berilyum oksit, silisyum karbür gibi bazı refrakterler yalnız sentetik, magnezitlerde olduğu gibi bazı refrakterler ise hem tabii ve hem de sentetik olarak üretilmektedir.

2.2.4. Ergime Noktasına Göre Sınıflandırma

Refrakterleri ergime noktasına göre normal hizmet refrakterleri, ağır hizmet refrakterleri ve süper hizmet refrakterleri olmak üzere üç grupta sınıflandırmak mümkündür.

* Normal Hizmet Refrakterleri: (Ergime noktası 1580-1780°C arasında olanlar)
* Ağır Hizmet Refrakterleri: (Ergime noktası 1780-2000°C arasında olanlar)
* Süper Hizmet Refrakterleri: (Ergime noktası 2000°C'nin üzerinde olanlar)

2.3. Üretim Metoduna Göre Refrakter Malzemeler (Tuğla ve Monolitikler)

Refrakter, kullanım yerlerinin özelliklerine ve beklenen şartlara uyum sağlamak üzere iki şekilde üretilmektedir:

- Şekillendirilmiş Refrakter Malzemeler (tuğla ve plakalar)
- Şekilsiz Refrakter Malzemeler (monolitikler)

Belli reçetelere göre hazırlanan harmanlar, kullanım yerinde kaplaması düşünülen refrakter örgüye uygun dizayn edilen standart kalıplar [ISO (International Standard Organization), VDZ (Vereinigte Deutsche Zement)] ile preslenerek şekillendirilir. Ayrıca, özel şekilli kalıplar da kullanılarak şekillendirme yapılır. Tuğla tiplerine göre kurutularak kimyasal bağlı, pişmiş, temperlenerek ziftli veya reçineli karbon bağlı tuğlalar üretilir.

Değişik refrakter agregalarının (şamot, kalsine boksit, ergitilmiş alümina, tabular alümina, sinter magnezit, vb.) uygun tane boyutuna kırılıp, gerekir ise uygun bağlayıcılarla karıştırılarak elde edilen ürüne, monolitik refrakter malzeme denir. Son zamanlarda monolitik refrakter malzemeler yerleştirme ve tamirlerinin daha kısa sürede ve daha az iş gücüyle olması, yekpare oluşu, düşük ısı geçirgenlikleri, yüksek ısı şok dayanımları, maliyetlerinin düşük olması ve kullanım yerinde duruşların asgariye indirilmesiyle üretim ve kapasite artışlarını sağlaması nedenleriyle tuğlaların yerini almaktadır. Monolitik malzemeler aşağıdaki tiplere ayrılırlar;

Dövme Malzeme: Dövme malzeme kullanılmadan önce yapışma özelliği olmayan, kuru veya kullanmaya hazır hale getirilmiş, içerisinde kimyasal veya organik bir bağlayıcı bulunan taneli malzemelerdir. Hazırlanmış oldukları gibi veya nemlendirdikten sonra, bazen elle, genellikle uygun bir mekanik yöntemle tokmaklanarak veya sıkıştırılarak uygulanır.

Kalıplanabilir Malzeme: Kalıplanabilir malzeme, biçimlendirilmeden kullanılmaya hazır plastik hale getirilmiş ve içinde kimyasal veya organik bir bağlayıcı bulunan karışımdır. Elle veya mekanik dövme ile uygulanırlar.

Dökme Malzeme: Dökme malzeme, kullanılmadan önce yapışıcı olmayan, su ile karıştırılmaya hazır hale getirilmiş karışımlardır. Bu karışımlarda hidrolik veya kimyasal bir bağlayıcı bulunur ve değişik yoğunlukta bir karışım olarak dökme, vibrasyon veya doldurulup sıkıştırma suretiyle uygulanır.

Tabanca ile Püskürtme Malzemesi: Kullanılmadan, yapışıcı olmayan ve nemlendirildikten sonra veya püskürtme sırasında nemlendirilen elle veya makine ile püskürtülmeye hazır hale getirilmiş karışımlardır.

Örgü Malzemesi: Pudra halinde öğütülmüş refrakter malzeme ve uygun oranda toz bağlayıcı ile karıştırılmış hazır örgü harcı, kullanım yerinde su ile uygun kıvamda hazırlanarak tatbik edilebilmektedir. Bir diğer şekli ise; herhangi bir toz bağlayıcı ilave edilmeden, kullanım yerinde hazırlanan sıvı bağlayıcı ile uygun kıvama getirilen örgü harcı uygulamasıdır.

2.3.1. Alümina-silikat Refrakter Malzemeler (Tuğla ve Monolitikler)

2.3.1.1. Yüksek Alümina

Yüksek alüminalı hammaddelerden yapılan şekilli veya şekilsiz refrakter malzemelerdir. Elektrofused malzemelerin dökülmesi ile oluşturulan şekiller, genellikle fused döküm refrakterleri olarak bilinir. Yüksek alüminalı refrakter üretiminde kullanılan hammaddeler şunlardır:

- Diaspor ($Al_2O_3 . H_2O$)
- Boksit ($Al_2O_3 . H_2O + Al_2O_3 . 3H_2O$)
- Diaspor Kili (refrakter kil, diasporun nodüllerinde saçılmıştır ve nodül kili olarak adlandırılır.)
- Boksitik Kaolin (Boksitin nodülleri saçılmıştır.)
- Kyanit ($Al_2O_3 . SiO_2$)
- Andaluzit ($Al_2O_3 . SiO_2$)
- Silimanit ($Al_2O_3. SiO_2$)
- Rafine Kalsine Alümina (Al_2O_3)
- Granül Fused ve Sinter Alümina (Al_2O_3)
- Mullit ($3Al_2O_3 . 2SiO_2$)

Alümino-silikat grubu refrakter malzemelerin %45'in üstünde Al_2O_3 ihtiva etmesi halinde, yüksek alüminalı refrakter malzeme adını almaktadır. Bunlar; %45-56 Al_2O_3 ve %56'dan Al_2O_3 fazla ihtiva edenler olarak ikiye ayrılabilirler. Birçok alüminalı refrakter; boksit, diaspor kili veya her ikisinin karışımı ile pişmiş tuğladan istenen alümina miktarı ve özelliklerine göre plastik veya flint kili karışımı ile elde edilir. Boksit ve diaspor kilinin yüksek pişme çekmesi göz önüne alındığında, refrakter malzeme üretiminden önce prekalsine işlemine tabi tutulmaktadırlar. Bazı durumlarda belli özellikleri iyileştirmek için fused ya da kalsine alümina ilave edilir.

Mullit refrakter olarak bilinen sınıfın minerali mullittir (%71,8 Al_2O_3 ve %28,2 SiO_2 içerir.). %99 Al_2O_3 içeren refrakter sınıfına ise korundum denir. Korundum 2050°C'de erir (kristal Al_2O_3).

Yüksek alüminalı tuğlalar; duman ve gazların, değişik cürufların ataklarına karşı çok dirençlidir. Şamot tuğlasına nazaran yüksek sıcaklıklarda basınca daha dayanıklıdır. Termal şoklara karşı oldukça dirençlidir.

Mullit minerali ($3Al_2O_3 . 2SiO_2$) içeren mullit refrakterler doğal minerallerden ve sentetik mullitten imal edilir. Saf mineralde alümina miktarı %71,8'dir. Bilinen mullit tuğlalarda alümina oranı %60–71 arasındadır. "Fortified" mullit tuğlası çok az serbest alümina içerir ve %71–78 arasında Al_2O_3 miktarına

sahiptir. Mullit tuğlalar; yüksek taşıma özelliği, hacim kararlılığı, yüksek sıcaklıklarda akışkanlara direnci ile dikkati çeker.

Monolitik örgü için kullanılan yüksek alüminalı ürünler geniş kompozisyonlu ve fiziksel özellikleri ile temin edilirler. Bu ürünler arasında dövme harçları, dökme harçları, sıcak tamir harçları ve plastik refrakterler bulunur.

2.3.1.2. Şamot

Refrakter tuğlaların toplam miktarının yaklaşık olarak % 65 kadarı şamot olarak üretilirler ve metalurji fırınlarında cam ve tavlama fırınlarında, kafes yapımında, çeliğin dökülmesinde aşınma malzemesi (kanal tuğlası, çarpma seti, yolluk ağzı) olarak, kazan tesislerinde ve ev pişirme fırınlarında, sobalarda ve şöminelerde kullanılır.

Şamot refrakter malzemelerin hammaddesi, hidro alüminyum silikat olup, az miktarda diğer mineralleri de ihtiva ederler. Bu alümina-silikatların genel formülü Al_2O_3. $2SiO_2$ olup %39,5 Al_2O_3, %46,5 SiO_2 ve %14 H_2O içerir. Bu grubun en yaygın üyesi kaolinit'tir. Yüksek sıcaklıklarda bağlı suyu kaybolur; kalan hammadde teorik olarak %45,9 Al_2O_3 %54,1 SiO_2 içerir. Ancak en saf kilde bile demir, kalsiyum, magnezyum, titanyum, sodyum, potasyum, lityum ve serbest silis gibi çok az miktarda safsızlıklar bulunur. Bu killerden bazıları, pişirilerek şamot adı verilen malzeme haline getirilirler. şamot malzemeler, plastik killer ile bağlanarak şamot refrakterler üretilir. Bu sınıftaki tuğlalar yaklaşık olarak %18-44 Al_2O_3 içerirler.

Yüksek dayanıklı ateş kili tuğlaları genelde birkaç kilin karıştırılması ile yapılır. Flint killeri ve yüksek dereceli kaolinlerin refrakterliği yüksektir. Bu tuğlaların çoğu hızlı sıcaklık değişikliğine karşı çekme ve kırılmaya karşı dirençlidir. Bazıları daha yüksek ısıda pişirilir. Bu tuğlalar hacim kararlılığına sahiptir. Akışkanlara karşı direnci arttırılmış olup, karbon monoksit gazlı atmosferlerde karbon tortulaşması sebebiyle bozunmaya karşı inerttir.

Refrakterler için çok önemli killer arasında çakmaktaşı kili (Flint clay) yarı çakmaktaşı kili (Semi-flint clay), plastik, yarı plastik killer ve kaolinler bulunur. Çakmaktaşı kili sertliğinden dolayı bu ismi almıştır; kırıcılarda kırıldıktan sonra su

ile karıştırılır. Plastikliği ve kuru çekmesi çok düşüktür. Pişme çekmesi ise orta derecelidir. Safsızlığı düşüktür. PCE (Pirometrik Koni Eşdeğeri) 33-35'dir.

Plastik ve yarı plastik refrakter killeri hafif kil ya da bağlama kili olarak bilinir. Refrakterlik, plastiklik ve bağlama dayanımı açısından değişkendir. Kuru ve pişme çekmeleri çok yüksektir. Refrakterliği 29-33'dür. PCE 26'dan 29'a kadar birçok kilin yüksek plastikliği ve mükemmel bağlama kuvveti vardır.

Kaolinler, kaolinit mineralinden oluşur. Orta dereceli plastik özelliği, yüksek kuruma ve pişme çekmeleri vardır. Kaolinitlerden oluşan kaolinlere göre, silikatlı kaolinler daha az, boksitik kaolinler daha çok çekerler. Refrakter kaolinler 33–35 PCE değerine sahiptir. Daha az saf ise 29–32 PCE aralığına düşer. Birçok flint ve plastik refrakter killeri kömür yatakları ile beraber bulunur.

2.3.1.3. Semi-silika (Yarı Silika)

Düşük miktarda alkaliler ve diğer safsızlıklar ile %18-25 Al_2O_3 ve %72-80 SiO_2 içerir. Mükemmel yükte taşıma dayanımı, yüksek sıcaklıklarda hacim kararlılığı ve çekme direncine sahiptir.

Yüksek alümina tuğlalara göre daha düşük çalışma sıcaklığına dayanırlar. Sıcaklık sınırları içinde camlaşmaya, yapısal çekmeye ve alkali dumanları ve tozların penetrasyonuna karşı yüksek dirence sahiptir.

2.3.1.4. Silika

Silika tuğlaları içinde yüksek oranda %93-99 SiO_2 ihtiva etmektedir. Bu tuğlalar yüksek sıcaklıkta %3,5'a varan oranlarda genişleme gösterir. Bunun nedeni tuğla içinde bulunan kuvarsın önce tridimit haline (870°C) daha sonra da kristobalit (1470°C) haline allotropik dönüşüm yapmasıdır. Bu dönüşüm sırasında özgül hacimde (d) önce küçülme sonra büyüme gözlenir (Kuvars d: 2,65 g/cm^3, Tridimit d: 2,26 g/cm^3, Kristobalit d: 2,32 g/cm^3). Bu durum silika tuğlaları yüksek sıcaklıkta dayanıksız yapar. Bu malzemelerin hammaddesi kuvarsit olup, küçük kristal yapılı ve çok saf olan kuvars minerallerinden meydana gelmektedir. Silika tuğlalar

kuvarsitten 800°C'nin üzerindeki sıcaklıkta üretilir. Tuğla pişirme sırasında %14,3 hacim artışı yapar. Çok iyi ateşe dayanımları nedeniyle silika tuğlalar birçok yerde kullanılır.

Kuvarsın metal oksit ve alkalileri minimum ölçüde ihtiva etmesi istenir. Bağlanmayı sağlamak için öğütme esnasında %2 kireç katılır.

Silika refrakter malzemeler kuvars stabil şekline dönüştürüldükten sonra kullanılır. Silika refrakterler pişme esnasında sürekli genleşmeye uğrar. Bunun sebebi kristalize silika içerisinde meydana gelen allotropik dönüşümlerdir.

Silika tuğlalar, asidik curufun olduğu değişik ocaklarda uygulanır. Silika harç ya da çimentosu silika tuğlaların örülmesinde kullanılır. Silika tuğlalar içerdiği alümina, titanyum, sodyum ve potasyum alkali miktarına göre sınıflandırılırlar.

2.3.1.5. İzolasyon

İzolasyon ateş tuğlaları hafif, gözenekli refrakterler olup, çok düşük termal iletkenliği ve yüksek ısı depolama kapasitesi ile karakteristiktir.

İzolasyon ateş tuğlaları diatomit, genleştirilmiş vermikülit, perlit, refrakter ateş kili, kaolin, yüksek alümine mineralleri, bubble alümine, kuvarsit ve diğer malzemelerden yapılır. Yoğunluğu düşürmek için çok değişik metotlar uygulanır. Örneğin; talaştozu, ince kok kömür tozu gibi yanıcı maddeler ilave edilebilir. Bazı izolasyon ateş tuğlaların imalatında köpük kullanılır.

İzolasyon tuğlaları; yüksek refrakter tuğlalarına destek tuğlası olarak geride kullanılır. Erimiş metal veya cürufların erozyonuna, aşındırma ve korozyona dayanımı yoktur.

İzolasyon refrakterlerinin kullanılmasındaki avantajlar şöyle sıralanabilir:

- Isı kaybı düşük ve ısı depolama kapasitesi yüksek olduğundan yakıt sarfiyatı azalır.
- Sıcaklık yükselme zamanı kısaldığından kullanım yerinde üretim artar.
- Fırın sıcaklıklarının hızlı değişmemesi nedeniyle operasyon kontrolunda kolaylık sağlar.

- İzolasyon refrakterlerinin hafif olmasından, fırın hacmi ve ağırlığı düşer.
- Yüksek izolasyon etkisi nedeniyle daha ince duvarların yapılabilmesinden ekonomi sağlanır.

İzolasyon harçlarından (castable) bir grubu hazır karışım şeklinde olup, yalnız su ilavesi ile tatbik edilebilir. Diğer önemli fırın izolasyon malzemeleri asbest, kalsine diatomit ve kaya yünüdür. Çimento olarak dökme ve blok şeklinde temin edilebilir. Büyük miktarlarda kullanılmasına karşılık, izolasyon ateş tuğlalarına göre refrakterliği düşük ve kırılgandır.

2.3.1.6. Aside Dayanıklı Refrakterler

Refrakterliği orta derecede olan, çok yoğun pişmiş killerden yapılır. Bu malzemelerin porozitesi düşük olup, asit ve diğer gaz ve sıvıların korozyon etkisine yüksek dirençlidir. Asit tanklarının örgüsünde, bacalarda, asit ve diğer kimya fabrikalarında tabanda aside dayanıklı tuğlalar kullanılır.

2.3.1.7. Özel Tip Refrakterler

Bu grupta silikon karbit, zirkon, zirkonya, karbon (grafit), ergimiş alümine, ergimiş silika, ergimiş döküm alümino-silikatlar söylenebilir.

2.3.1.7.(1). Silikon-Karbid

Silikon karbid, kok ve silika kumunun elektrik direnç fırınlarında reaksiyon sonucu üretilir. Yüksek sıcaklıklara dayanıklı, yüksek ısı iletkenliği ve düşük oranda ısıl genleşme özelliklerine sahiptir. Bazik cüruf ve eriyik çeliklere dayanımı düşüktür. Özellikle sert olup, yüksek aşındırma direncine sahiptir. Silikon Karbid nötral ve redüktan atmosferde avantajlıdır.

2.3.1.7.(2). Karbon

Refrakter malzeme olarak karbonun çok değişik karbon formları vardır. Pul grafit şeklindeki karbon, bazı alümine ateş tuğlalarına, plastik refrakter karışımlarına, bazik refrakter malzemelere ilave edilir. Magnezit karbon tuğlalar bazik refrakterler içinde ayrıntılı olarak açıklanacaktır. Redüktan atmosferde, yumuşamadan erimeyen 3315°C üzerindeki sıcaklıklarda karbon yapısını korur. Endüstri fırınlarında; oksijen, su buharı ve karbondioksitin bulunduğu oksidasyon ortamına duyarlıdır.

2.3.1.7.(3). Zirkon ve Zirkonya

Zirkon, zirkonyum silikat olup, termal şoklara silisli eriyiklere, bazı alkali tozlara ve dumanlara dayanımı yüksek refrakter malzemelerdir. Ancak demir oksit ve bazik cüruflara duyarlıdır. Zirkonya, zirkonyum dioksittir. Sert, dayanıklı ve özellikle eriyik silikatların kimyasal ataklarına dirençlidir. Ateşe mukavemeti son derece yüksektir.

2.3.1.7.(4). Fused Granüle

Ergimiş alümine, magnezit, zirkonya ve spineller elektrik ark ocaklarında oksitlerin eritilmesiyle hazırlanır. Ergimiş malzemeler, kırılır, elenir ve özel bloklarda şekillendirilir. Bu malzemeler granüle form içinde bazı harçlarda, monolitik ürünlerde dövme ve dökme karışımlarında kullanılır.

2.3.1.7.(5). Ergimiş Döküm Tuğlası

Ergimiş döküm refrakterleri alümine, mullit, zirkonya-alümine, krom-alümine, magnezit bileşiminde üretilir. Bazı bileşimler aşındırma ve korozyona karşı yüksek direncin gerektiği yerlerde kullanılır. Magnezit ve krom bileşimindeki ergimiş döküm tuğlaları elektrik ark ocaklarında Siemens Martin ocaklarında hassas yerlerde başarı ile uygulanmaktadır.

2.3.1.8. Bazik Refrakter Malzemeler (Tuğla ve Monolitikler)

Bu refrakterlerin imalatında genellikle hammadde olarak;

- Magnezit ($MgCO_3$)
- Brusit (MgO, H_2O)
- Magnezyum hidroksit $Mg(OH)_2$
- Krom cevheri (kromit) (Fe, MgO, $Al_2Cr_2O_3$)
- Olivin ($2MgO$, SiO_2, $2FeO$, SiO_2)
- Dolomit ($MgCO_3$. $CaCO_3$) kullanılır.

Bunlardan krom cevheri (kromit) ve olivin hariç, CO_2 ve bileşik suyunun atılması için pişirilmesi gerekmektedir. Bazik refrakterler malzemelerinin en önemli hammaddelerinden biri olan magnezit pişirildiğinde, magnezya kristal formundaki mineral olan sinter magnezite dönüşür.

Bazik refrakter malzeme imalatında genellikle sinter magnezit ve kromit cevheri kullanılmaktadır (Oltulu, 1992).

Dolomit cevherinin pişirilmesinden sonra, yani sinter dolomit ile yapılan malzemelere dolomit refrakter malzeme adı verilmektedir.

Forsterit mineralinden imal edilen çok çeşitli malzeme bulunmaktadır. Bunlar genellikle olivin mineraline, magnezya veya yüksek sıcaklıkta magnezyum alüminat spineli meydana getirecek minerallerin katılması ile imal edilmektedir. Gerçekte kromit ve forsterit esas itibariyle nötraldir fakat magnezit ağırlıklı olduklarından bazik gruba sokulmaları daha uygun görülmektedir. Asit yahut bazik deyimiyle refrakter malzemenin kimyasal olarak asitlik ve baziklik özelliğinden daha çok refrakterin kullanıldığı ortama atıf yapılmaktadır. Örneğin; silika asidik ortamda inerttir, fakat bazik ortamda reaksiyona girebilir. Bu terimler asidik yahut bazik cüruflu çelik üretim prosesinden kaynaklanmaktadır. Bu nedenle, bazik refrakter fevkalade yüksek refrakterlik ve bazik cüruflara iyi dayanımlarıyla karakterize edilmektedirler. Bunların, sıcak ortamda hurda malzemelerin çarpmasıyla aşınmaya, mekanik zorlamalara ve ergimiş malzemelerin cidara olan etkilerine karşı yeterli

dayanma özelliğine sahip olmaları gerekir. Diğer alkali tip toprak oksitleri (baryum, stronsiyum ve kalsiyum oksit) magnezit gibi aynı bazik özellikleri gösterirler, fakat düşük sıcaklıklarda kararlı değildirler.

