45174

TANE DAĞILIMININ TUĞLA KALİTESİ ÜZERİNE ETKİSİ

Necmettin ERDOĞAN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Maden Mühendisliği Anabilim Dalı

1995

TANE DAĞILIMININ
TUĞLA KALİTESİ ÜZERİNE ETKİSİ

Necmettin ERDOĞAN

Osmangazi Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Lisansüstü Yönetmeliği Uyarınca
Maden Mühendisliği Anabilim Dalında
YÜKSEK LİSANS TEZİ
Olarak Hazırlanmıştır.

Danışman : Doç.Dr. Muammer KAYA

Şubat - 1995

Necmettin ERDOĞAN'ın YÜKSEK LİSANS tezi olarak hazırladığı "Tane Dağılımı'nın Tuğla Kalitesi Üzerine Etkisi" başlıklı bu çalışma, jürimizce lisansüstü yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

2./2./1995

Üye : Doç.Dr. Muammer KAYA

Üye : Doç.Dr. Remzi GÜRLER

Üye : Yrd.Doç.Dr. Haldun KURAMA

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 27-1-1995.... gün ve 95-3/13..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof.Dr. Süleyman TOKUR
Enstitü Müdürü

ÖZET

Refrakter tuğlaların kalitesine etki eden pek çok parametre vardır. Bunlardan bazıları, kullanılan cevherlerin tane boyutu, fiziksel, kimyasal ve minerolojik v.s. özelliklerdir. Bu tez çalışmasında, kullanılan cevherlerin tane boyutunun tuğla kalitesine etkileri incelenmiştir. Perileks 83 ve P15 tuğlalarından alınan parlak kesitlerde, tane boyutu üzerinde incelemeler yapıldı. P15 tuğla kalitesinin arttırılması amacıyla yeni tuğla reçeteleri hazırlandı. Tuğla reçetelerinin paketleme yoğunluk testleri yapıldı. En uygun tane dağılımı tesbit edildi ve N90 tuğlası üretildi. Üretilen tuğlanın fiziksel ve kimyasal analizleri yapıldı.

N90 tuğlasının ortalama değerleri; bulk yoğunluğu 3.02 gr/cm^3, görünür porozitesi %15.92, refrakterlik için çok önemli olan soğukta basınç mukavemet değeri 505 kg/cm^2 ve yük altında refrakterlik değeri >1600 °C'dir. Bu değerlere göre N90 tuğlası P15 tuğlasından daha iyi sonuçlar vermiştir.

Anahtar kelimeler : Refrakter tuğla, magnezit-krom tuğla, soğukta basınç mukavemeti, yük altında refrakterlik.

SUMMARY

There are a lot of parameters that affect the quality of refractory bricks. Same of these parameters are the grain size, physical, chemical and mineralogical characteristics of ores used. In this study, the effect of used ore size to the brick quality was investigated. Grain size of perilex 83 and P15 bricks were measured using a microscope. New brick production formulas were prepared to improve P15 brick quality according to the result of the study. The pack up density of the brick formulas were determined. Optimum grain sizes were found and N90 brick was produced. Physical tests and chemical analysis of produced bricks were determined.

The average values of N90 brick such as bulk density 3.02 gr/cm^3, apparent porosity %15.92, in cold press resistance that is very important for refractoriness are 505 kg/cm^2 and the values of the refractoriness under load are higher than 1600 °C. According to these results, N90 brick has a better performance than P15 brick.

Key words : Refractory bricks, magnezite-chrome brick, cold press resistance, refractoriness under load.

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca bana değerli yardımlarını esirgemeyen sayın Hüseyin GÜRCAN, Hayriye ÇELİK ve Refik YILDIZ'a, değerli mesai arkadaşlarıma ve danışman'ım sayın Doç.Dr.Muammer KAYA'ya teşekkürü bir borç bilirim.

Saygılarımla,
Necmettin ERDOĞAN

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET iv

SUMMARY v

ŞEKİLLER DİZİNİ vii

ÇİZELGELER DİZİNİ viii

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ x

1. GİRİŞ 1

2. REFRAKTER MALZEMELER 2

2.1. Tanımı 2
2.2. Kullanıldığı Yerler 2
2.3. Sınıflandırılması 2

3. ÇİMENTO SEKTÖRÜ VE MAGNEZİT-KROM TUĞLA 3

3.1. Çimento Hammaddesi 4
3.2. Çimento Üretimi 5
3.3. Yatay Döner Fırın 6
3.3.1. Fırın bölgeleri 6
3.4. Döner Fırın Tuğlaları 7

4. MAGNEZİT-KROM TUĞLA HAMMADDESİ 8

4.1. Magnezit Cevherinde Aranan Özellikler 8
4.2. Maden Yatağından Magnezit Üretimi 9
4.3. Deniz Suyundan Magnezit Üretimi 9
4.4. Sinter Magnezit Üretimi 11
4.5. Fused Magnezit Üretimi 12

İÇİNDEKİLER (devam)

Sayfa

4.6. Magnezit ve Sinter Magnezit Spesifikasyonları 13

5. MAGNEZİT-KROM TUĞLA'DA ARANAN ÖZELLİKLER 14

5.1. Bulk Yoğunluğu 14
5.2. Porozite 15
5.3. Isı İletkenliği 16
5.4. Soğukta Basınç Mukavemeti 18
5.5. Lineer Uzama 19
5.6. Yük