2.3.1.8.(1). Magnezit

Magnezit refrakterler, magnezit cevherinden veya deniz suyu magnezitinden üretilen periklastan (MgO) yapılmaktadır. Doğal magnezit veya deniz suyu magneziti 1600-2000°C arasında pişirilerek sinter magnezit yahut refrakter özellikte magnezit elde edilmektedir. Şekillendirilen magnezit refrakterler emprenye edilerek veya katran ya da reçinelerle bağlanarak cüruf etkilerine dayanımları arttırılır.

Kromit, magnezitle harmanlanarak takriben %5 ile 22 Cr_2O_3 ihtiva eden mgnezit-krom refrakterler, %27 ile 35 Cr_2O_3'lü, krom-magnezit refrakterler üretilmektedir. Magnezit üretiminde en önemli hammadde yüksek miktarda $MgCO_3$ bulunduran kriptokristalin (ince dokulu) veya kristalin (spatik) magnezittir. Kriptokristalin magnezit yatakları Yugoslavya, Yunanistan, Türkiye, Rusya ve Hindistan'da, belli başlı kristalin magnezit yatakları ise Avusturya, Çekoslavakya, İspanya ve Rusya'da bulunmaktadır. Pişirme esnasında magnezit MgO ve CO_2'ye dönüşür, hammaddenin takriben %50'si CO_2 olarak uçar. Şartlara bağlı olarak CO_2'nin ayrışma sıcaklığı 350 ile 580°C'dir. Magnezit, döner fırın veya şakuli fırınlarda, CO_2 çıkışı bittikten sonra uygun bir hacim sabitliğine erişebilmek için 1700°C'nin üzerinde sinterlenir.

Yüksek spesifikasyon değerli refrakterler için çelik üreticilerinin gittikçe artan talepleri karşısında deniz suyu veya tuzlu sulardan magnezyum hidroksit $Mg(OH)_2$ üretilmesi yoluna gidilerek, yüksek saflıkta veya belirli kimyasal özelliklerde sinter magnezit üretim sağlanmıştır.

Amerika, Japonya ve İngiltere'de üretilen magnezit ürünlerinin büyük bir kısmı deniz suyu sinterinden elde edilmektedir. ABD, Meksika, İngiltere, İrlanda, İsrail, İtalya, Japonya ve Rusya'da büyük deniz suyu veya tuzlu su tesisleri bulunmaktadır. Magnezyum hidroksit, sedimanter bir oluşum şeklinde brusit minerali olarak bulunmaktadır.

Sinter magnezit üretiminde amaçlananlardan bir tanesi mümkün olduğu kadar yabancı oksitleri elimine etmek veya bazik ilaveler kullanarak bunları forsterit yahut dikalsiyum silikat gibi yüksek derecede refrakter olan bileşiklere dönüştürmektir. Spesifik kimyasal bileşimine ilaveten sinter magnezitin tane gözenekliliğinin de mümkün olduğu kadar düşük olması istenir. Çok az yabancı oksitlere sahip sinterlerde bile hacmen %3 ile %5'lik bir sinter gözenekliliğine ulaşılabilmektedir.

Magnezit tuğlalar pişirilebilir, katran emprenye edilebilir, reçine bağlı grafitli katran veya kimyasal bağlı (çelik saclı ve sacsız) üretilebilirler.

Pişmiş tuğla üretiminde, sinter magnezit tane iriliklerine göre ayrılır, kırılır, elenerek sınıflandırılır ve bağlayıcı ile harmanlanıp yüksek basınçlı preslerde şekillendirilir. Tamamen kurutulduktan sonra tuğlalar genellikle tünel fırınlarda 1500°C'nin üzerindeki sıcaklıklarda pişirilir. Sinter taneleri bu pişirme esnasında tekrar kristallendirme prosesiyle birleştirilir. Sinter üretimindeki prosese benzeyen bu proseste birçok silikatların ters etkisine rağmen demir bileşiklerinin yararlı etkisi görülmektedir. Daha iyi termal şok dayanımı göstermeleri nedeniyle çok düşük demir ihtiva eden magnezit tuğlalara olan talep gittikçe artmaktadır. Bu tuğlalar, düşük nisbette eriyik teşkil edici madde bulunduran sinter magnezitten üretilmektedir. Bunlar cam sanayiideki jeneratör örgülerinde ve aşınmaya dayanıklı örgü malzemesi olarak pik demir mikserlerinde kullanılmaktadır.

Katran emprenye etme diye adlandırılan proses, düşük demirli magnezit tuğlaların cüruflarına karşı direncini artırmak için uygulanmaktadır. Tuğlalar şekillendirilip pişirildikten sonra, gözenekleri yüksek nisbette zift içeren katranla veya ısı ve basınç altındaki ziftle emprenye edilmektedir. Normal gözeneklikteki tuğlaların ihtiva ettiği katran ağırlıkça %5–6 kadardır. Katran emprenye edilmiş düşük demirli magnezit tuğlalar bazik oksijen konvertörlerinde iyi bir kullanma ömrü sağlamaktadır. Benzeri sonuçlar katran bağlı düşük demirli magnezit tuğlalarda da alınmıştır. Katran bağlı tuğla için elenip sınıflandırılmış sinter magnezit zift ve karbonca zengin diğer malzemelerle 130-175°C'de karıştırılarak, bilinen
tuğla preslerinde şekillendirilir ve yavaş yavaş soğutulur.

Kimyasal bağlama diye adlandırılan metodun gelişmesi pişmemiş bazik tuğlaların kullanımını artırmıştır. Kimyasal bağlayıcı maddeler, genellikle

magnezyum klorürler ve magnezyum sülfatlar refrakter taneleriyle iyice karıştırılıp takriben 1000 kg/cm^2 basınçta preslenerek tuğla şekline dönüştürülmektedir. Eğer tuğla iç kısmında plakalanacaksa tuğla basılırken saclar da prese yerleştirilir. Şekillendirmeden sonra kurutularak tuğlaların soğukta dayanım kazanması sağlanır. Bu değer pişmiş tuğlaların dayanım değerini geçebilir. Bu tuğlalar istenilirse sacla kaplanabilir.

Bazı bazik tuğlalar sac kaplı olarak satılırlar. Tuğla ısıtıldığında sac erir ve ısıyla bağlanmış monolitik bir yapı meydana getirir. Sacla kaplama, hızlı ısıtmalardaki sıcaklık değişmelerine karşı kabuk atma ve parçalanma direncini artırır. Kimyasal bağlı tuğlalardaki sac kaplama, işletmeye alırken yüksek sıcaklıkta kimyasal bağı seramik bağa dönüşünceye kadar tuğlayı rijid tutmayı sağlar.

2.3.1.8.(2). Magnezit-krom

1930'lardan beri magnezit ve kromit karışımı tuğla geliştirilmiştir. 1930'larda krommagnezit tuğlaların kullanılması Siemens Martin fırınlarının refrakter malzemeleri için bir dönüm noktası olmuştur. Sinter magnezitle krom cevherinin birlikte kullanılmasıyla termal şoklara direnci yüksek, cüruflara dayanıklı ve yüksek refrakter özellikte tuğla üretilebilmiştir.

Krom cevheri ihtiva eden magnezit tuğlaların üretimi saf magnezit tuğla yapmakta kullanılan metoda benzer bir usulde yapılmaktadır. Pişirme sıcaklığı hammaddelerin saflık derecelerine bağlıdır; genellikle 1500 ile 1800°C'dir. Krom cevheri genellikle safsızlık olarak magnezyum silikat, hidrat ihtiva eder; refrakter olarak kullanım için bu miktar mümkün olduğu kadar az olmalıdır.

Sinter magnezit ve krom cevheri karışımı iyi bir hacim sabitliğine haiz olduğunda, kimyasal bağlayıcı maddeler yardımıyla; tuğlaya taşıma esnasında gerekli dayanım sağlanarak pişmemiş tuğla üretilebilir. Tuğlalar magnezyum sülfat, totanin veya benzeri kimyasal bir madde ile bağlanmakta ve genellikle sac kaplı veya iç kısmı da sac levhalı üretilmektedir. Takriben 0,5 mm incelikte sacla kaplama genellikle tuğla harmanı preslenirken yapılmakta ve böylece tuğlaya iyi bir yapışma sağlanmaktadır. Kimyasal bağlı tuğlalar, ısıtma esnasında kimyasal bağlayıcı

maddelerin ayrışması sonucunda dayanımlarını kaybettiğinden, tuğla kimyasal bağlı halden seramik bağlı hale geçene kadar, sac kaplama tuğlanın stabilitesini korumasını sağlar. Kimyasal bağlı bazik tuğlalar Siemens Martin fırınlarında büyük ölçüde kullanılmaktadır.

Krom cevheri bulunduran magnezit tuğlalar direkt bağlama diye bilinen prosesle de üretilebilir. Proses yüksek saflıktaki magnezit ve krom cevherlerinin seçimini gerektirmektedir. Bunun için harman bileşiminin iyi ayarlanması ve şekillendirmenin dikkatli yapılması ve çok yüksek sıcaklıkta pişirmeyle, silikatlar gibi, bilinen ara bağlayıcı bileşikler olmaksızın tanelerin bağlanması gerekmektedir. Bu tuğlalar çok yüksek sıcaklıklara dayanıklıdır, gerçekte ısıtıldıkça dayanımları artmaktadır. Yüksek sıcaklıklar ve cüruf teşekkülü ile birlikte fiziki darbenin etkisine maruz ortamlarda iyi bir kullanma ömrü vermektedir. Direkt bağlı tuğlalar da sacla kaplanabilir, sac şerit geçirilebilir veya sac klipslerle kenetlenebilirler ve böylece kimyasal bağlı tuğlaların bir alternatifi olarak kullanılabilirler.

Direkt bağlı bazik tuğlaların değişik bir türü de çok yüksek sıcaklıklarda pişirilmiş magnezit-krom sinteridir. Çeşitli oranlarda karıştırılan, biriketlenen magnezit-krom cevheri yüksek sıcaklıkta pişirilir. Oksikrom sinter elde edilir. Oksikrom kırılır ve nihai ürün tuğla halinde şekillendirilir. Bu tuğlalar tekrar bağlanmış tuğla olarak tanımlanır. Bu yolla üretilen bazik tuğlaların gözenekliliği çok düşüktür ve cürufların kimyasal ve mekanik etkilerine çok iyi dayanırlar.

Krom-magnezit refrakterlerde diğer bir gelişme de ergimiş döküm veya elektro döküm refrakterleridir ki bunlar düşük gözeneklilik, yüksek yoğunluk ve yüksek ergime noktası, iyi bir termal iletkenlik ve yüksek cüruf direncine haizdirler. Bu tip tuğlalar bazik oksijen konventörlerinin ağız kısımlarında tercihan kullanılmaktadırlar.

2.3.1.8.(3). Magnezit-karbon

Magnezit karbon tuğlalar 1960'lı yılların ortalarında A.B.D.'de geliştirilmiş fakat o zaman çelik üretiminde fazla kullanılmamıştır. 1970'li yılların sonlarında Japon çelik üreticileri su soğutmalı elektrik ark ocaklarında magnezit karbon tuğla

kullanmışlardır. Günümüzde elektrik ark ocaklarında, pota ocaklarında, bazik oksijen konventörlerinde yaygın bir şekilde kullanılmaktadır.

Cürufa karşı ve korozyona karşı direnci artırmak için karbon kullanılır. 3 çeşit karbon türü bulunur. Bunlar:

- Bağlayıcı karbon
- Karbon siyahı
- Tabii grafit

Magnezit ve grafit arasında daha uygun bir bağ yapısı elde etmek için pişirme sırasında katı karbona dönecek ve dolayısıyla toplam karbonu artıracak sıvı reçine veya zift kullanılır. Bu bağlayıcılar arzu edilen mukavemete ulaşmak için taneler arasındaki bağı sertleşerek ve 1000°C'den yüksek sıcaklıklarda karbon gruplarına dönüşerek oluştururlar. Eğer kalıcı karbon miktarı %7'den az ise karbon siyahı şeklinde normal karbon ilave edilir. Yüksek miktarda karbon gerekli olursa tabii pul grafit kullanılır; bu %25'e kadar varabilir. Grafit ilavesi düşük yoğunluk ve düşük soğukta basınca mukavemeti getirir. Aynı zamanda termal genleşme düşer, ısı iletkenliği ve termal şok direnci artar. Tuğla bünyesi daha esnek olmaktadır.

Karbon oksidasyonu birkaç yüz derecede başlar. Birçok değişik karbon kompenentinin yanma hızları değişik sıcaklıktadır. Bakiye karbon oranı yüksek karbon bağlı tuğlalarda grafit bileşimi önem kazanır. Amaç grafit yanma hızını mümkün olduğunca düşük tutmaktır. Bu % 2-8 kül içeren çok saf grafit kullanmakla mümkündür. Oksidasyonu frenlemenin bir diğer yolu da pul grafit kullanmaktır. Ayrıca, magnezyum, alüminyum, silikon gibi metalik ilaveler kullanılarak karbon oksidasyonu önlenir.

2.3.1.8.(4). Ziftli-Zift Emprenye

Tuğla üretiminde kullanılan ziftin fırın şartlarında distilasyon sonucu teşekkül eden karbon; tuğlanın cüruf veya metal ile temas eden sıcak yüzeylerinde koruyucu

görev yapar. Ziftin tuğlada en büyük özelliği taneler arasındaki boşluğu doldurması ve gözenekliliği düşürmesidir.

Belli tane dağılımına uygun olarak refrakter malzemelerden sıcak zift karışımı ile hazırlanan harman preslenerek şekillendirilir. Soğutularak paletlendiği gibi temper fırınında temperlenir.

Tuğlanın bünyesine giren ziftin miktarı, cinsi tuğlanın mukavemetini ve yoğunluğunu etkiler. Genel olarak karışıma %5 ağırlıkça zift ilave edilir. Yüksek oranda zift ilavesi bakiye karbon miktarını artırmakla beraber mukavemetini düşürür ve tuğlalar istifte birbirine yapışır. Temperleme, 230-320°C arasında presten hemen sonra temper fırınında direkt alev görmeden yapılır. Tuğlanın gözenekliliği düşer, mukavemeti artar. Elektrik ark ocaklarında ve bazik oksijen konverterlerinde ziftli tuğla kullanımı gittikçe azalmaktadır. Hatta elektrik ark ocaklarında tamamen karbon yüzdesi yüksek magnezit karbon tuğlalara geçilmiştir.

Pişirilmiş magnezit veya dolomit tuğlaların bünyesindeki boşluklara vakum altında zift emdirilmesine emprenye edilmesi denir. Emprenye işlemi; tuğlanın özelliği ve ziftle ilgilidir. Normal olarak pişmiş tuğlanın gözenekliliği %2–3 seviyesine kadar düşürülmektedir. Özellikle endüstri ocaklarında darbeye mukavemetin istendiği bölgelerde zift emprenye magnezit tuğla kullanılmaktadır.

2.3.1.8.(5). Dolomit

Dolomit, refrakter malzeme olarak 1880'lerden beri kullanılmaktadır. Dolomit çok bol ve kullanıma elverişli bulunan bir refrakter olduğundan çelik üretim tesislerinde büyük ölçüde kullanılmıştır. Uzun yıllar granüle halde veya katran bağlı bloklar halinde kullanılmıştır. 1930'lardan sonra yerini pişmiş tuğlaya bırakmıştır.

Dolomiti refrakter olarak kullanmak için, önce 1700 ile 1800°C'de pişirilerek ihtiva ettiği CO_2'in uzaklaştırılması lazımdır. Bu şekilde üretilen malzemeye sinter dolomit veya doloma adı verilmektedir. Basit olarak kireç ve magnezit karışımıdır. Dolomit rutubete karşı kireçten daha az olmakla beraber magnezitten daha hassastır. Serbest kirecin havanın rutubetiyle reaksiyona girmesiyle dolomitin hidratasyona uğrayarak dağılmasına engel olmak için tuğlalar genellikle katran yahut ziftle

kaplanmaktadır. Değişik ülke ve firmalara ait dolomit sinterinin tipik kimyasal özellikleri Çizelge 2.3'de verilmektedir (DPT, 2001; DPT, 2006).

Çizelge 2.3. Değişik ülkelere ait dolomit sinterinin tipik kimyasal özellikleri (DPT, 2006).

	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO
İngiltere	1,18	1,1	5,9	54,6	36,4
Amerika	0,7	0,3	0,9	57,7	40,4
Kümaş	0,7	0,5	0,9	55-59	36-40
Haznedar	0,5	0,5	0,3	60	39

Üç tür dolomit tuğla mevcuttur. Pişmiş, pişmiş stabil; pişmemiş katran ve reçine bağlı tuğlalar. Bunlardan sonuncusu ülkemizde sekonder metalurji potalarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Pişmiş stabil tuğla üretimi İngiltere'de 1970'lerin başında durduruldu. Katran ve reçine bağlı tuğla üretmek için dolomit kırılıp sınıflandırılmakta, katran, zift veya reçine ile karıştırılmakta ve hidrolik veya vibrasyonlu preslerde şekillendirilmektedir. Katran ve reçine bağlama esas itibariyle bir düşük sıcaklık bağlaması olup, tuğla fırına yerleştirilene kadar dayanmasını sağlar. Tuğlalar, fırın içinde proses esnasında pişmektedir.

2.3.1.8.(6). Forsterit

Forsterit refrakterler birçok endüstride fırın örgü malzemesi olarak kullanılır. Yüksek sıcaklıklara dayanımı, hacim stabilitesi ve kabuk atma dayanımının yüksekliği ile karakteristiktir. 150°C'de ısıtıldığında çekmesi önemsizdir. Forsterit tuğla, düşey ve döner kireç fırınlarının yüksek sıcaklıktaki zonlarında, refrakter dolomit fırınlarında, cam ergitme fırını rejeneratörlerinde, değişik metalurji fırınlarının kapaklarında en iyi servisi vermektedir.

Forsterit alkali buharlarının eriyik ve ıslak etkilerine dayanımı yüksektir. Olivin hammaddesiyle bilinen forsterit pişmiş tuğla prosesine uygun olarak üretilir.

2.3.1.9. Seramikler

2.3.1.9.(1). Taşıl Seramikleri

Çok sıkı yapıya sahip ve genellikle üzeri bir sırla kaplı özel seramiklerdir. Dış yüzeylerinin sırlı oluşu ve sıkı bir yapıya sahip oluşu nedeniyle su tutma kapasiteleri % 0,1'in altındadır. Dayanımı poroziteye ve mineral yapıya bağlıdır. Florik asidin dışında tüm asitlere dayanıklıdır. Bu seramiklerin eğilme dayanımları diğer seramiklerde olduğu gibi düşüktür.

3200 litre'ye kadar sabit tanklarda, demir yollarında asit taşıma tankları, metal dağlama ve galvaniz banyolarında tekneler, manşon ve flanş boruları, kısma vanaları, karıştırma kazanları, soğutma dolapları yapımında kullanılır.

2.3.1.9.(2). Vicro Seramikler

Özel bir malzeme grubunu oluşturur. Üretim prosesi ve form verilmesi camlara benzer. Form vermeden sonra ürünlere ışıl işlem uygulanır. Busırada kristalin form yapısında çok ya da az tam dönüşme meydana geldiğinden daha sonra ısıl olarak tekrar şekil verilemez. Düşük ısıl genleşmeli vitro seramik Li_2O-MgO-Al_2O_3-SiO_2 sistemindedir. Li_2O çekirdek teşekkül ettiricidir. Bunların ısıl genleşme katsayıları düşüktür hatta negatif değerdedir. Radar antenleri için gövde, uçak parçaları, roket burunları, kompresörler için türbin kanadı ve taban plakaları kullanım yerleridir.

2.3.1.9.(3). Özel Seramikler

2.3.1.9.(3).(a). Sinter Korund (Korundum)

En geniş kullanıma sahip oksit seramik malzemedir. Yalnızca α–Al_2O_3'den meydana gelir ve sıcaklık yükselmesinde dönüşüm meydana getirmez. Yüksek sıcaklıklarda elektriksel izolatör olarak kullanılır. Ayrıca metallerin eritilmesinde pota malzemesi olarak kullanılır.

2.3.1.9.(3).(b). Silisyum Karbür

Özel seramikler içinde ısı iletme yeteneği en üstün olan seramik malzemedir. Bu özelliği termal şok işleminde gerilmelerin bir kısmını ısı artışı ile dengelenmesine neden olur. Pota malzemesi olarak ve kazanlarda ateş tuğlası olarak kullanılır.

2.3.1.9.(3).(c). Karbon Refrakter

Karbon refrakterlerin üretiminde farklı tane büyüklüğünde öğütülmüş kok, granit ve antrasit ilave edilerek ve bağlayıcı madde (kömür katranı) katılarak karıştırılır, preslerde plastik şekil verilir. Daha sonra form parçalar en fazla 1400°C'de pişirilir. Makine tesis yapımında karbon refrakterler kullanılır. Ayrıca ark fırınlarında ve elektroliz tesislerinde elektronlar, boru donanımları, kaynamalı yatak, sürekli döküm için kalıplarda kullanılır.

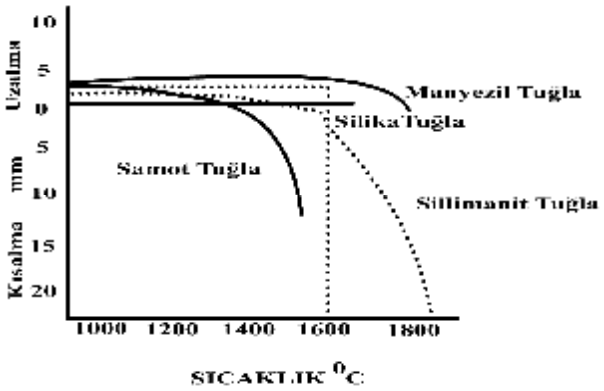
2.3.1.9.(3).(d). Porselen

Porselen saf kaolen, feldispat ve kuvarstan üretilen beyaz renkli bir seramik malzemedir. Yapısı oldukça sıkıdır. İnce kesitlerde saydam özellik gösterir. Hammaddeler yaklaşık % 50 kaolen , %25 feldispat ve %25 kuvarstan oluşur. Şekil verme, sürekli presleme ya da döküm şeklinde olur. Pişirme sırasında kaolenden ince kristal halde mullit meydana gelir. Kaolen esaslı mullit iğnelerinin içerisinde alkali difüzyonu sonucu feldispattanda fazı teşekkül eder. Kuvars feldispat eriği ile reaksiyona girer ve porseleni oluşturur. Boru ve armatürler için pompalarda, reaksiyon kazanı ve vakum aparatlarında, öğütme kabı yapımında, küresel değirmenlerin kaplanmasında ve laboratuar porseleni olarak kullanılır.

2.4. Refrakter Malzemelerin Teknik Özellikleri

2.4.1. Mukavemet

Refrakter malzemelerin en önemli özelliği yük altında şekil değiştirmeye karşı göstermiş oldukları dirençtir. Refrakter malzemelerin soğukta basma dayanımına malzemenin yapısı ve özellikle gözenek miktarı oldukça fazla etki edebilir. Kural olarak cam fazının miktarının yükselmesiyle dayanım artar. Fırın içerisinde kullanım için bu yeterlidir. Taşıma esnasında kayıpları önlemek için en azında 3 Mpa dayanım gereklidir. Mekanik dayanım ve aşınma direnci yaklaşık 1000°C' ye kadar durumunu muhafaza eder. Daha yüksek sıcaklıklarda cam fazının artmasıyla birlikte aşınma dayanımı azalır (DPT, 2006) (Şekil 2.1; Çizelge 2.4).



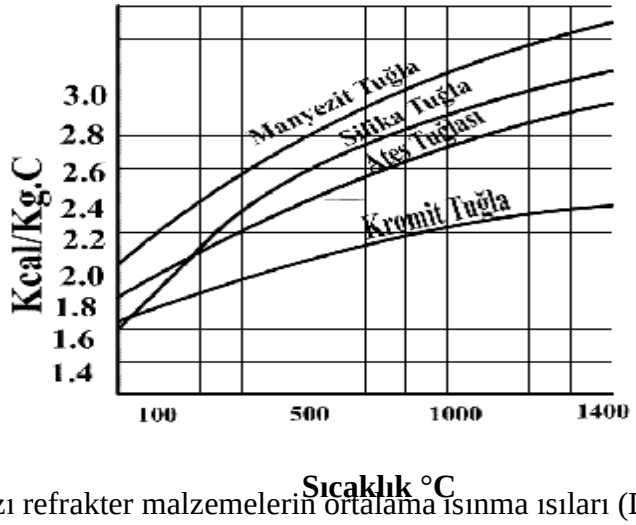
Şekil 2.1. Bazı refrakter malzemelerin basınç altında yumuşama eğrileri (DPT, 2006)

Çizelge 2.4. Bazı refrakter tuğlaların önemli özellikleri (DPT, 2006)

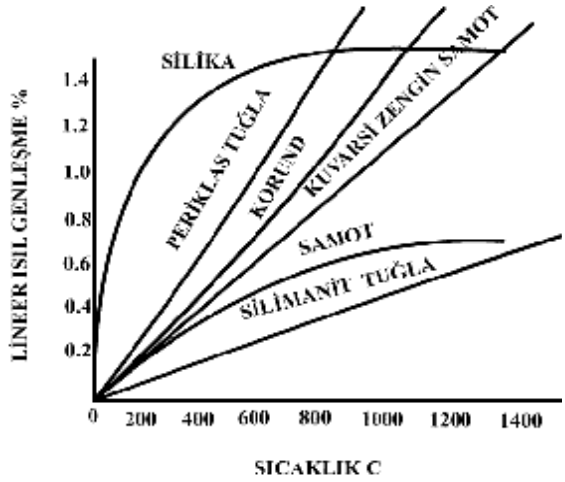
Malzeme türü	Soğukta basma dayanımı (MPa)	Elastiklik modülü (GPa)	Poisson sabiti	Yoğunluk
Silika tuğla	15-50	11-25	0,6-0,25	1,8-2,2
Şamot tuğla	13-60	24-30	0,20-0,40	1,8-2,2
Periklas tuğla	30-100	110-140	0,19-0,30	2,8-3,3
SİC tuğla	30-90	-	-	2,3-2,8
Karbon tuğla	20-60	12-13	0,21-0,23	1,3-1,6
Ateş tuğlası	3-10	2-8	0,12-0,17	0,4-1,2
Al_2O_3	196-300	240-400	0,2-0,3	3,3-3,6

2.4.2. Isıl İletme Katsayısı

Çoğu zaman refrakter malzemenin görevi yüksek sıcaklıklı reaksiyon ortamını dıştan perdelemek ya da mufl fırınlarda aksine olarak sıcak ortamdaki ısıyı fırın içerisine taşımak olabilir (Şekil 2.2). Yapısal düzenlerinden dolayı camların ısı iletme katsayıları özgül ısı ya göre değişir ve ısı iletme kabiliyeti sıcaklık yükseldikçe artar (Şekil 2.3). 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 (DPT, 2006).



Şekil 2.2. Bazı refrakter malzemelerin ortalama ısınma ısıları (DPT, 2006)



Şekil 2.3. Bazı refrakter tuğlaların lineer genleşme yüzdeleri (DPT, 2006)

2.4.3. Isıl Genleşme Katsayısı

Refrakter malzemelerin ısıl genleşmesi fırın yapımında büyük önem taşır. Duvarların genleşmeyle uzaması genleşme boşluklarıyla karşılanmalı ve böylece yüksek gerilmeler sonucu tahribat meydana gelmesi önlenmelidir. Camlarda olduğu gibi ısıl genleşme seramiklerde de sıcaklık dayanımı da etkilemektedir. Genellikle ısıl genleşme tersinirdir ve düzenlidir. Ancak silika tuğlada olduğu dibi kuvars içeren malzemeler bir ayrıcalık oluşturur.

2.4.4. Isıl Şok Dayanımı

Isıl şok dayanım refrakter malzemelerin önemli özelliğidir. İşletme esnasında ısıtma ve soğutma veya sıcaklık salınımları malzemenin yüzeyi ve merkezi arasında sıcaklık farkları ve bunun sonucu olarak ısıl genleşme gerilmeleri meydana getirir. Isıl gerilmeler malzemenin dayanımını aşarsa çatlaklar ya da kopmalar meydana getirerek malzemeyi tahrip eder.

2.5. Üretim ve Tüketim

2.5.1. Teknoloji ve Üretim Yöntemi

Refrakter malzemeler, üretim yöntemi açısından üç grupta toplanabilir;

1. Şekilli refrakterler (tuğla)
2. Şekilsiz refrakterler (harç)
3. Prefabrik refrakter elemanları

Refrakter ürünlerinin üretiminde teknolojik seviye olarak, en ileri teknolojiye sahip ülkelere göre ülkemizi karşılaştırdığımızda büyük farkların olmadığı görülmektedir. Bilindiği üzere teknolojiyi belirleyen ana unsurlar şöyle sıralanabilir:

- Kullanılan hammadde, katkı ve bağlayıcıların cinsi ve kalitesi
- Makine-ekipman (kapasite ve fonksiyonları)

• Bilgi birikimi
• Araştırma tesis ve imkanları
• Yetişmiş insan gücü

2.5.1.1. Şekilli Refrakterler (Tuğla)

Farklı kimyevi orijinli (alümino-silikat, bazik gibi) refrakter hammaddelerinden üretilen şekilli refrakterlerin (tuğlalar) üretim yöntemleri birbirine benzemekle beraber uygulamada bazı farklılıklar göstermektedir.

Refrakter hammaddelerin bir kısmı kalsine veya sinterleştirildikten sonra harmana dahil edilirken (şamot, sinter magnezit gibi) bir kısmı yalnız zenginleştirdikten sonra (kromit, vb.) harmana doğrudan ilave edilir.

2.5.1.1.(1). Alümino-Silikat

Alümino-silikat refrakterlerde ana hammadde şamot kili, şiferton, bağlama kili, andaluzit, boksit, vb.'dir. Şamot kili ve şiferton, kırılıp, ayıklandıktan sonra fırınlarda pişirilirler. Bu işlemde, şamot kili plastik özelliğini kaybeder ve içerisindeki organik maddeler yanarak uçucu safsızlık derecesi azalır. Şiferton esasta plastik olmadığı için pişirme bu hususta bir etki yapmamakla beraber, içerisinde fazla miktarda bulunan organik maddelerin ve yabancı minerallerin bazı ilave işlemlerle giderilmesine yarar. Şamot kilinin pişirilmesinde yaş sistem ve/veya kuru sistem uygulandığı gibi, pişirme işlemi düşey fırınlarda, döner fırınlarda veya tünel fırınlarda yapılabilir. Şiferton çoğunlukla döner fırınlarda pişirilir.

2.5.1.1.(2). Silika Tuğlalar

Silika ve silisli mamullerin ana maddesi kuvarsit ve silis kumudur. Buna bazı bağlayıcılar ve katkı maddeleri ilavesi ve karıştırılması suretiyle şekillenmemiş; karışımın preslenmesi ve pişirilmesi suretiyle şekillenmiş mamuller ve silisli

mamuller elde edilir. Karışımın oranları ve katkı minerallerinin cinsleri, mamulde aranan özelliklere göre ayarlanır.

2.5.1.1.(3). Grafitli Reçine Bağlı Alümina ve Magnezit Tuğlalar

Bu tuğlalarda andaluzit ve magnezit dışında ana girdi yaprak grafittir. Andaluzit veya sinter magnezit istenen tane boyut aralığına kırılır, elenir ve ayrı ayrı depolanır. Bağlayıcı olarak fenolik veya novalak reçine kullanılır. Dünyada sıcak veya soğuk sistem olmak üzere iki karıştırma işlemi bulunmaktadır. Ülkemizde soğuk ve sıcak proses uygulanmaktadır. Şekillenen grafitli tuğlalarda kullanılan bağlayıcıların uçucularının giderilmesi, bağların teşekkülü için her fabrikanın kendi teknolojilerine göre hazırlanan kür eğrilerine göre temperlenir.

Grafitli tuğlalarda ölçü toleransı çok önemlidir. Ayrıca muhtelif kullanım yerlerinde, fırın şartlarının reaksiyonların etkilerine karşı koyabilecek çok özel kaliteler için doğal sinter magnezitle birlikte veya yalnız başına deniz suyu sinteri, fused magnezit, fused alümina malzemeler kullanılır. Oksidasyon direncini artırmak için muhtelif katkı malzemeleri de ayrıca ilave edilir.

2.5.1.1.(4). Silisyum Karbür Tuğla

Ana girdi silisyum karbür ve bağlama kilidir. Silisyum karbür kırma, öğütme, eleme işlemi ile tane boyut aralıklarına ayrılır; bağlama kili de kurutulduktan sonra aynı işlemlere tabi tutulur.

Fraksiyonlara ayrılan girdilerin tartma, dozajlama, karıştırma işlemi ile hazırlanan harman preslenerek kurutulur. Pişirildikten sonra kalite kontrolden geçirilir ve ambalajlanır.

2.5.1.1.(5). Bazik Refrakter Tuğlalar

Bazik refrakterlerin ana hammaddeleri, sinter magnezit, kromit ve katkı maddeleridir. Katkı maddelerinden spinel, oksikrom sayılabilir. Hammaddeler

istenen tane boyut aralıklarına kırılır, elenirve ayrı ayrı depolanır. Tartma, dozajlama işlemi sonrası sıvı bağlayıcılarla karıştırılır ve preslenir.

Saclı tuğla üretiminde; presleme esnasında hazırlanan sac form kullanılır. Kurutma sonrası kalite kontrolden geçirildikten sonra ambalajlanır. Kimyasal bağlı tuğlalarda da, saclı tuğlalara benzer yöntem tatbik edilir.

Pişmiş tuğlalar ise kurutma sonrası tünel fırınlarda 1600-1700°C'lerde pişirilir. Belirlenen standartlara göre kontrolden geçirilir ve ambalajlanır.

2.5.1.1.(6). Ziftli Tuğlalar

Ana girdi sinter magnezittir. Karbon siyahı, grafit gibi bazı katkı maddeleri kullanılmaktadır. Bağlayıcı olarak zift, eritme tankında ısıtılarak hazırlanır.

Sinter magnezit diğer tuğlalarda olduğu gibi kırılarak, öğütülerek, elenerek tane boyut aralıklarına ayrılır ve depolanır. Tartma, dozajlama işlemi ile birlikte istenen viskozitede hazırlanan sıcak sıvı zift, proses adımlarına uygun olarak karıştırılır, preslenir. Kasetlere yerleştirilen tuğlalar kavurma fırınında 300–320°C'de uçucuları uçurularak bağ teşekkülü tamamlanır. Kalite kontrolden sonra ambalajlanır

2.5.1.2. Şekilsiz Refrakterler (Harç veya Monolitik)

Şekilsiz refrakterler uygulama şekline göre başlıca, dövme harçları, döküm harçları, püskürtme harçları, sıvama harçları, örgü harçları olarak sınıflandırılır. Bu gruplama; uygulama şekli harçların tane dağılımı, tane büyüklüğü ve bağlayıcı cinsi ile doğrudan bağıntılıdır. Bazı harçlar granüle olarak, bağlayıcı konulmadan uygulanır ve yerinde sinterlenir.

Üretim yöntemi, tuğla üretiminde olduğu gibi ana girdiler kırma, öğütme, eleme işlemi ile tane fraksiyonlarına ayrılır. Bağlayıcıların tamamına yakını toz ve kurudur. Tartma, dozajlama sonrası karıştırıcıda harman hazırlanır. Harman kalite kontrolü yapıldıktan sonra istenen ambalaja göre torbalanır, palet veya sandıklanır. İsteğe göre büyük boy çuvallı (big bag) olarak satışa sunulur.

2.5.1.3. Prefabrik Refrakter Elemanları

Özel şekilli veya değişik refrakter malzeme gruplarından oluşan prefabrik refrakter astar bütün olarak belli bir ömrün sonunda değiştirilir. Prefabrik refrakter elemanları ülkemizde de üretilmeye başlanmıştır. Bu uygulama refrakterin en çok tüketildiği demir çelik sanayinde yaygındır. Demir çelik sanayinde ark ocağı yolluğu, döküm deliği bloğu, sürgü sistemleri, gaz üfleme sistemleri, tandiş plakları ve ark ocağı delta bölgesinde kullanılmaktadır.

Gaz üfleme sistemleri dışında, ülkemizde yaygın olmasa da başlangıç çalışmalarında oldukça iyi bir mesafe alınmıştır. Soğuk tandiş plakaları üretimi arzu edilen kalite ve miktara erişmiştir. Soğuk tandiş plakası üretiminde yöntemi, teknolojik akım şemasından da izlenebileceği üzere ana girdi silis kumudur. Bazik esaslı tandiş plakasında ana girdi sinter magnezittir. Kırma, öğütme, eleme işlemi ile tane boyut aralıklarına ayrılarak depolanır. Tartma, dozajlama öncesi pup ve dinlendirme tanklarından geçirilir. Katkı malzemeleriyle birlikte, silis kumu belirlenen reçeteye göre alınır. Bağlayıcı ile birlikte karıştırılır. Vakum ve presleme işleminden sonra fırınlanır. Kalite kontrolden geçirilerek ambalajlanır.

2.5.2. Teknoloji ve Refrakter Hammaddeler

Refrakter malzeme üretimi uluslararası bir iştir. Gelişen tüketim teknolojileri en sofistike ürünleri, en saf hammaddeleri talep etmekte, bunları dünyanın herhangibir köşesinden temin edip, büyük bir titizlikle tüketmektedir. Hammadde niteliğindeki talepler değişik türden konsolidasyonlara neden olmuş; daha saf hammadde için değişik cevher zenginleştirme teknikleri, değişik sentetik ürünler geliştirilmiştir. Tabular alümina, ergimiş (fused) ürünler, sentetik spinel vs. hep bu taleplerin sonuçlarıdır (Jarvis, 1997; Kendal, 1995; O'Driscoll, 1996; Wellborn, 1995). 1970'lerde 1 ton çelik üretimi için 40 kg refrakter kullanılırken, bugün Japonya'da bu rakam 10 kilogram'ın altına düşmüştür. Bu rakamlar nitelikli refrakter hammadde ve nitelikli ürün anlamını taşımaktadır.

2.5.2.1. Gelişmeler ve Yönelimler

Refrakter ürünlerin %65-70 kadarı demir-çelik sektöründe tüketilmektedir (Çizelge 2.5). Genelde tüm dünyada çelik üretimi az miktarda artarken Avrupa ve Japonya'da artış eğilimi göstermemekte, ABD'de ise azalmaktadır. Ancak çelik üretim proseslerindeki değişiklikler, teknolojik gelişimler ve daha kaliteli ürün talebi nedeniyle refrakterın toplam tüketim tonajı düşmektedir. Demir-çelikte refrakter kullanımını birkaç ana bölümde ele almak mümkündür: Sıcak metal üretiminde (yüksek fırın), bu metalin çelikhaneye taşınmasında, çelik yapımında, rafmasyonunda ve sürekli dökümde; bir kısım refrakter ise yeniden ısıtma fırınlarında tüketilmektedir. Bu tüketimin göreceli dağılımı Erdemir örneğinde Çizelge 2.6'da verilmiştir (DPT, 2006).

Çizelge 2.5. Refrakter tüketiminin sektörel dağılımı (DPT, 2006)

Ürünler	Sektörel dağılım (%)
Demir-çelik	69,1
Çimento	8,9
Bakır	0,4
Blister bakır	1,64
Metalürji	1,2
Şişe-cam	1,7
Kireç (Şeker)	0,9
Kireç	0,4
Döküm	0,9
Diğer	14,9

Çizelge 2.6. Demir-çelik sektöründe refrakter kullanım oranları (Sezer, 1994)

Kullanım Alanları	Kullanım oranı (%)
Yüksek Fırınlar	10-15
Torpidolar	3-6
Çelikhane	60-70
Döküm Potaları	40-50
Konvertörler	16-18
S. Metal Potaları	1-2
Sürekli Döküm	12-14
Sıcak Haddehane	4-7
Soğuk Haddehane	0,5-1,5

Sıcak metal eldesi için tüketilen kokun imalinde silika tuğla kullanılır. Günümüzde silika tuğla değiştirilmesi gittikçe artan aralıklarla yapılmaktadır. Yüksek fırın sıcaklığı arttığı için bu fırınlarda şamot tuğla yerine yüksek aluminalı tuğla tercih edilmekte olup, SİC ve izolasyon kullanımı da artış kaydetmektedir. Bunlara ilaveten yüksek fırında tüketilen karbon ürünlerin kalitesi artmakta, ayrıca grafit, özel katkı ve sıcak tamir monolitik kullanımları da artış göstermektedir.

Sıcak metalin çelikhaneye naklinde torpido arabaları yaygınlaşmaktadır. Bu arabalarda çalışma astarı olarak şamot tuğla kullanımı, yerini tamamen yüksek aluminalı tuğlalara bırakmıştır.

Metalurjik ön işlemlerin uygulanmaya başlanmasıyla Alumina-SİC-Grafıt (ASC) refrakter kullanımı artmış olup, önümüzdeki yıllarda daha da artacağı tahmin edilmektedir. Çelik yapımında bazik oksijen fırınları 1950'lerde geliştirilince refrakter kullanımı da azalmıştır. 1970'lerde zift bağlı doloma astar yerini daha sonraları magnezya-doloma ve magnezya astara bırakmış: 1970'lerin sonunda zift bağlı magnezya astar uygulamasına geçilmiştir. 1980'lerde ise grafit ve reçine katkılı magnezya-karbon ürünler, ergimiş magnezya katkıları performansı arttırmıştır. Bazik esaslı sıcak tamir harçları ise en çok BOF'lerde uygulanmaktadır. Çelik imalinin diğer bir şeklini teşkil eden elektrik ark ocaklarında ise panel soğutmayla birlikte yüksek aluminalı ve mag-karbon tuğlaların kullanımı sürmektedir. Argon-oksijen dekarbürlemede ise koklinker ve magnezya-krom tuğlalardan doloma astara geçiş gerçekleşmiştir.

İmal edilen çeliğin döküme taşınmasında kullanılan potalarla sekonder çelik yapımında kullanılan potalar, çelikhanede en çok refrakter tüketen yerlerdendir. Potalarda sıcaklığın artmasıyla şamottan yüksek alumina ve doloma tuğlalara, daha sonra da mag-karbon, doloma-karbon ve kısmen spinel astarlara geçilmiştir. Çevre problemi nedeniyle kromlu ürün kullanımı azalmaktadır. Ayrıca bazik püskürtme, ergimiş aluminalı ve spinelli prefabrik ürün kullanımıyla kendiliğinden akan dökme refrakter tüketimi de artmaktadır.

Çeliğin dökümünde ise alümina, magnezya, zirkonya esaslı refrakterler bazen yüksek saflıkta grafit katkısıyla kullanılırlar. Bu tür malzemeler özel şekillerde biçimlendirilirken özellikle tandişlerde monolitik refrakter şeklinde uygulanırlar.

2.5.2.2. Popüler Refrakter Hammaddeler

Ülkemiz açısından da ayrı bir önem gösteren refrakter hammadde manyezittir. Bu nedenle sinter manyezit değerlendirmesini değişik kıstaslara bağlı olarak vermek daha yararlı olacaktır (Clarke, 1993; Kendal, 1996). Refrakter açıdan sinter manyeziti birkaç sınıfa ayırmak mümkündür: LCA1, Al, Bl, B2, Cl, FE (Çizelge 2.7).

Çizelge 2.7. Refrakter manyezit sınıflaması (Clarke, 1993; Kendal, 1996)

Sınıf	%MgO	CaO/SiO_2	Bulk Yoğunluğu
LCA1	>97	>4:1	>3,43 Kristal Büyük >110µ
Al	>97	>3:1	>3,40
Bl	>96	>2:1	>3,33
B2	>95	<2:1	>3,25
Cl	>90	<2:1	>3,10
FE	>85	<2:1	>3,20 (Fe_2O_3 >%4,0)

Genelde en üst kalite sinter manyezitte silika oranı % 0,6'nın altında, tercihan %0,3'ün de altındadır. Deniz suyundan elde edilen ürünün B_2O_3 oranının ise %0,015'in altında olması istenir. Periklas kristal büyüklüğünün ise %0,6 üzerinde olması tercih nedenidir. Yukardaki sınıflama kabulü, ülkelere göre değişebilmektedir. Örneğin ABD'de kristal büyüklüğü Avrupa'dakı kadar önemli sayılmamaktadır. Özellikle sekonder çelik imalinde popüler durumunu sürdüren doloma refrakterlerin çıkış hammaddesi dolomittir (O'Driscoll, 1993).Refrakter dolomada MgO oranı genelde %36'nın üzerinde olup silis oranının %1,5'un altında olması istenir, yığın yoğunluğu ise 3,4 g/cm'e kadar çıkar.

Yüksek alumina kaynağı olarak en fazla tüketilen hammadde boksittir. Refrakter sektöründe boksit gerek kafsine, gerekse alumina şekliyle tüketilir. Kalsine boksitte $A1_2O_3$ oranı en az %85, Fe_2O_3 oranı maksimum %2, TiO_2 maksimum %4, ateşte zayiat en fazla %5 olması beklenir; alkaliler ise mümkün olduğunca düşük olmalıdır (%0,2-0,6).

Bulk densitenin ise minimum 3,1 g/cm^3 olması talep edilir. Bazı uygulamalarda bulk yoğunluğu içermektedir. Bu nedenle yüksek sıcaklıkta kristal bağlar daha az ayrılma gösterir ve cürufa direnç bu tür ürünlerde daha yüksektir. Yüksek performans eldesi için ergimiş magnezya sinter manyezitle birlikte kullanılır. Ergimiş magnezyada MgO oranı %96'mn üzerinde olup CaO:SiO_2 oranı genelde 2:1, yığın yoğunluğu >3,50 g/cm %99'un üzerinde MgO içeren ergimiş magnezya türleri ise nükleer reaktörlerde kullanılabilmektedir. 2,90 g/cm^3 olan kalsine boksitler kullanılabildiği gibi özel uygulamalar için 3,25 g/cm^3 değerinin üzerine çıkılır (Loughbrough,1993; O'Driscoll, 1995).

Kalsine, reaktif ve sinter alumina yüksek performanslı refrakter malzeme imalinde aranan hammaddelerden olup, bu malzemelerin kullanımı kalsine boksit aleyhine gelişmektedir. Kalsine alümina genelde %75'in üzerinde korundum içerirken sinter alumina tamamen korundum yapısmdadır (Kendall, 1995). Ergimiş olarak kullanılan alumina çeşitlerinden kahverengi ergimiş alumina kalsine boksitten elde edilirken, beyaz ergimiş alumina ise bayer prosesi aluminasindan elde edilir. Kahverengi ergimiş aluminada Al_2O_3 oranı %96'ya kadar düşebilirken, beyaz ergimiş aluminada ise Al_2O_3 oranı %99'un üzerindedir. Beyaz ergimiş alumina genelde Na_2O oranına göre sınıflandırılır. %0,4; 0,18; 0,05 oranları sınıflamanın temelini oluşturur. Ergimiş aluminada kristal büyüklüğü 2000µ'un üzerindedir.

Refrakter sektöründe tüketilen grafit ise gerek amorf, gerekse kristalize şekliyle kullanılır. Yüksek kalite mag-karbon tuğlalarda minimum %85 karbon içerikli, 150 µ üzeri yaprak grafit tercih edilir. Bu tür grafitlerde kül oranı %2'nin altında olmalıdır (Hand, 1996; Harries-Rees, 1993). Oksit olmayan refrakter malzemelere en iyi örnek ise silisyumkarbürdür. SİC kalitesini ve saflığını en iyi belirleyen özellik rengidir. Açık yeşil renk en saf silisyumkarbürü simgeler (%99,8 SİC). Koyu yeşil silisyumkarbür ise %99,5 dolayında SİC içerir. Siyah silisyumkarbür (%99 SİC) refrakter amaçlı olarak kullanılabilir. Refrakter uygulamalarında silisyumkarbür içinde silisyumnitrür bağı kaliteyi yükseltmek amacıyla tercih edilir. Silisyumkarbürün refrakter monolitik alanında kullanımı hızla artmaktadır (Skillen, 1993).

2.6. Yurtiçi Tüketimi

1993 yılında 122,681 ton olan bazik refrakter tüketimi 2000 yılında 138,452 ton'a, 2005 yılında 149,954 ton'a çıkmıştır. 12 yıllık tüketim artışı %22'dir. 1993 yılında 93,672 ton olan alümino-silikat refrakter tüketimi 2000 yılında 61,881 ton'a, 2005 yılında ise 58,923 ton'a düşmüştür. 12 yıllık tüketim düşüşü %60'dır (Çizelge 2.8).

Refrakter endüstrisinin stratejik önemi vardır. Refrakter malzemelere olmasa sanayi hammaddeleri olan çelik, cam, çimento, alüminyum, tuğla, porselen, tren, araba gibi ürünlerin üretimi olmayacak ya da istenilen verim alınmayacaktır. Yurt içi refrakter tüketiminin yıllar bazında sektörel dağılımı Çizelge 2.9'da verilmiştir (DPT, 2006).

Çizelge 2.8. 2000–2005 dönemi refrakter üretim ve tüketim dengesi (ton) (DPT, 2006).

	2000	2001	2002	2003	2004	2005
Üretim	218.572	228.915	234.467	248.633	266.964	282.678
İthalat	40.240	30.975	41.389	44.118	38.623	47.493
İhracat	35.942	41.110	48.043	57.829	64.821	88.950
Yurt İçi Tüketim	222.870	218.780	227.813	234.922	240.766	241.221
İthalat/Tüketim	0,18	0,14	0,18	0,19	0,16	0,20
İhracat/Üretim	0,16	0,18	0,20	0,23	0,24	0,31

Çizelge 2.9. Yurt içi refrakter tüketiminin sektörel dağılımı (1999-2002) (ton)

Sektörler	1999		2000		2001		2002	
	Toplam	%	Toplam	%	Toplam	%	Toplam	%
Demir Çelik	160.232	73,65	143.311	71,66	143.272	71,84	146.213	72,50
Çimento	37.428	17,20	37.267	18,64	36.181	18,14	34.960	17,33
Bakır Sanayii	1.058	0,49	963	0,48	983	0,49	1.098	0,54
Metalurji Sanayii	133	0,06	144	0,07	158	0,08	165	0,08
Şişe Cam	4.487	2,06	6.115	3,06	6.514	3,27	6.350	3,15
Kireç Sanayi (Şeker)	1.805	0,83	1.805	0,90	1.756	0,88	1.886	0,94
Kireç Sanayii	3.107	1,43	2.690	1,34	2.579	1,29	2.836	1,41
Döküm Sanayii	9.320	4,28	7.687	3,84	7.982	4,00	8.179	4,06
Genel Toplam	217.570	100	199.982	100	199.425	100	201.687	100

Çizelge 2.9. devamı (DPT, 2006)

Sektörler	2003		2004		2005	
	Toplam	%	Toplam	%	Toplam	%
Demir Çelik	156.016	73,91	160.999	74,37	153.173	73,42
Çimento	34.109	16,16	33.441	15,45	32.805	15,72
Bakır Sanayii	1.135	0,54	1.240	0,57	1.215	0,58
Metalurji Sanayii	174	0,08	176	0,08	171	0,08
Şişe Cam	6.442	3,05	6.665	3,08	6.752	3,24
Kireç Sanayi (Şeker)	1.860	0,88	2.043	0,94	2.010	0,96
Kireç Sanayii	3.019	1,43	3.079	1,42	3.133	1,50
Döküm Sanayii	8.341	3,95	8.847	4,09	9.376	4,49
Genel Toplam	211.096	100	216.490	100	208.635	100

2.7. Avrupa Birliği Refrakter Sanayisi Profili

Refrakter sanayisinde ana sanayi dalı seramik sektörüdür. Bu sektörde 24 bin çalışan, 5 milyon ton refrakter ve 3,75 milyar euro devir etmektedir. Refrakter sanayisi yüsek rekabete maruz kalmaktadır. Üretilen malın %35-45'i ihracat edilirken, tüketilen refrakterin %15-20'si başta Çin olmak üzere diğer ülkelerden ithal edilmiştir.

3. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Orhun, (1972) "İthal Edilen Bazı Refrakter Harçların Yerli Hammaddelerle Yapım Olanağı" başlıklı çalışmasında; ateşe dayanıklı harçlar hakkında genel bilgi verip, daha sonra Türkiye'ce ithal edilmekte olan bazı refrakter harçların yerli hammaddelerle yapımı konusunda yaptığı bir araştırmanın sonuçlarını bildirmektedir. İncelenen harçlardan bazılarına yaklaşık özelikteki harçların yerli hammaddelerle yapımının mümkün olduğu, diğer bazı harçların yapımı için ise, yurdumuzda yeterli rezervi bulunmayan kiyanit (disten) mineralinin gerektiğini tespit etmiştir.

İnel ve arkadaşları (2001), ''Pomzalı Betonların Refrakter Amaçlı Kullanımı" başlıklı çalışmalarında; pomza ve portland çimentosu içeren monolitik refrakterlerin geliştirilmesine ilişkin deney sonuçlarını verip, Andreasen eşitliği doğrultusunda üç farklı agrega iriliği kullanarak ASTM standartlarına uygun N sınıfı izole monolitik refrakter bileşimlerinin eldesini denemişlerdir. Nevşehir yöresinden temin edilen pomza örneğinin kimyasal ve mineroiojik analizlerini yapıp, ASTM standartlarına uygun olarak hazırlanmış deney numunelerinin kuruma ve 925°C pişme sonrası hacim ağırlıkları, küçülme değerlerini ve pişmiş dayanımlarını belirlemişlerdir. ASTM sınıflandırma standardı ile kıyaslamak üzere yapılan değerlendirmede en iyi değerler olarak kuruma sonrası hacim ağırlığı 0,94 gr/ cm^3, 925°C sonrası pişme küçülmesi -%1,7 ve soğukta basınç dayanımı ise 19 kgf/cm^2 olarak bulmuşlardır.

Arı ve arkadaşları (2004) ''Kalsiyum Alüminatlı Çimentonun Refrakter Olarak Kullanılması" başlıklı çalışmasında kil yerine boksit ve kireçtaşı karışımının sinterleştirilmesi veya eritilmesiyle imal edilen özel bir çimento olan kalsiyum alüminatlı çimentonun (CAC) refrakter olarak kullanımını araştırmışlardır. CAC ve şamot toprağı ile oda sıcaklığında üretilen harçlarla hazırlanan kübik numunelerin mekanik davranışları 100 °C ile 1200°C arasında 100°C'lik artışlardaki sıcaklıklarda yapılan deneylerle belirleyip numunelerin maruz kaldığı her sıcaklık aralığındaki hacim, basınç dayanımı ve böhme aleti ile aşınma kaybı değerlerini ölçülmüşlerdir. Ölçülen değerlerin sıcaklık karşısındaki değişimlerini belirleyip laboratuarda bekletilen referans numunelerle karşılaştırmışlardır. Bu bulgular ışığında, kalsiyum

aluminatlı çimento kullanılarak üretilen betonların ısıl dayanımları ve monolitik refrakter olarak kullanımlarını tartışmışlardır.

Köksal ve Ünlü (2004), "Refrakter Malzemelerin Termal Çevrimlerinde Soğutma Ortamlarının Malzeme Özelliklerine Etkisi" başlıklı çalışmalarında; alümina ve magnezya refrakteri malzemelere, sıcaklık farkları 400, 500, 600 ve 800°C, su ve hava soğutma ortamlarında termal şok deneylerini uygulayıp, termal şok uygulanan örneklerin üç nokta eğme deneyleri ile eğilme dayanım değerlerini ölçüp dayanım kayıplarını hesaplamışlardır. Termal şok öncesi ve sonrası alınan yüzey görüntülerinde, yüzeylerde oluşan ve hasarın başlangıcı olan çatlakları belirleyip, su ortamında soğutulan örneklerin hava ortamındakilere göre özelliklerinde daha belirgin bir kayıp oluştuğunu, grafiklerde ve yüzey görüntülerinde elde etmişlerdir.

Köksal, (2005) "Alümina Refrakter Malzemelerin Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi" başlıklı çalışmasında; alümina esaslı refrakter malzemelerde termal işlemlerle mekanik özelliklerde ve yapıda oluşan değişimleri araştırmış, örneklere sıcaklık farkları 300, 600 ve 900°C, su soğutma ortamında, 1, 3 ve 5 çevrim termal İşlemleri ugulayıp, bu örneklere oda sıcaklığında üç nokta eğme deneyi yapmıştır. Sıcaklık farkına bağlı olarak eğilme dayanımı değişimleri grafiklerde verilmiştir. Örneklerde eğilme dayanımı değerlerinde çevrim sayısı ve sıcaklık farkına bağlı olarak azalma elde etmiştir.

Köksal, (2009) ''Magnezya Esaslı Refrakter Malzemelerde Mekanik Özelliklerin YSA ile Belirlenmesi" başlıklı çalışmasında; magnezya esaslı dört farklı refrakter malzemede eğilme dayanımı, elastisite modülü ve kırılma tokluğu değerlerinin sıcaklıkla değişimini incelemiş; tasarladığı ANN ile kimyasal yapı ve mekanik özeliklerde değişimleri belirlemiş ve aralarında bağıntılar kurarak değerleri tahmin etmeye çalışmıştır. Sonuçta ANN ile hesaplanan eğilme dayanımı, elastisite modülü ve kırılma tokluğu ile deneysel değerlerin oldukça yakın olduğunu elde etmiştir.

4. MATERYAL VE METOD

4.1. Materyal

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 Ç. Ü. Maden Mühendisliği Bölümü laboratuarlarında yapılmıştır. Yapılan çalışmalarda; farklı hammaddelerin ve bu hammaddelerin farklı oranlarda birleşerek meydana getirdiği refrakter tuğlaların özellikleri incelenmiştir. Bu özelliklerin belirlenmesi, refrakter malzemenin nerelerde kullanılacağını, hangi şartlara dayanacağını bilmemize yardımcı olmaktadır.

1976 yılında Özköseoğlu Şirketler Grubu tarafından kurulan REMSAN A.Ş. 1978 yılından itibaren Türkiye'nin ilk monolitik refrakter üretimini gerçekleştirmektedir. Grup şirketlerinden Entes ve Özköseoğlu'nun, Ereğli Demir Çelik'in slab fırınları ihalesini üstlenmesi ve buradan doğan monolitik refrakter malzeme ihtiyacı, Remsan A.Ş.'nin kurulma kararına zemin hazırlamıştır.

4.1.1. Refrakter Yapımında Kullanılan Hammaddeler ve Özellikleri

Refrakter malzemenin kullanım alanına göre bünyesine giren hammadde cinsi ve miktarı değişmektedir. İçerisine belirli oranlarda; boksit, olivin, filint, alümina silikat, silika ve kil girmektedir. Bu hammaddelere yeri geldiğinde kimyasal maddeler eklenebilmektedir. Hammaddeler REMSAN A.Ş.'ye; Avusturya, Fransa, Almanya, İngiltere, Güney Afrika, Hindistan ve Çin'den getirilmektedir.

4.1.1.1. Toz Halinde Refrakterin İçinde Kullanılan Hammadde Özellikleri

4.1.1.1.(1). Boksit ($Al_2O_3\,NH_2O$)

Sertliği 3, yoğunluğu 2-2,5gr/cm^3 olan amorf bir yapıya sahiptir. Beyaz, gri ve muhtelif sarı renklerde olabilir. Çizgi rengi de muhtelif renklerdedir. Genellikle oolitik, masif, toprağımsı ve kil gibi bulunur. Diyasporit, alümin, demir ve manganez

hidroksitleri ve hidrarjirit gibi minerallerin karışımından oluşmuştur. Yağımsı parıltılıdır. Kapalı tüpte ısıtılınca su verir. İçinde %40-55 e kadar Al_2O_3 bulundurur. Bir miktar silis ve demir de mevcuttur. Pizolitik özelliğinden dolayı belirgindir (http://www.turkcebilgi.com/boksit/ansiklopedi).

4.1.1.1.(2). Olivin

Olivin, yüksek sıcaklık silikat minerali ailesidir. Rengi siyahtan zeytin yeşiline değişir. Camsı parlaklıktadır. Konkoidal kırılma gösterir. Kristalleri genelde küçüktür. Kayaca taneli bir görünüm verir. Mg ve Fe iyonlarını içeririr. Magmada ilk önce kristalleşen yapı budur (http://tr.wikipedia.org/wiki/Olivin).

4.1.1.1.(3). Alümina Silikat

Bu tür malzeme en çok kullanılan ve ucuz olan kısımdır. Bu hemen hemen her türlü metalurjik işlemler için uygundur. Bu grupta %50'ye kadar alümina olan ateş kili, ateş tuğlası ve saf alümina olanlar bulunur. Erime sıcaklığı 360°C ile 420°C arasındadır. Alumina miktarı arttıkça erime noktası da artar ve 460°C'yi bulabilir (http://www.turkcebilgi.com/refrakter/ansiklopedi).

4.1.1.1.(4). Silika

Silikalı refrakterler tabiatta bulunan yüksek saflıktaki silisyuma, az miktarda (silis tanelerini bağlaması için) kireç ilave ederek elde edilir. Ateş kili ise yumuşar ve aktığı halde, yüksek sıcaklıkta yük altında şeklini muhafaza eder (http://www.turkcebilgi.com/refrakter/ansiklopedi).

4.1.1.1.(5). Kil

Islandığı zaman çeşitli şekiller alabilen, geçirimsiz yumuşak yağlı bir toprak olarak tanımlanabilmektedir. Yeryüzünde (havanın kayalara olan tesiriyle meydana gelen), yer kabuğunun az veya daha derin yerlerinde tabakalar halinde mineral

yataklarında dağılmış kütleler halinde bulunur. Keza göl ve okyanusların dibinde, çöllerin altında ve nehir deltalarında rastlanır. Kil, yumuşak ve çok ince tanecikli (kumdan ince) bir materyaldir. Kil mineralindeki atomlar ya bir kafes veyahut bir zincir dizilişi şeklindedir (http://www.turkcebilgi.com/kil/ansiklopedi).

4.1.1.2. Değişik Bileşenlerle Oluşturulan Refrakter Tuğlalar

Deneylerde REMSAN A.Ş. laboratuarlarında farklı reçetelere göre hazırlanmış refrakter tuğlalar kullanılmıştır. Tuğlalar, farklı bileşimlerdeki refrakter hammaddelerin değişik oranlarda karıştırıcıda (Şekil 4.1) ortalama %6 su ilave edilerek yaklaşık 2-3 dakika karıştırılması ile elde edilmiş harçtan üretilmiştir. Yeterince karıştırılan karışım vibrasyonlu masalarda yer alan 7,5x7,5x7,7 cm boyutlarındaki kalıplara dökülmüş (Şekil 4.2); burada fazlalıkları (çapakları) mala yardımıyla alındıktan sonra etiketlenerek priz süresinin tamamlanması beklenmiştir (Şekil 4.3). Tuğlalar donduktan sonra kalıplarından sökülerek farklı sıcaklıklardaki fırında pişirilmiştir (Şekil 4.4). Fırından çıkan pişmiş tuğlalar soğuduktan sonra tuğla özelliklerini belirleme deneylerine tabi tutulmuştur (Şekil 4.5).



Şekil 4.1. Karıştırıcıda karışan harç



Şekil 4.2. Kalıplara dökülen refrakter



Şekil 4.3. Kalıpta prizlenen refrakter tuğla



Şekil 4.4. Tuğlaların fırında pişirilmesi



Şekil 4.5. Deneylerde kullanılan refrakter tuğlalar

4.3.1. Refrakter Tuğla Deney Numunelerinin Tanımları

4.3.1.1. Remlowcast 50 Vibration Castable

İçerisindeki Al_2O_3 miktarı %50 olan düşük çimentolu, vibrasyon uygulamalı beton refrakterdir. Yüksek yoğunluklu, düşük poroziteli ve çok yüksek mukavemet değerlerine sahip bir malzeme olmasının nedeni bünyesindeki su miktarının azlığıdır. Fe_2O_3 oranının düşük olması nedeni ile 110-1550°C arası servis sıcaklığına sahiptir.

4.3.1.2. Remlowcast 60 SİC 55 Vibration Castable

Bileşimine 55 SİC eklenen düşük çimentolu bir malzemedir. Yüksek yoğunluklu, düşük poroziteli ve çok yüksek mukavemet değerlerine sahip bir malzeme olmasının nedeni bünyesindeki su miktarının azlığıdır. Fe_2O_3 oranının düşük olması nedeni ile 110-1350°C arası servis sıcaklığına sahiptir.

4.3.1.3. Remlowcast 60 SİC Vibration Castable

Castable özelliğe sahip olan ve içerisinde %60 Al_2O_3 içeren düşük çimentolu, özellikle vibrasyonu dökümlerde kullanılan bir malzemedir. Yüksek yoğunluklu, düşük poroziteli ve çok yüksek mukavemet değerlerine sahip bir malzeme olmasının nedeni bünyesindeki su miktarının azlığıdır. Fe_2O_3 oranının düşük olması nedeni ile 110-1500°C arası servis sıcaklığına sahiptir.

4.3.1.4. Remlowcast 60 Vibration Castable

Castable özelliğe sahip olan ve içerisinde %60 Al_2O_3 içeren düşük çimentolu, özellikle vibrasyonu dökümlerde kullanılan bir malzemedir. En az % 75 Al_2O_3 içeren düşük çimentolu, özellikle vibrasyonlu dökümlerde kullanılan bir malzemedir. 110-1600°C arası servis sıcaklığına sahiptir.

4.3.1.5. Remgun 60 SİC 10 Gg Gunning Castable

Bünyesinde en az %58 Al_2O_3 içeren 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. Servis sıcaklığı 110-1400°C arası servis sıcaklığına sahiptir.

4.3.1.6. Remlowcast 75 Vibration Castable

Bünyesinde en az %75 Al_2O_3 içeren düşük çimentolu, özellikle vibrasyonlu dökümlerde kullanılan bir malzemedir. Fırında 820°C'de pişirilerek refrakter tuğla haline gelmiştir. Yüksek yoğunluklu, düşük poroziteli ve çok yüksek mukavemet değerlerine sahip bir malzeme olmasının nedeni bünyesindeki su miktarının azlığıdır. Fe_2O_3 oranının düşük olması nedeni ile 110-1600°C arası servis sıcaklığına sahiptir.

4.3.1.7. Remlowcast 70 SİC Vibration Castable

Bileşimine %58 SİC eklenen düşük çimentolu bir malzemedir. Fırında 1400°C'de pişirilerek refrakter tuğla haline getirilmiştir. Yüksek yoğunluklu, düşük poroziteli ve çok yüksek mukavemet değerlerine sahip bir malzeme olmasının nedeni bünyesindeki su miktarının azlığıdır. Fe_2O_3 oranının düşük olması nedeni ile 110-1350°C arası servis sıcaklığına sahiptir.

4.3.1.8. Remlowcast 70 Zr Vibration Castable

Bileşimine %58 SİC eklenen düşük çimentolu bir malzemedir. Fırında 1400°C'de pişirilerek refrakter tuğla haline getirilmiştir. Yüksek yoğunluklu, düşük poroziteli ve çok yüksek mukavemet değerlerine sahip bir malzeme olmasının nedeni bünyesindeki su miktarının azlığıdır. Fe_2O_3 oranının düşük olması nedeni ile 110-1350°C arası servis sıcaklığına sahiptir.

4.3.1.9. Remlowcast 70 SİC Vibration Castable

Bileşimine %58 SİC eklenen düşük çimentolu bir malzemedir. Fırında 1100°C'de pişirilerek refrakter tuğla haline getirilmiştir. Yüksek yoğunluklu, düşük poroziteli ve çok yüksek mukavemet değerlerine sahip bir malzeme olmasının nedeni bünyesindeki su miktarının azlığıdır. Fe_2O_3 oranının düşük olması nedeni ile 110-1350°C arası servis sıcaklığına sahiptir.

4.3.1.10. Remlowcast 60 SİC 30 Vibration Castable

Bileşimine %30 SİC eklenen düşük çimentolu bir malzemedir. Fırında 1100°C'de pişirilerek refrakter tuğla haline getirilmiştir. Yüksek yoğunluklu, düşük poroziteli ve çok yüksek mukavemet değerlerine sahip bir malzeme olmasının nedeni bünyesindeki su miktarının azlığıdır. Fe_2O_3 oranının düşük olması nedeni ile 110-1350°C arası servis sıcaklığına sahiptir.

4.3.1.11. Remlowcast 50 Vibration Castable

Bünyesinde en az %50 Al_2O_3 içeren düşük çimentolu, özellikle vibrasyonlu dökümlerde kullanılan bir malzemedir. Fırında 1400°C'de pişirilerek refrakter tuğla haline getirilmiştir. Yüksek yoğunluklu, düşük poroziteli ve çok yüksek mukavemet değerlerine sahip bir malzeme olmasının nedeni bünyesindeki su miktarının azlığıdır. Fe_2O_3 oranının düşük olması nedeni ile 110-1500°C arası servis sıcaklığına sahiptir.

4.2. Metod

4.2.1. Kimyasal Analiz

Refrakter örneklerinin kimyasal analizleri XRF (Siemens SRS 300 X-ray Fluoresans Spectrometer) kullanılarak yapılmıştır. X-ışınları yüksek enerjili elektronların yavaşlamasıyla veya atomun iç orbitallerindeki elektronların elektronik

geçişleri ile oluşturulan kısa dalga boylu elektromanyetik ışınlardır. X-ışınlarının dalga boyu aralığı yaklaşık 10^{-5} Å'dan 100 Å'ya kadardır. Ancak klasik X-ışınları spektroskopisi yaklaşık 0.1 Å ile 25 Å (1 Å= 0.1 nm=10^{-10} m) arasındaki bölgeyi kapsamaktadır (Jenkis ve ark., 1995).

4.2.2. Petrografik Analiz

Refrakter örneğinden kesilen ince levhanın bir yüzü 600'lük zımpara tozu ile aşındırılarak düzlenmiştir. Daha sonra 1000'lik zımpara tozu ile cam üstünde pürüzleri iyice temizlenerek parlatılmış ve cam lama, Kanada balsam yapıştırıcı ile yapıştırılmıştır. Kayacın diğer yüzü, 0,02 mm kalınlık elde edilene kadar benzer işlem ile aşındırılmış ve ince kesitler elde edilmiştir. Bu kesitler üzerinde polarizan mikroskop (Olympus BH-2) ile incelemeler yapılmıştır.

4.2.3. Kalitatif ve Yarı Kalitatif Mineralojik Faz Analizi

X-ışını tüpünden elde edilen ışınla uyarılan hiçbir ön işleme uğramamış numune daha sonra analiz bitince tekrar eski halinde değişmeksizin kalmaktadır. Dalga boyu ayırımlı cihazlarda yatay eksen genellikle 2θ cinsinden verilmekte olup, bu değer monokromatörün kristal açıklığı (tabaklar arası mesafe) bilindiği takdirde kolaylıkla dalga boyuna çevrilebilmektedir. Ardından elementlerin emisyon çizgilerini içeren çizelgedeki değerlerle karşılaştırılarak pikler belirlenmektedir (Skoog ve diğ., 1998).

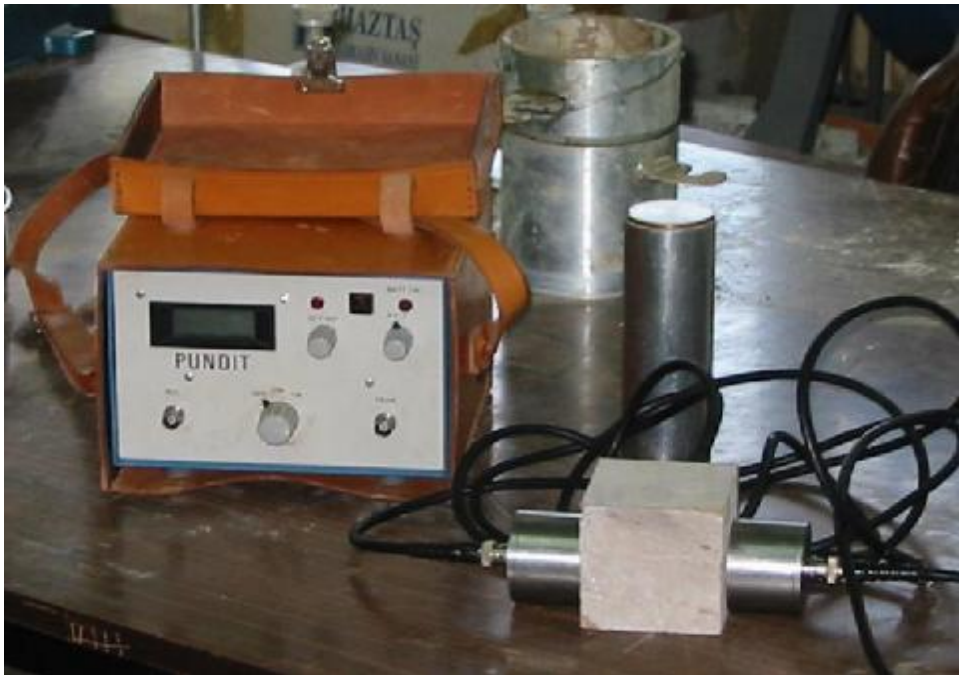
4.2.4. Sonik Hız Deneyi

Ultrasonik teknikler uzun yıllardır madencilik biliminde ve jeoteknik uygulamalar içinde kullanılmaktadır. Bunlar, jeofizik çalışma alanlarında ve kayaçların dinamik özelliklerinin laboratuardaki saptanmasında kullanılır.

P dalga hızı laboratuarlarda doğrudan ya da dolaylı olarak ölçülebilir. Dolaylı yöntemler doğrudan yöntemlere göre daha kolaydır. Bu nedenle eğer

doğrudan P dalga hızı ile dolaylı P dalga hızı arasında güçlü bir ilişki kurulabilirse, doğrudan P dalga hızı değeri, dolaylı ölçümlerden tahmin edilebilir ve böylece ölçümleri daha da kolaylaştırabilir (Kahraman, 2002).

Kayaçların dinamik elastisite katsayıları, silindirik veya kübik olarak hazırlanan deney örnekleri üzerinde ultrases ölçüm değerlerinin analizi ile belirlenmektedir. Alt ve üst yüzeyleri hassas şekilde düzeltilmiş örnekler, bu yüzeylere gres sürülerek sismik analizatörü (alıcı-verici) arasına verici yerleştirilerek impuls'un geçme süresine bağımlı olarak sismik hız ölçüm aletinin kalibrasyonu yapılır (Şekil 4.6). Sonrasında, deney örnekleri her iki transdüsur uçları arasına yerleştirilerek, P ve S dalga hızlarının örneği bir uçtan diğer geçmesi için gerekli net süreler belirlenerek kaydedilir.



Şekil 4.6. Sonik hız ölçmede kullanılan pundit cihazı

4.2.5. Tek Eksenli Basma Dayanımı

Basma dayanımı, üzerine uygulanan basma yüklerine karşı kayaların kırılmadan önceki dayanma yeteneği olarak tanımlanmaktadır. Deney TS 699 (2009)'da belirtildiği gibi yapılmaktadır (Şekil 4.7).



Şekil 4.7. Basma mukavemetinin ölçüldüğü alet

5. ARAŞTIRMA BULGULARI

Deneysel çalışmalarda kullanılan refrakter tuğlaların üretiminde kullanılan hammaddelerin isimleri, ticari olması nedeni ile açıkça verilmeyecek kodlarla gösterilecektir. Refrakter tuğlalar ise Remsan A.Ş.'nin kullandığı isimleri ile belirtilecektir. 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, petrografik, teknolojik ve mekanik özellikleri yapılan analizler ve deneyler ile anlaşılmaya, belirlenmeye çalışılmıştır.

5.1. Toz Haldeki Örnekler

5.1.1. Kimyasal Analiz

Refrakter tuğla yapımında kullanılan hammaddeler karışım yapılırken homojen madde elde etmek için toz halinde karıştırıcıya girmektedir. Bu hammaddelerin neler olabildiği ve olması gereken genel özellikler, 4.1.1.1. Toz Halinde Refrakterin İçinde Kullanılan Hammadde Özellikleri başlığı altında genel olarak verilmiştir. Remsan A.Ş.'den getirilen toz haldeki bazı örneklerin kimyasal analizleri XRF yöntemi ile yapılmış ve analiz sonuçları Çizelge 5.1'de verilmiştir.

Kimyasal analizi yapılan ve sonuçları Çizelge 5.1'de verilen örneklerin kimyasal bileşimleri göz önüne alındığında 1 nolu örneğin kil veya şamot tuğla (ateşe dayanıklı killerden elde edilir. Bu killer 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°C ve üzeri sıcaklıklarda sıvı gaz miktarı düşerek kristal oluşumu sağlanır yük altında refrakterlik artar) ve boksitin ve distenin bileşim olarak %40-55 Al_2O_3 ihtiva eden bir mineral olması nedeni ile 5 nolu örneğin boksit veya disten olduğu düşünülmektedir.

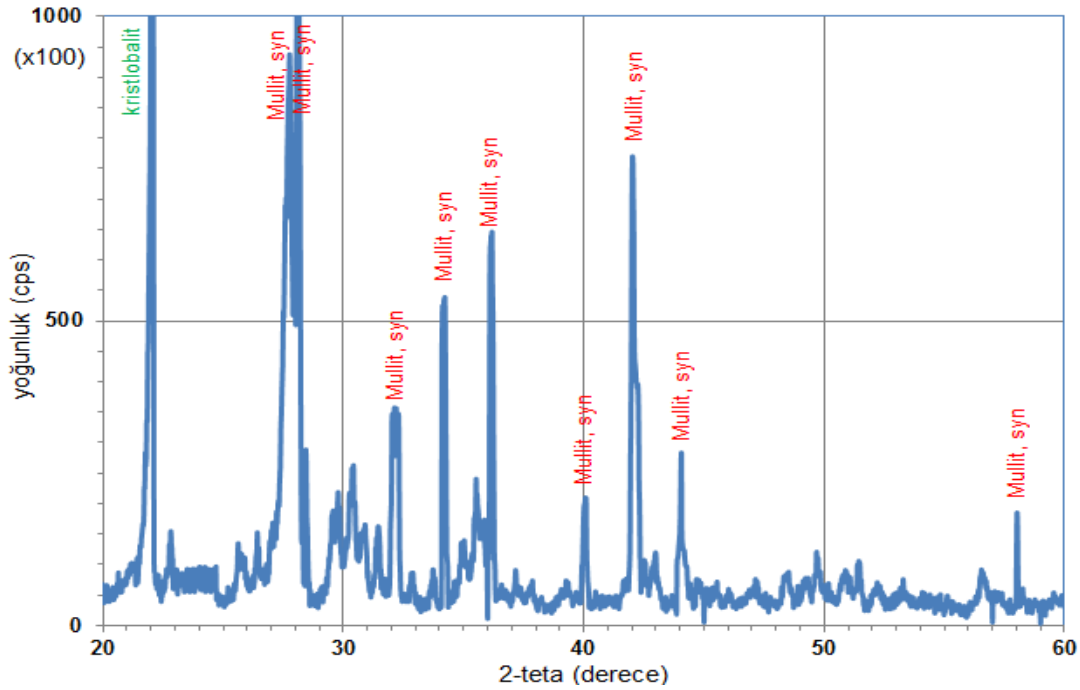
Çizelge 5.1. Toz halindeki örneklerin kimyasal analiz sonuçları (%)

Örnek	Al_2O_3	SiO_2	CaO	TiO_2	Fe_2O_3	K_2O
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	-

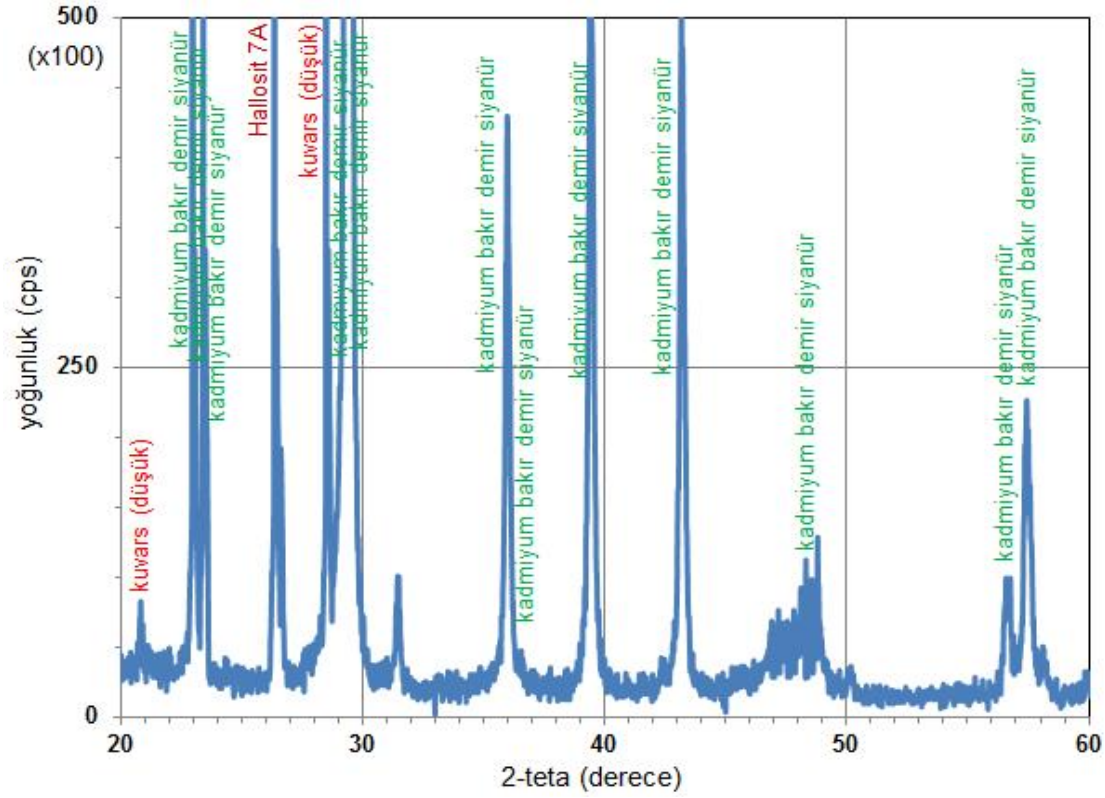
5.1.2. Mineralojik Analiz

Kimyasal analizleri gerçekleştirilen örneklerin mineralojik analizleri bölümümüz laboratuarında bulunan XRD cihazı ile gerçekleştirilmiş ve elde edilen sonuçlar Şekil 5.1-5.5'de verilmiştir.

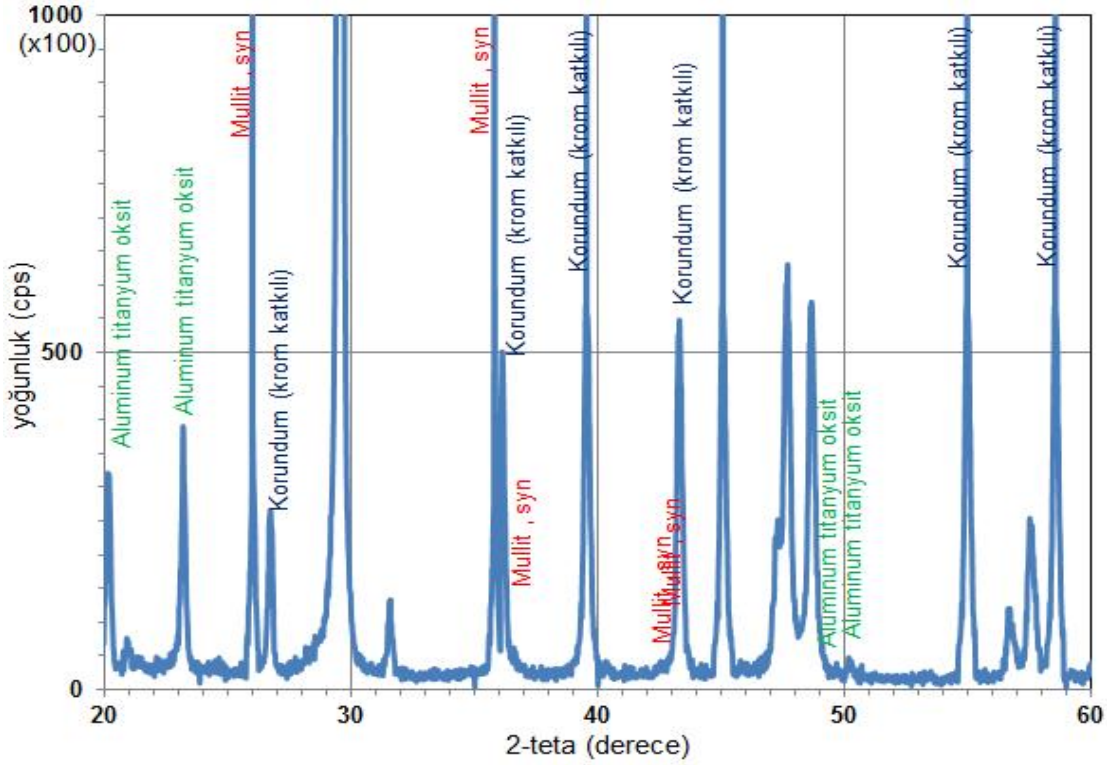
Mineralojik incelemeler için çekilen paternler (Şekil 5.1-5.5) incelendiğinde 1 nolu örneğin kil, 2 nolu örneğin silika, 3 nolu örneğin kil katkılı korund, 4 nolu örneğin boksit katkılı korund ve 5 nolu örneğin boksit olabileceği düşünülmektedir. İncelenen örnekler ve eklenecek katkılar değişik oranlarda karıştırılarak refrakter tuğla üretimi için uygun harçlar oluşturulmasına olanak sağlayabilecektir.



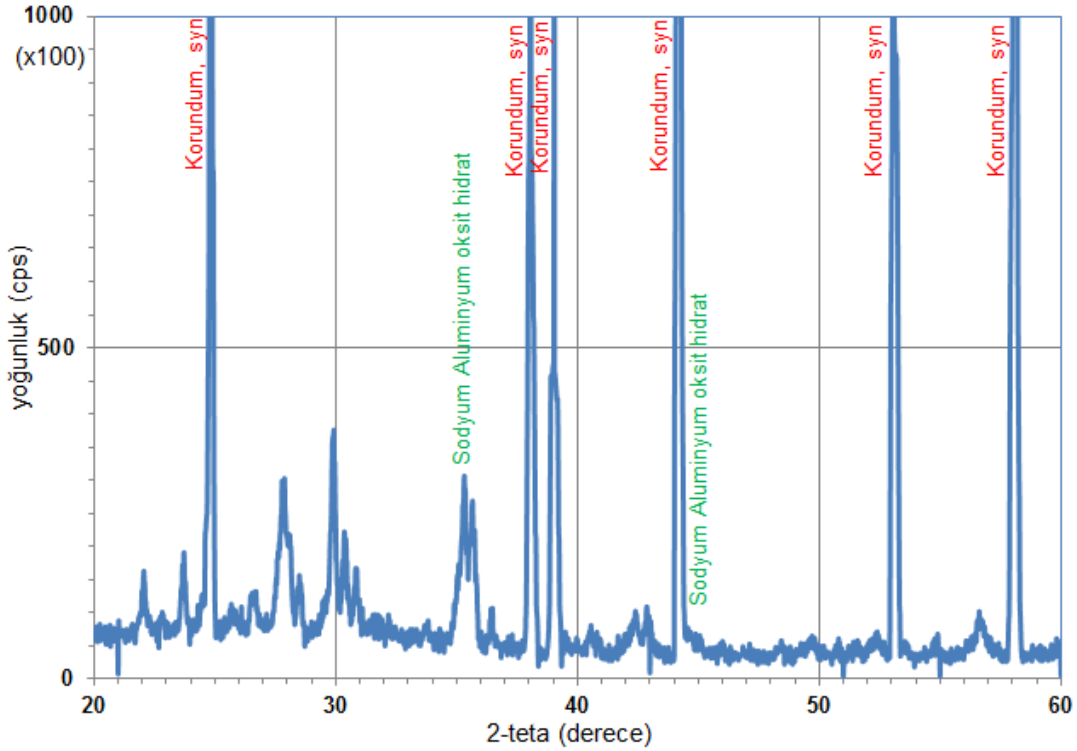
Şekil 5.1. 1 nolu öreneğe ait XRD sonucu



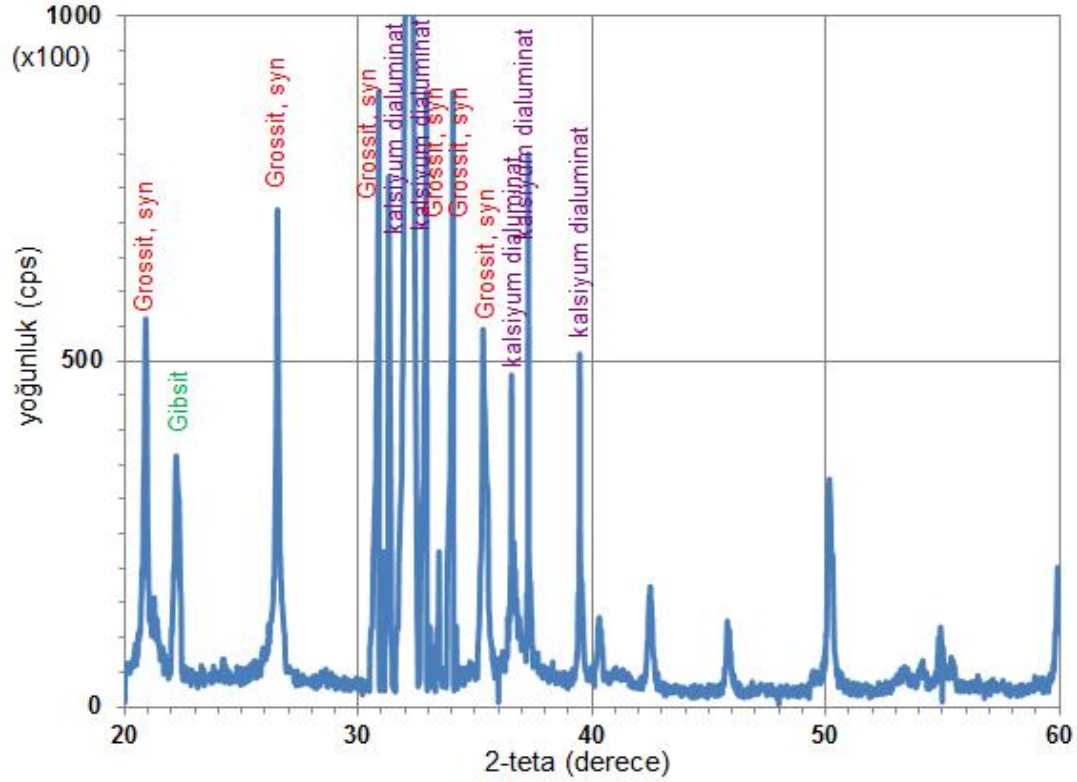
Şekil 5.2. 2 nolu örneğe ait XRD sonucu



Şekil 5.3. 3 nolu örneğe ait XRD sonucu



Şekil 5.4. 4 nolu örneğe ait XRD sonucu



Şekil 5.5. 5 nolu örneğe ait XRD sonucu

5.2. Refrakter Tuğlalar

5.2.1. Refrakter Tuğlaların Teknolojik Özellikleri

5.2.1.1. Remlowcast 50 Vibration Castable

75 x 75 x 75 mm'lik kalıplara döküldükten sonra pişirilen refrakter tuğla numunesinin kimyasal analiz sonucu Çizelge 5.2'de, fiziksel özellikleri Çizelge 5.3'de ve teknik özellikleri ise Çizelge 5.4'de verilmiştir.

Çizelge 5.2. Remlowcast 50 vibration castable numunesinin kimyasal analiz sonuçları (%)

$Al_2O_3+TiO_2$	51
SiO_2	44,8
Fe_2O_3	1,2
CaO	1,9
MgO	0,1
Alkali	0,6

Çizelge 5.3. Remlowcast 50 vibration castable numunesinin fiziksel özellikler

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	-	-

Çizelge 5.4. Remlowcast 50 vibration castable numunesinin teknik özellikleri

Servis Sıcaklığı	1550°C
Yumuşama Sıcaklığı	36°C
Kuru Malzeme İhtiyacı	2,3 Kg/dm^3
Katılacak Su Miktarı	%6 en fazla
816 °C'de Porozite	17,5
Çalışma Süresi	90,120 dakika en fazla

Remlowcast 50 numunesi kimyasal analiz sonucuna göre %50 Al_2O_3 ihtiva etmesi nedeni ile sıcaklık şoklarına dayanabilecek mukavemette olacaktır. Ayrıca, bünyesindeki su miktarının az olması nedeniyle yüksek mukavemete sahip olacağı düşünülmektedir. Çizelge 5.2 incelendiğine mukavemetinin yüksek olduğu görülmektedir. Fe_2O_3 oranı düşük olduğu için erozyon ve aşınmaya karşı yüksek mukavemet ve yük altında sıcakta deformasyonun minimum olarak istendiği yerlerde kullanıma uygun olduğu anlaşılmaktadır.

5.2.1.2. Remlowcast 60 SİC 55 Vibration Castable

75 x 75 x 75 mm'lik kalıplara döküldükten sonra pişirilen numunenin kimyasal analizi Çizelge 5.5'de, fiziksel özellikleri Çizelge 5.6'da, teknik özellikleri ise Çizelge 5.7'de verilmiştir.

Çizelge 5.5. Remlowcast 60 SİC 55 vibration castable numunesinin kimyasal analiz sonuçları (%)

$Al_2O_3 + TiO_2$	34
SiO_2	8
SİC	55,1
Fe_2O_3	0,62
CaO	1,6

Çizelge 5.6. Remlowcast 60 SİC 55 vibration castable numunesinin fiziksel özellikleri

Sıcaklık (°C)	Kırılma Modülü (Kg/cm^2)	Basma Mukavemeti (Kg/cm^2)	Kalıcı Boyutsal Değişme (%)	Termal Kondüktivite (kcal/°C.h.m)
110	110	760	-	-
820	120	1000	-	-
1100	130	1350	-0,15	5,2
1250	140	1300	-0,2	5,6
1350	105	1100	-0,3	-

Remlowcast 60 SİC 55 vibration castable numunesinin bileşiminde %55 SİC bulunması absorbe ettiği su miktarının azalmasına neden olmuş ve su miktarının

azalması ile üretilen refrakter tuğlanın mukavemet direncinin arttığı görülmüştür. Fe_2O_3 oranının düşük olması erozyon ve aşınmaya karşı yüksek mukavemete sahip olmasını sağlayacak ve yük altında sıcakta deformasyonun minimum olması istenen yerler için kullanımı uygun olabilecektir.

Çizelge 5.7. Remlowcast 60 SİC 55 vibration castable numunesinin teknik özellikleri

Servis Sıcaklığı	1370°C
Yumuşama Sıcaklığı	25°C
Kuru Malzeme İhtiyacı	2,5 Kg/dm^3
Katılacak Su Miktarı	%5 en fazla
816°C'de porozite	15
Çalışma Süresi	en fazla 90,120 dakika

5.2.1.3. Remlowcast 60 SİC Vibration Castable

75 x 75 x 75 mm'lik kalıplara döküldükten sonra pişirilen numunenin kimyasal analizi Çizelge 5.8'de, fiziksel özellikleri Çizelge 5.9'da, teknik özellikleri ise Çizelge 5.10'da verilmiştir.

Çizelge 5.8. Remlowcast 60 SİC vibration castable numunesinin kimyasal analiz sonuçları (%)

$Al_2O_3 + TiO_2$	61
SiO_2	33,5
SİC	1,5
Fe_2O_3	1,4
CaO	2
Alkali	0,2

Çizelge 5.9. Remlowcast 60 SİC vibration castable numunesinin fiziksel özellikleri

Sıcaklık (°C)	Kırılma Modülü (Kg/cm^2)	Basma Mukavemeti (Kg/cm^2)	Kalıcı Boyutsal Değişme (%)	Termal Kondüktivite (kcal/°C.h.m)
110	86	600	-	-
820	120	780	-	1,02
1100	140	800	+0,14	0,98
1400	150	1100	-0,1	-
1500	120	850	- 0,28	-

Çizelge 5.10. Remlowcast 60 SİC vibration castable numunesinin teknik özellikleri

Servis Sıcaklığı	1590°C
Yumuşama Sıcaklığı	29°C
Kuru Malzeme İhtiyacı	2,4 Kg/dm^3
Katılacak Su Miktarı	%5 en fazla
816°C'de porozite	18,7
Çalışma Süresi	en fazla 90,120 dakika

Remlowcast 60 SİC vibration castable numunesi %60 Al_2O_3 ihtiva etmesi nedeniyle mukavemeti fazla olan bir üründür. Fe_2O_3 oranı düşük olduğu için erozyon ve aşınmaya karşı yüksek mukavemet ve yük altında sıcakta deformasyonun minimum olması istenen yerlerde kullanıma uygun olduğu tespit edilmiştir. Çizelge 5.9'da görüldüğü gibi yüksek sıcaklıkta basma dayanımının arttığı gözlenmiştir.

5.2.1.4. Remlowcast 60 Vibration Castable

75 x 75 x 75 mm'lik kalıplara döküldükten sonra pişirilen numunenin kimyasal analizi Çizelge 5.11'de, fiziksel özellikleri Çizelge 5.12'de, teknik özellikleri ise Çizelge 5.13'de verilmiştir.

Çizelge 5.11. Remlowcast 60 vibration castable numunesinin kimyasal analiz sonuçları

$Al_2O_3 + TiO_2$	61,2
SiO_2	35,2
Fe_2O_3	1,4
CaO	2
Alkali	0,2

Çizelge 5.12. Remlowcast 60 vibration castable numunesinin fiziksel özellikleri

Sıcaklık (°C)	Kırılma Modülü (Kg/cm^2)	Basma Mukavemeti (Kg/cm^2)	Kalıcı Boyutsal Değişme (%)	Termal Kondüktivite (kcal/°C.h.m)
110	86	600	-	-
820	120	780	-	1,02
1100	140	800	+0,14	0,98
1400	150	1100	-0,1	-
1600	140	1000	- 0,28	-

Çizelge 5.13. Remlowcast 60 vibration castable numunesinin teknik özellikleri

Servis Sıcaklığı	1650°C
Yumuşama Sıcaklığı	29°C
Kuru Malzeme İhtiyacı	2,4 Kg/dm^3
Katılacak Su Miktarı	%5 en fazla
816°C'de porozite	18,7
Çalışma Süresi	en fazla 90,120 dakika

Kimyasal analizlerini incelediğimiz yoğunluğu d= 2,4 gr/cm^3 olan Remlowcast 60 vibration castable numunesi %60 Al_2O_3 ihtiva ettiği için bünyesindeki su miktarı azdır ve diğer numunelere göre yüksek mukavemete sahiptir. Fe_2O_3 oranı düşük olduğu için erozyon ve aşınmaya karşı yüksek mukavemet ve yük altında sıcakta deformasyonun minimum olarak istendiği yerlerde kullanıma uygundur.

5.2.1.5. Remgun 60 SİC 10 GG Gunning Castable

75 x 75 x 75 mm'lik kalıplara döküldükten sonra 1400°C'de pişirilen numunenin (Şekil 5.6) kimyasal analiz sonuçları Çizelge 5.14'de, fiziksel özellikleri Çizelge 5.15'de ve teknik özellikleri ise Çizelge 5.16'da verilmiştir.



Şekil 5.6. Deney yapılan refrakter örneği

Çizelge 5.14. Remgun 60 SİC 10 gg gunning castable numunesinin kimyasal analiz sonuçları

$Al_2O_3 + TiO_2$	59,6
SiO_2	20,2
Fe_2O_3	0,8
CaO	4,9
SİC	14
Alkali	0,2

Çizelge 5.15. Remgun 60 SİC 10 gg gunning castable numunesinin fiziksel 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 5.16. Remgun 60 SİC 10 gg gunning castable numunesinin teknik özellikleri

Servis Sıcaklığı	1450°C
Yumuşama Sıcaklığı	35°C
Kuru Malzeme İhtiyacı	2,4 Kg/ dm^3
Katılacak Su Miktarı	en fazla %12

İçeriğinde %58 Al_2O_3 ihtiva eden Remgun 60 SİC 10 gg gunning castable numunesine ek olarak Silicon Carbide eklenmiştir. Böylece çok yüksek yapışma ve yüksek mukavemet, erozyon dayanımına sahiptir.

5.2.1.6. Remlowcast 75 Vibration Castable

75 x 75 x 75 mm'lik kalıplara döküldükten sonra 820°C'de pişirilen numunenin (Şekil 5.7) kimyasal analiz sonuçları Çizelge 5.17'de, fiziksel özellikleri Çizelge 5.18'de ve teknik özellikleri ise Çizelge 5.19'da verilmiştir.



Şekil 5.7. Deney yapılan refrakter örneği

Çizelge 5.17. Remlowcast 75 vibration castable numunesinin kimyasal analiz sonuçları

$Al_2O_3 + TiO_2$	75,9
SiO_2	20
Fe_2O_3	1,3
CaO	1,7
MgO	-
Alkali	0,4

Çizelge 5.18. Remlowcast 75 vibration castable numunesinin fiziksel 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

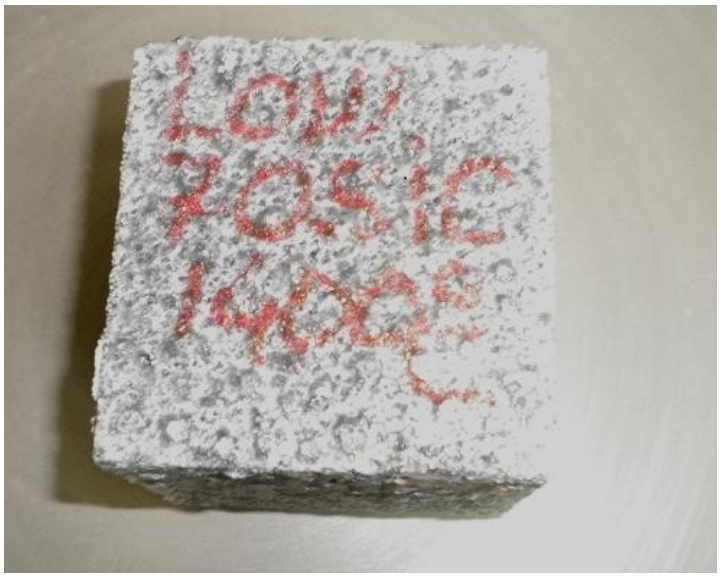
Çizelge 5.19. Remlowcast 75 vibration castable numunesinin teknik özellikleri

Servis Sıcaklığı	1760°C
Yumuşama Sıcaklığı	39°C
Kuru Malzeme İhtiyacı	2,5 Kg/dm^3
Katılacak Su Miktarı	%5 en fazla
816°C'de porozite	18,7
Çalışma Süresi	en fazla 90,120 dakika

Remlowcast 75 vibration castable numunesi en az %75 Al_2O_3 ihtiva ettiği için bünyesindeki su miktarı çok düşüktür ve diğer numunelere göre yüksek mukavemete sahiptir. Fe_2O_3 oranı düşük olduğu için erozyon ve aşınmaya karşı yüksek mukavemet ve yük altında sıcakta deformasyonun minimum olarak istendiği yerlerde kullanıma uygundur.

5.2.1.7. Remlowcast 70 SİC Vibration Castable

75 x 75 x 75 mm'lik kalıplara döküldükten sonra 1100°C'de pişirilen numunenin (Şekil 5.8) kimyasal analiz sonuçları Çizelge 5.20'de, fiziksel özellikleri Çizelge 5.21'de ve teknik özellikleri ise Çizelge 5.22'de verilmiştir.



Şekil 5.8. Deney yapılan refrakter örneği

Çizelge 5.20. Remlowcast 70 SİC vibration castable numunesinin kimyasal analiz sonuçları

$Al_2O_3 + TiO_2$	29
SiO_2	9,2
Fe_2O_3	0,2
CaO	1,8
SİC	59,5
Alkali	0,1
MgO	0,1

Çizelge 5.21. Remlowcast 70 SİC vibration castable numunesinin fiziksel 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	-

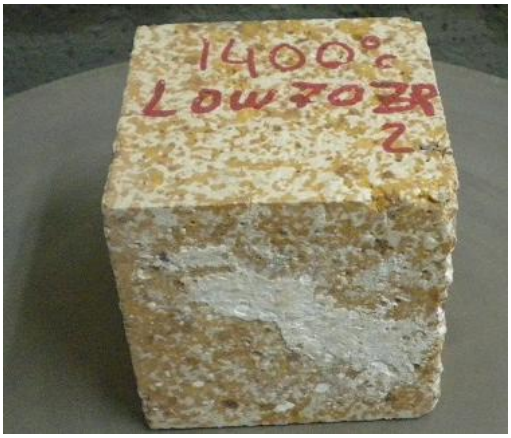
Çizelge 5.22. Remlowcast 70 SİC vibration castable numunesinin teknik özellikleri

Servis Sıcaklığı	1400°C
Yumuşama Sıcaklığı	30°C
Kuru Malzeme İhtiyacı	2,6 Kg/dm^3
Katılacak Su Miktarı	%4-4,5
816°C'de porozite	18,7
Çalışma Süresi	en fazla 90,120 dakika

Remlowcast 70 SİC vibration castable numunesi 58 SİC ihtiva ettiği için diğer numunelere göre yüksek mukavemete sahiptir. Fe_2O_3 oranı düşük olduğu için erozyon ve aşınmaya karşı yüksek mukavemet sahiptir.

5.2.1.8. Remlowcast 70 Zr Vibration Castable

75 x 75 x 75mm lik kalıplara döküldükten sonra 1400°C'de pişirilen numunenin (Şekil 5.9) kimyasal analiz sonuçları Çizelge 5.23'de, fiziksel özellikleri Çizelge 5.24'da ve teknik özellikleri ise Çizelge 5.25'de verilmiştir.



Şekil 5.9. Deney yapılan refrakter örneği

Çizelge 5.23. Remlowcast 70 zr vibration castable numunesinin kimyasal analiz sonuçları

$Al_2O_3 + TiO_2$	71
SiO_2	19,9
Fe_2O_3	1,5
CaO	1,6
ZrO_2	5,7
Alkali	0,1

Çizelge 5.24. Remlowcast 70 zr vibration castable numunesinin fiziksel 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 5.25. Remlowcast 70 zr vibration castable numunesinin teknik özellikleri

Servis Sıcaklığı	1760°C
Yumuşama Sıcaklığı	39°C
Kuru Malzeme İhtiyacı	2,8 Kg/dm^3
Katılacak Su Miktarı	%5-5,5
816°C'de porozite	18,7
Çalışma Süresi	en fazla 90,120 dakika

Remlowcast 70 zr vibration castable numunesi %70 Al_2O_3 ihtiva ettiği için diğer numunelere göre yüksek mukavemete sahiptir. Fe_2O_3 oranı düşük olduğu için erozyon ve aşınmaya karşı yüksek mukavemet ve yük altında sıcakta deformasyonun minimum olarak istendiği yerlerde kullanıma uygundur.

5.2.1.9. Remlowcast 70 SİC Vibration Castable

75 x 75 x 75 mm'lik kalıplara döküldükten sonra 1400°C'de pişirilen numunenin (Şekil 5.10) kimyasal analiz sonuçları Çizelge 5.26'da, fiziksel özellikleri Çizelge 5.27'de ve teknik özellikleri ise Çizelge 5.28'de verilmiştir.



Şekil 5.10. Deney yapılan refrakter örneği

Çizelge 5.26. Remlowcast 70 SİC vibration castable numunesinin kimyasal analiz sonuçları

$Al_2O_3 + TiO_2$	29
SiO_2	9,2
Fe_2O_3	0,2
CaO	1,8
SİC	59,5
Alkali	0,1
MgO	0,1

Çizelge 5.27. Remlowcast 70 SİC vibration castable numunesinin fiziksel 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 5.28. Remlowcast 70 SİC vibration castable numunesinin teknik özellikleri

Servis Sıcaklığı	1400°C
Yumuşama Sıcaklığı	30°C
Kuru Malzeme İhtiyacı	2,6 Kg/dm^3
Katılacak Su Miktarı	%4-4,5
816°C'de porozite	18,7
Çalışma Süresi	en fazla 90,120 dakika

Remlowcast 70 SİC vibration castable numunesi %58 SİC ihtiva ettiği için diğer numunelere göre yüksek mukavemete sahiptir. Fe_2O_3 oranı düşük olduğu için erozyon ve aşınmaya karşı yüksek mukavemet ve yük altında sıcakta deformasyonun minimum olarak istendiği yerlerde kullanımı uygundur.

5.2.1.10. Remlowcast 60 SİC 30 Vibration Castable

75 x 75 x 75 mm'lik kalıplara döküldükten sonra 1100°C'de pişirilen numunenin (Şekil 5.11) kimyasal analiz sonuçları Çizelge 5.29'da, fiziksel özellikleri Çizelge 5.30'de ve teknik özellikleri Çizelge 5.31'de verilmiştir.



Şekil 5.11. Deney yapılan refrakter örneği

Çizelge 5.29. Remlowcast 60 SİC 30 vibration castable numunesinin kimyasal analiz sonuçları

$Al_2O_3 + TiO_2$	39,7
SiO_2	26
SİC	31
Fe_2O_3	0,62
CaO	1,8

Çizelge 5.30. Remlowcast 60 SİC 30 vibration castable numunesinin fiziksel 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 5.31. Remlowcast 60 SİC 30 vibration castable numunesinin teknik özellikleri

Servis Sıcaklığı	1370°C
Yumuşama Sıcaklığı	25°C
Kuru Malzeme İhtiyacı	2,5 Kg/dm^3
Katılacak Su Miktarı	En fazla %5
816°C'de porozite	15
Çalışma Süresi	en fazla 90,120 dakika

Kimyasal analizlerini incelediğimiz Remlowcast 60 SİC 30 vibration castable numunesi 30 SİC ihtiva ettiği için yüksek mukavemete sahiptir. Fe_2O_3 oranı düşük olduğu için erozyon ve aşınmaya karşı yüksek mukavemet ve yük altında sıcakta deformasyonun minimum olarak istendiği yerlerde kullanımı uygundur.

5.2.1.11. Remlowcast 50 Vibration Castable

75 x 75 x 75 mm'lik kalıplara döküldükten sonra 1400°C'de pişirilen numunenin (Şekil 5.12) kimyasal analiz sonuçları Çizelge 5.32'de, fiziksel özellikleri Çizelge 5.33'de ve teknik özellikleri Çizelge 5.34'da verilmiştir.

Çizelge 5.32. Remlowcast 50 vibration castable numunesinin kimyasal analiz sonuçları

$Al_2O_3 + TiO_2$	51
SiO_2	44,8
Fe_2O_3	1,2
CaO	1,9
MgO	0,1
Alkali	0,6



Şekil 5.12. Deney yapılan refrakter örneği

Çizelge 5.33. Remlowcast 50 vibration castable numunesinin fiziksel 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	-	-

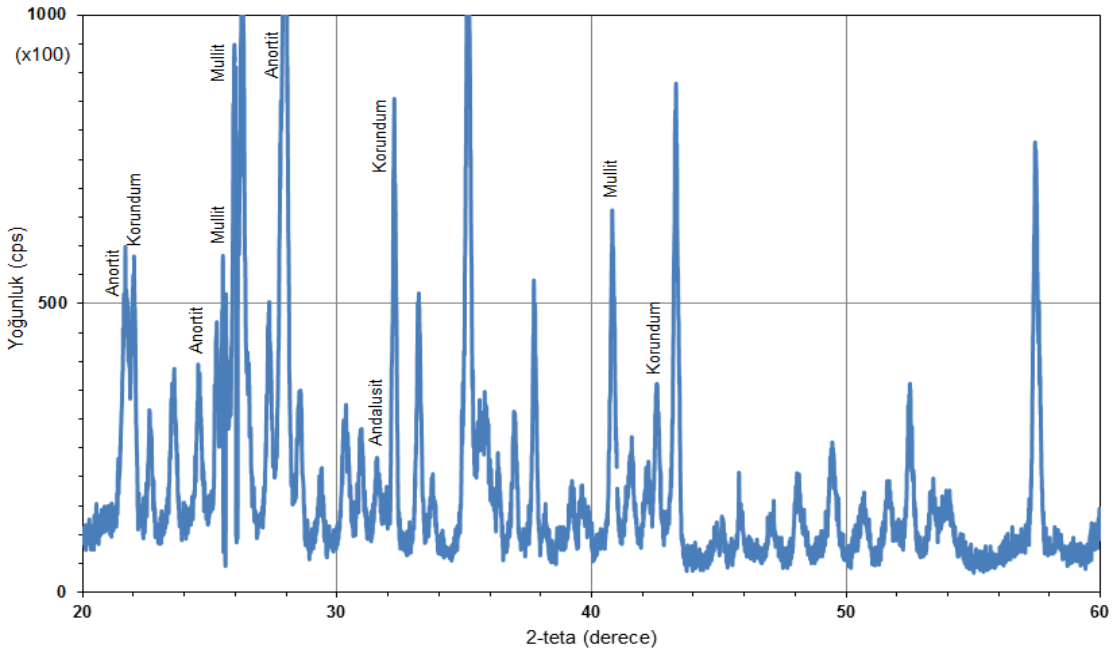
Çizelge 5.34. Remlowcast 50 vibration castable numunesinin teknik özellikleri

Servis Sıcaklığı	1550°C
Yumuşama Sıcaklığı	36°C
Kuru Malzeme İhtiyacı	2,3 Kg/dm^3
Katılacak Su Miktarı	En fazla %6
816°C'de porozite	17,5
Çalışma Süresi	en fazla 90,120 dakika

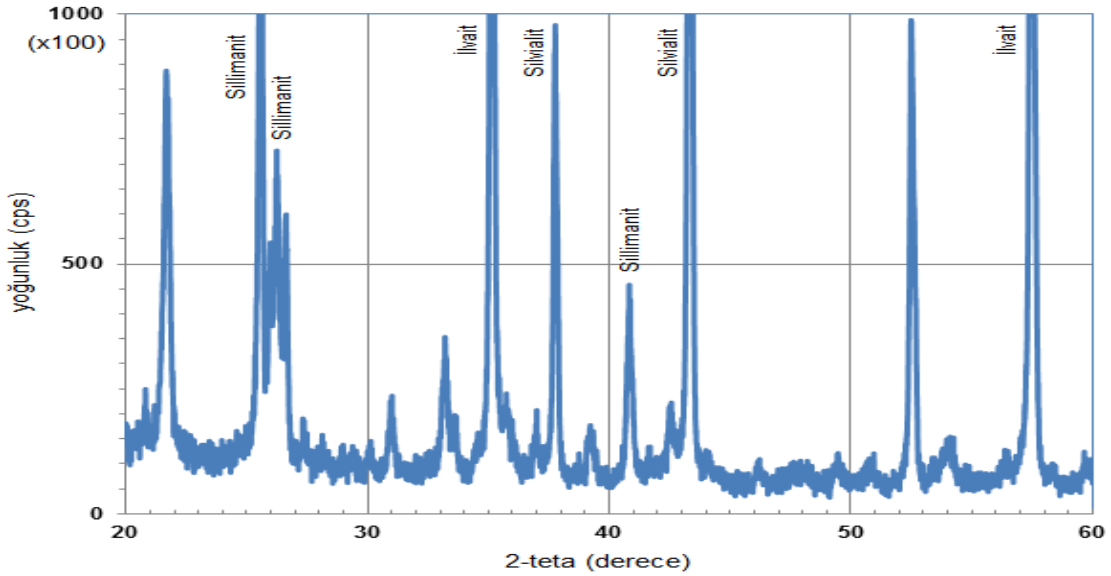
Remlowcast 50 vibration castable numunesi %50 Al_2O_3 ihtiva ettiği için bünyesindeki su miktarı azdır ve yüksek mukavemete sahiptir. Fe_2O_3 oranı düşük olduğu için erozyon ve aşınmaya karşı yüksek mukavemet ve yük altında sıcakta deformasyonun minimum olarak istendiği yerlerde kullanıma uygundur.

5.2.2. Mineralojik Analiz

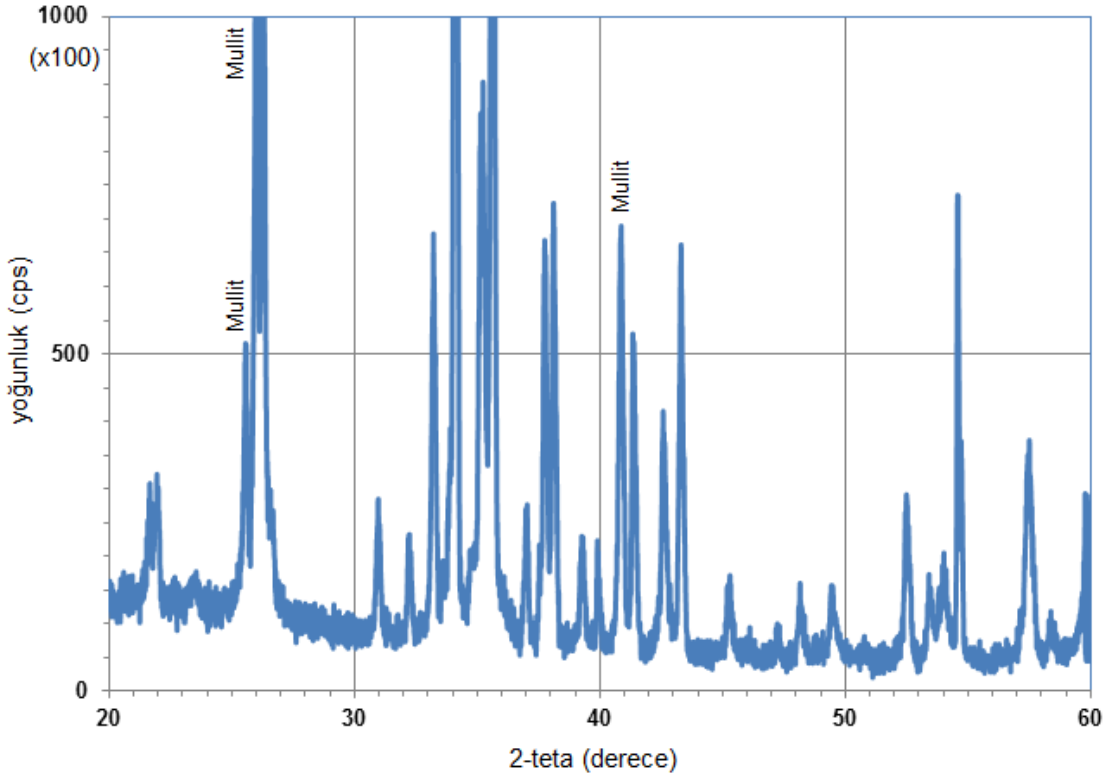
Teknik özellikleri belirlenen refrakter tuğla örneklerinin mineralojik analizleri bölümümüz laboratuarında bulunan XRD cihazı ile gerçekleştirilmiş ve elde edilen sonuçlar Şekil 5.13-5.19'da verilmiştir.



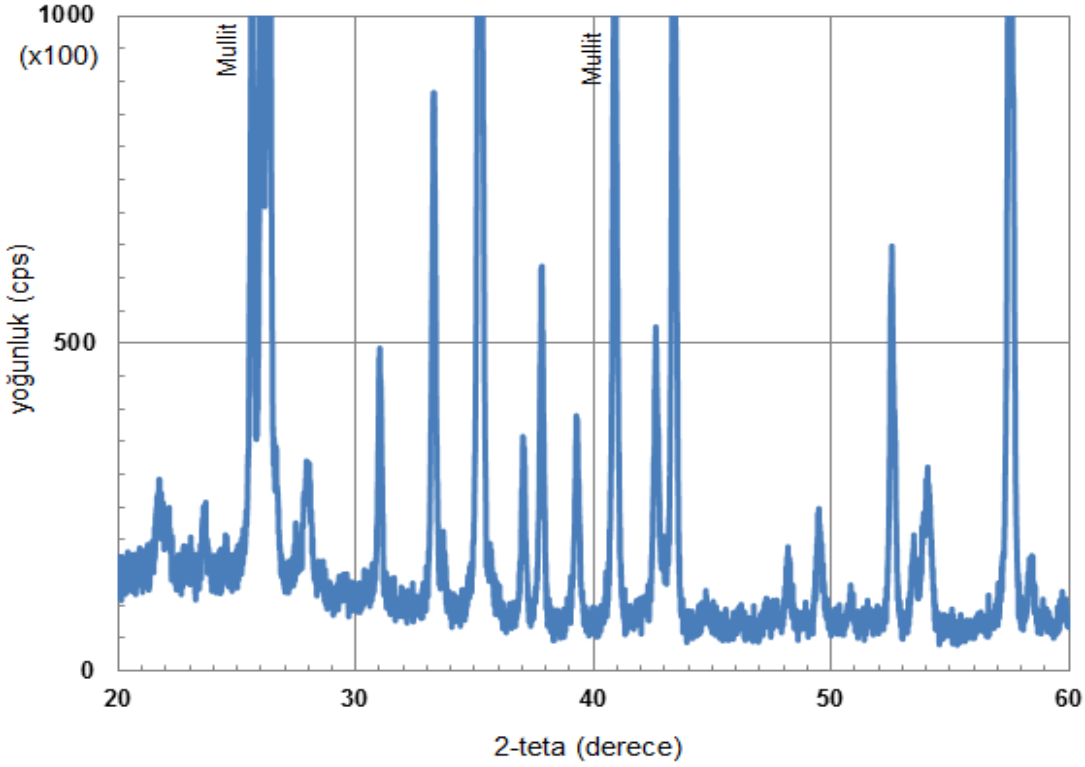
Şekil 5.13. Remgun 60 SİC 10 GG gunning castable ait XRD paterni



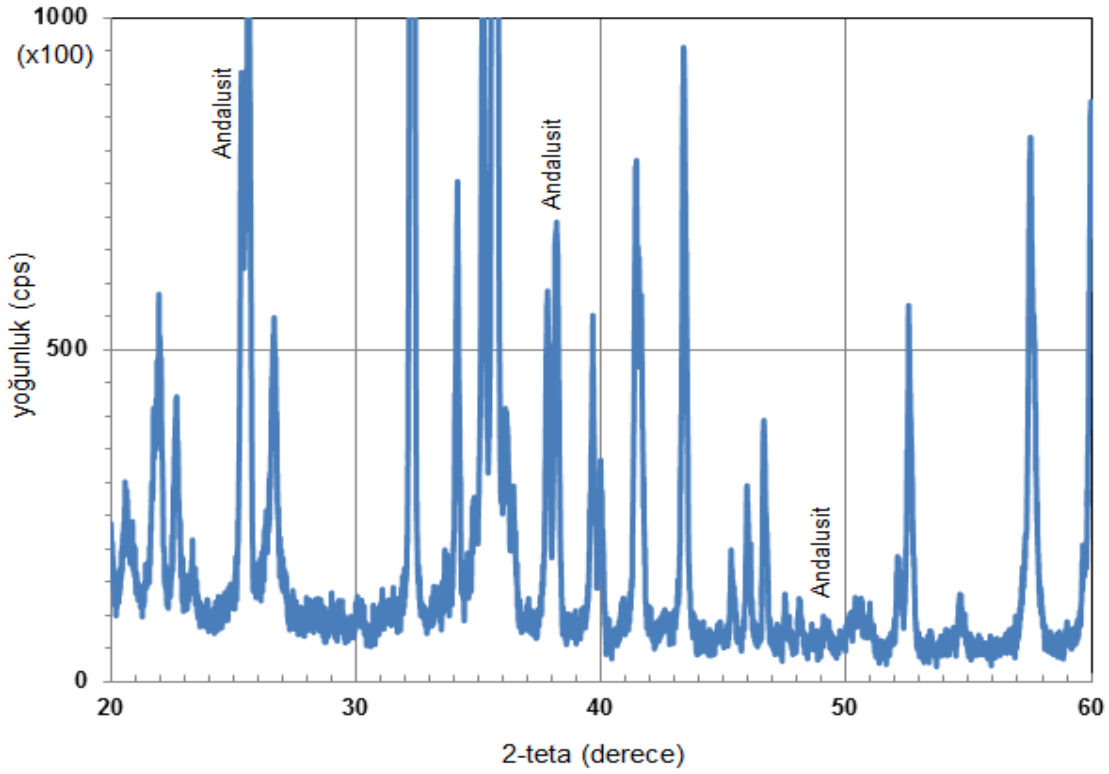
Şekil 5.14. Remlowcast 75 vibration castable ait XRD paterni



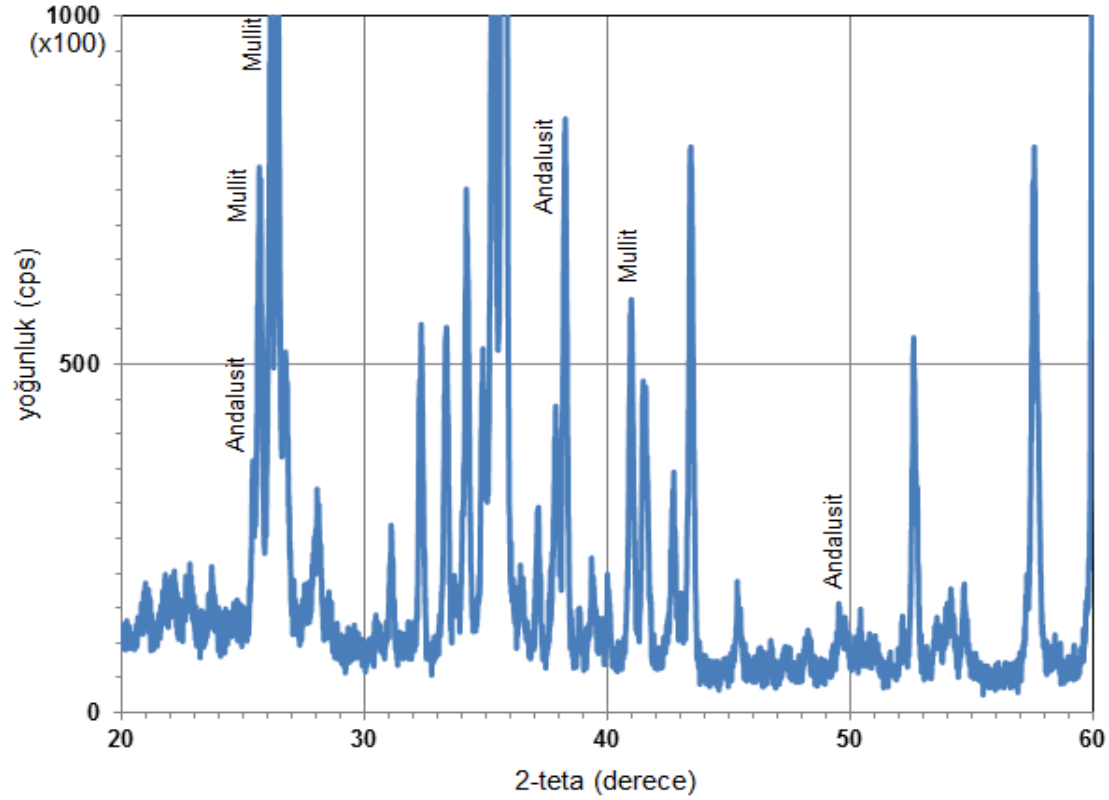
Şekil 5.15. Remlowcast 70 SİC vibration castable ait XRD paterni



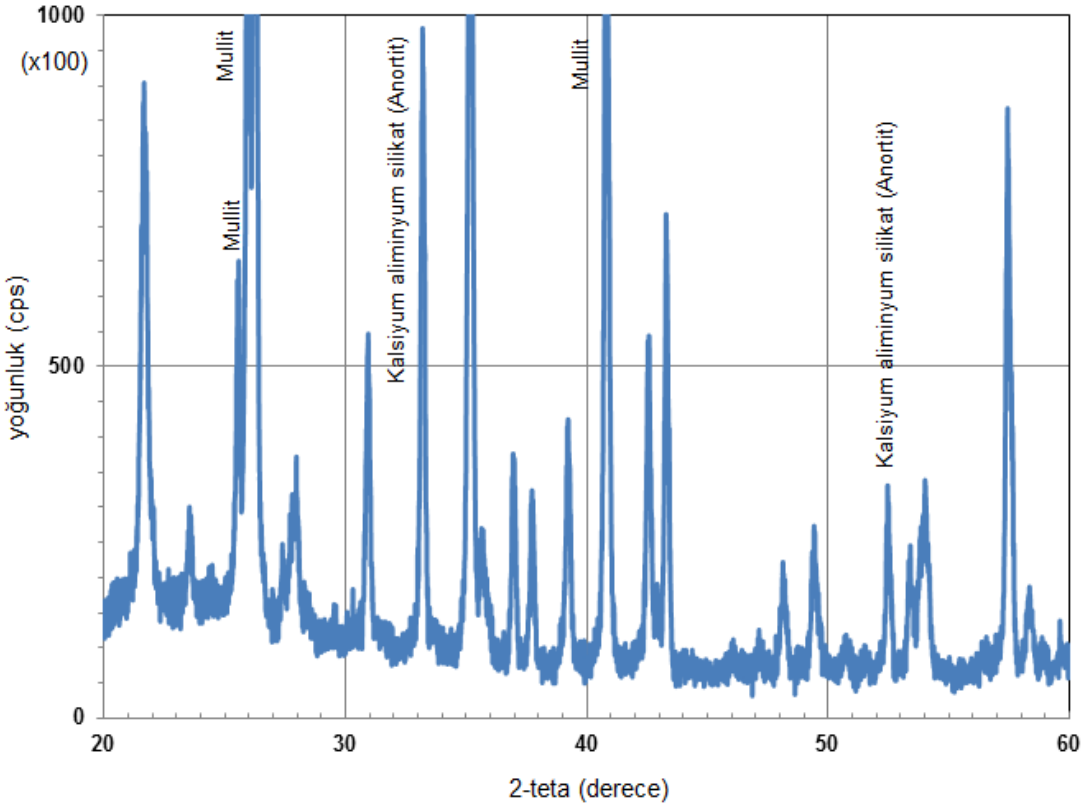
Şekil 5.16. Remlowcast 70 Zr Vibration castable ait XRD paterni



Şekil 5.17. Remlowcast 70 SİC vibration castable ait XRD paterni



Şekil 5.18. Remlowcast 60 SİC 30 vibration castable ait XRD paterni



Şekil 5.19. Remlowcast 50 vibration castable ait XRD paterni

Mineralojik incelemeler için çekilen paternler (Şekil 5.13-5.19) incelendiğinde kil grubu minerallerin hakim olduğu görülmüştür. İncelenen örneklerin yüksek sıcaklıklara kolayca dayanan iyi kalite refrakterler grubunda olacak şekilde üretildiği anlaşılmıştır.

5.2.3. Petrografik Analiz

Refrakter tuğlalardan 0,02 mm kalınlığında hazırlanmış ince kesitler polarizan mikroskopla incelenerek tuğla bileşimine giren mineraller ve pişirme sonrası oluşan bağlar, mineraller ve tuğlaları oluşturan tanelerin birbirlerine göre düzeni ve boşluk oranları belirlenmiştir.

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.

Remgun 60 SİC 10 GG Gunning Castable isimli refrakter tuğla ince kesitinin mikroskopla yapılan incelemesinde, tanelerin özşekilsiz, iri, çatlaklı, yanmaya bağlı değişmenin belirgin ve rölyeflerin keskin olduğu gözlenmiştir. Kesit genelinde boşluk oranının oldukça fazla olduğu görülmüştür (Şekil 5.20.a).

Remlowcast 75 Vibration Castable isimli refrakter tuğla ince kesitinin mikroskopla yapılan incelemesinde, hamur maddesi ile doldurulmuş iri kristallerin çoğu şekilsiz parçacıklar halinde, taneler özşekilsiz, iri taneler köşe rölyefleri ile belirgin şekilde ve tuğla bileşimine giren minerallerin bileşimlerinde var olan demir elementinin uygulanan pişme ısısına bağlı olarak koyu kahve-kırmızı rengi ile belirgin olduğu görülmüştür. Ayrıca kesit genelinde boşluk oranının oldukça fazla olduğu görülmüştür (Şekil 5.20.b).

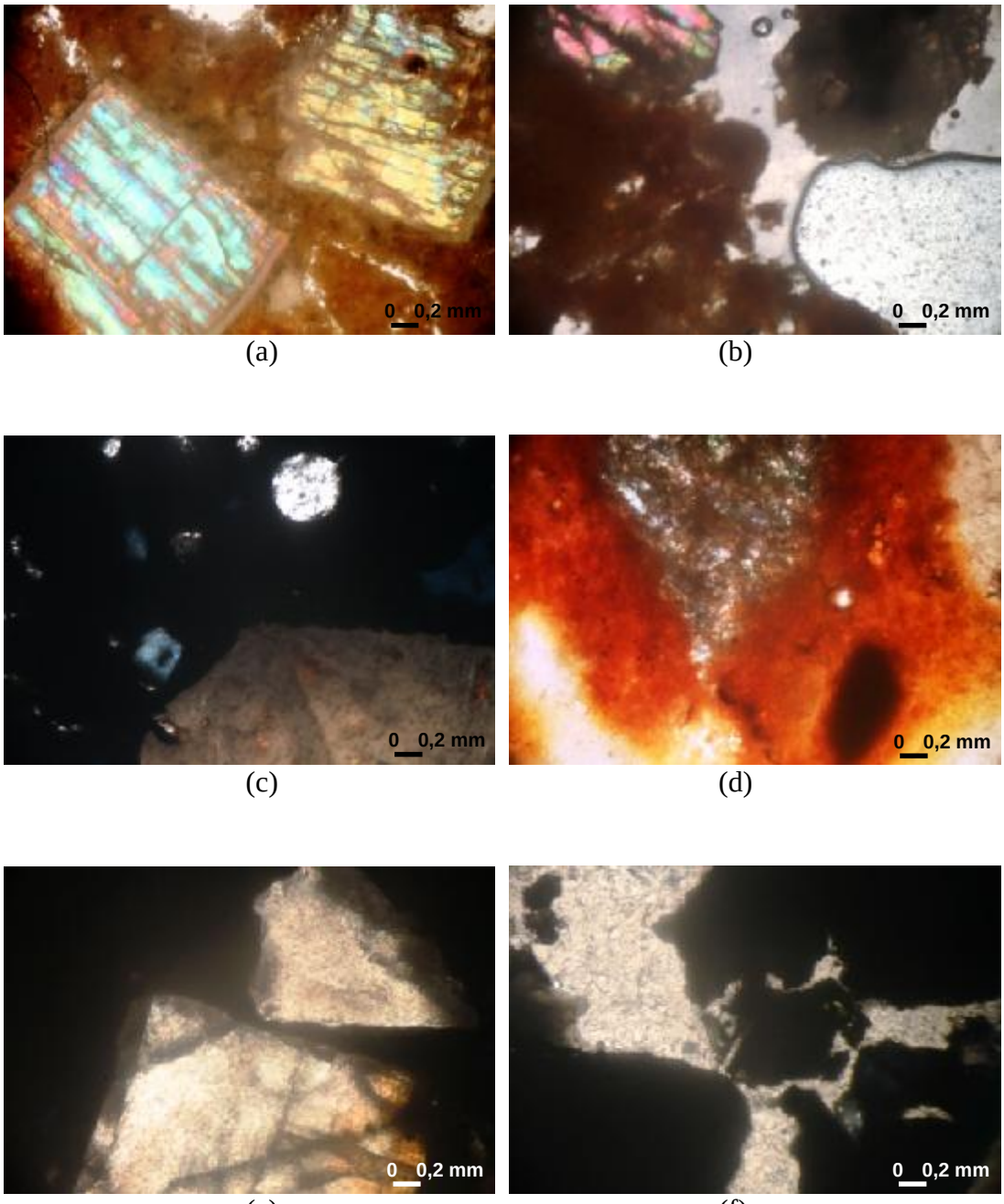
Remlowcast 70 SİC Vibration Castable isimli refrakter tuğla ince kesitinin mikroskopla yapılan incelemesinde, minerallerin iri kristalli ve kristallerin belirgin olduğu, boşluk oranının yüksek olduğu görülmüş ve hamur maddesi içeriği tanımlanamamıştır (Şekil 5.20.c).

Remlowcast 70 Zr Vibration Castable isimli refrakter tuğla ince kesitinin mikroskopla yapılan incelemesinde, aşırı pişmiş minerallerin tamamiyle birbiri içine geçtiği ve pişmeye bağlı kristallerde pişme zonları oluştuğu görülmüştür (Şekil 5.20.d).

Remlowcast 70 SİC Vibration Castable iri kristallerin oldukça belirgin olduğu, hatta kristallerin yer yer iri köşeli ve özşekilli olduğu görülmüştür. Ayrıca, hamur maddesinin tamamının opaklaştığı ve ışığı geçirmeyen bir malzemeye dönüştüğü görüldüğünden tanımlanamamıştır (Şekil 5.20.e).

Remlowcast 60 SİC 30 Vibration Castable isimli refrakter tuğla ince kesitinin mikroskopla yapılan incelemesinde, kristaller gözlenmemiş, mineral izi çok zayıf kalıntı şeklinde gözlenmiş ve hamur maddesi tanımlanamamıştır. Ayrıca, kesit genelinde boşluklu yapı oldukça fazla gözlenmiştir (Şekil 5.20.f).

Remlowcast 50 Vibration Castable isimli refrakter tuğla ince kesitinin mikroskopla yapılan incelemesinde, hamur maddesi içerisinde hafif kalıntı şeklinde mineral izleri görülmüştür (Şekil 5.20.g).

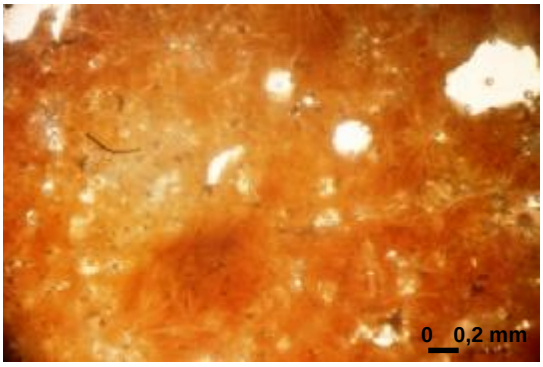


(a) (b)

(c) (d)

(e) (f)

Şekil 5.20. Refrakter tuğlaların ince kesit görüntüleri (a- Remgun 60 SİC 10 GG gunning castable, b- Remlowcast 75 vibration castable, c- Remlowcast 70 SİC vibration castable, d- Remlowcast 70 Zr vibration castable, e- Remlowcast 70 SİC vibration castable, f- Remlowcast 60 SİC 30 vibration castable, g- Remlowcast 50 vibration castable)



(g)

Şekil 5.20.g. Remlowcast 50 vibration castable

5.2.4. Ultrasonik Test

Refrakter tuğlalara yapısal özelliklerinin belirlenmesi ve pişme sırasında bünyesinde oluşan gözenekliliğin tespiti amacıyla P-dalgası uygulanmış ve elde edilen sonuçlar Çizelge 5.35'de verilmiştir.

Çizelge 5.35. Ultrasonik testi deney sonuçları (km/sn)

Remgun 60 SİC 10 GG gunning castable	3,003
Remlowcast 75 vibration castable	4,066
Remlowcast 70 SİC vibration castable	4,662
Remlowcast 70 Zr vibration castable	4,411
Remlowcast 70 SİC vibration castable	4,720
Remlowcast 60 SİC 30 vibration castable	3,468
Remlowcast 50 vibration castable	3,857

Çizelge 5.35'te 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. Petrografik incelemelerde tuğlalar bünyesinde değişen oranlarda (%10-30) boşluklar tespit edilmiştir. Petrografik incelemeler ultrasonik test (P-dalgası) deney sonuçlarını destekler niteliktedir.

6. SONUÇLAR

Refrakter malzemeler ısıya dayanıklı malzeme oldukları için ısı geçirmeyen malzemelerdir. Isı geçişi olmadığından dolayı; yakıt tasarrufu sağlaması, CO_2 salınımını düşürmesi bakımından önemi ile ülke ekonomisine katkısı çok fazladır.

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

Toz refrakter hammaddelere uygulanan kimyasal analiz sonucunda örneklerin yüksek saflıkta ve refrakterlik derecesini düşürecek alkali ve toprak alkali oksitlerin minimum seviyede olduğu belirlenmiştir. 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 katkılar değişik oranlarda karıştırılarak refrakter tuğla üretimi için uygun harçlar oluşturulmasına olanak sağlamaktadır. Kimyasal analiz sonuçları mineralojik analiz sonuçlarını destekler niteliktedir.

Refrakter malzemelerin en önemli özelliği yük altında şekil değiştirmeye karşı göstermiş oldukları dirençtir. Refrakter malzemelerin soğukta basma dayanımına malzemenin yapısı ve özellikle gözenek miktarı oldukça fazla etki edebilir. Kural olarak cam fazının miktarının yükselmesiyle basma dayanımı artar. Mekanik dayanım ve aşınma direnci yaklaşık 1000°C'ye kadar durumunu muhafaza eder. Daha yüksek sıcaklıklarda cam fazının artmasıyla birlikte aşınma dayanımı azalır. Çoğu zaman refrakter malzemenin görevi yüksek sıcaklıklı reaksiyon ortamını dıştan perdelemek ya da mufl fırınlarda aksine olarak sıcak ortamdaki ısıyı fırın içerisine taşımak olabilir. Isıl şoklara dayanım refrakter malzemelerin önemli özelliklerindendir. İşletme esnasında ısıtma ve soğutma veya sıcaklık salınımları malzemenin yüzeyi ve merkezi arasında sıcaklık farkları ve bunun sonucu olarak ısıl genleşme gerilmeleri meydana getirir. Isıl gerilmeler malzemenin dayanımını aşarsa

çatlaklar ya da kopmalar meydana getirerek malzemeyi tahrip eder. Yük altında refrakterlik, malzemenin yük altında dayanabileceği sıcaklıktır. Ürünün yapısında üç tür faz vardı sıvı faz (cam fazı), gaz fazı (porozite), kristal faz. Yük altında refrakterliğin az olması için; porozitenin azaltılması, camsı faz miktarının düşük olması, kristal faz miktarının artırılması gerekir.

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 göstermiştir. Bu da yük altında sıcakta deformasyonunun minimum olması istenen fırın bölgelerinde kullanımının uygun olacağı sonucuna varılmasını sağlamıştır.

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 geometrilerde boşluklar görülmüştür.

Refrakter tuğlaların ince kesitlerinin mikroskopla yapılan incelemelerinde, tanelerin özşekilsiz, iri, çatlaklı, çatlaklar arası yanmaya bağlı değişimlerin belirgin olduğu görülmüştür. Kesitler genelinde boşluk oranının %10-30 aralığında olduğu anlaşılmaktadır. Ancak çalışmanın daha sonraki aşamalarında nihai ürünlerdeki porozite miktarı hakkında kesin bilgiler söylemek için ölçümler standartlara uygun test yöntemleri kullanılarak yapılabilir.

110°C, 820°C ve 1100°C sıcaklıklarda pişirilmiş refrakter tuğlalar üzerinde yapılan tek eksenli basma mukavemeti belirleme deneylerinde, incelenen numunelerden Remlowcast 60 vibration castable, Remlowcast 75 vibration castable ve Remlowcast 70 SİC vibration castable kod 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. Petrografik incelemelerde tuğlalar bünyesinde değişen oranlarda (%10-30) boşluklar tespit edilmiştir. Petrografik incelemeler ultrasonik test (P-dalgası) deney sonuçlarını destekler niteliktedir.

Deneyler sonucunda incelenen örneklerin iyi kalite refrakter olduğu sonucuna varılmıştır.

KAYNAKLAR

ALACA, M., 1999. Bor Karbür Üretimi, Afyon Kocatepe Üniversitesi Lisans Tezi.

ARI, K., ERDİNÇ, M., HAKTANIR, T., 2004. Kalsiyum Alüminatlı Çimentonun Refrakter Olarak Kullanılması, Beton 2004/10-12 Haziran, İstanbul.

CLARKE, G., 1993. Magnesia, Industrial Minerals Survey 1993, London.

DPT, 2001. Endüstriyel Hammaddeler Alt Komisyonu Toprak Sanayi Hammaddeleri III (Kuvars kumu- Kuvarsit- Kuvars) Çalışma Grubu Raporu, Ankara.

DPT, 2006. Dokuzuncu Kalkınma Planı (2007–2013), Taş ve Toprağa Dayalı Sanayiler Özel İhtisas Komisyonu Refrakter Sanayii Ön Raporu, Ankara.

GEÇKİNLİ, A. E., 1992. İleri Teknoloji Malzemeleri, İstanbul Teknik Üniversitesi Matbaası Gümüşsuyu.

HAND, G. P., 1996. Graphite Application and Developments, Industrial Minerals, March 1996, London.

HARRIES-REES, K., 1993. Graphite, Industrial Minerals Survey 1993, London.

İNEL, İ., 1997. Teknoloji ve Refrakter Hammaddeler 2. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, s 167-170, 16-17 Ekim 1997 Izmir Türkiye

İNEL, İ., ASLAN, C., ULUSOY G., 2001, Pomzalı Betonların Refrakter Amaçlı Kullanımı, 4. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, 221-225 (18-19 Ekim 2001, İzmir).

JARVIS, D., 1997. Refractory Trends in the UK, Industrial Minerals, March 1997, London.

JENKIS, R., GOULD, R. W., GEDCKE, D., 1995. Quantitive X-Ray Spectrometry, 2nd Edition, New York Marcel Dekker.

KAHRAMAN, S., 2002. Estimating the Direct P-wave Velocity Value of Intact Rock from Indirect Laboratory Measurements, Int. J. Rock Mech. Min. Sci., 39, 101-104.

KARABAŞ, K., 2006. Bor Karbür Üretimi, Dokuz Eylül Üniversitesi Yüksek Lisans Tezi.

KENDAL, T., 1995. Calcined and Tabular Alumina, Industrial Minerals, April 1995, London.

KENDAL, T., 1995. Steel Industry Monolithic, Industrial Minerals, November 1995, London.

KENDAL, T., 1996. Refractory Magnesia, Industrial Minerals, September 1996, London.

KÖKSAL N. S., ÜNLÜ, B. S., 2004. Refrakter Malzemelerin Termal Çevrimlerinde Soğutma Ortamlarının Malzeme Özelliklerine Etkisi, Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi, Cilt 1, Sayı 1, s. 1-8.

KÖKSAL N. S., 2005. Alümina Refrakter Malzemelerin Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi, Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi, Sayı 3, s. 23-28.

KÖKSAL N. S., 2009. Magnezya Esaslı Refrakter Malzemelerde Mekanik Özelliklerin YSA İle Belirlenmesi, 5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS'09), s. 13-15, Karabük.

KUŞOĞLU, İ. M., 2004. İleri Teknik Seramik Üretimi. Dokuz Eylül Üniversitesi Yüksek Lisans Tezi.

LOUGHBROUGH, R., 1993. Bauxite, Industrial Minerals Survey 1993, London.

O'DRISCOL, M., 1993. Refractories for Iron and Steel, Dolomite, Industrial Minerals Survey 1993, London.

O'DRISCOL, M., 1995. Refractory Bauxite, Industrial Minerals, March 1995, London.

O'DRISCOL, M., 1996. Fused Magnesia, Industrial Minerals, January 1996, London.

OLTULU, F., 1992 Bazik Refrakter Hammaddeler, Uluslar arası Seramik Kongresi, Türk Seramik Derneği Yayınları No. 5, s. 264-275.

ORHUN, O., 1972. İthal Edilen bazı refrakter harçların yerli hammaddelerle yapım olanağı, MTA Dergisi, Sayı 78, s 81-91, Ankara.

SEZER, B., 1994. Gümrük Birliğine Girerken Türk Refrakter Sektörü, Seramik ve Refrakter Üreticileri Birliği, 1994, İstanbul.

SKILLEN, A., 1993. Silicon Carbide Industrial Minerals Survey 1993, London.

SKOOG, D., A., HOLLER, F., J., AND NIEMAN, T. A., 1998. Principles of Instrumental Analysis, Fifth Edition, Harcourt Brace College Publishers, USA.

TS 699, 2009. Doğal Yapı Taşları-İnceleme ve Laboratuvar Deney Yöntemleri, Ankara.

TÜMER, M., 2004. Silisyum Nitrür Tozu Üretimi ve Sinterlenmesi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

WELLBORN, W., 1995. Fused Alumina, Industrial Minerals, November 1995, London.

http://www.turkcebilgi.com/refrakter/ansiklopedi).

ÖZGEÇMİŞ

1984 yılında Salihli (Manisa)'de doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini İzmir'de tamamladı. 2003 yılında Çukurova Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü'nü kazandı ve 2007 yılında mezun oldu. 2007 yılında Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Maden Mühendisliği Anabilim Dalı'nda başladığı Yüksek Lisans öğrenimine halen devam etmektedir.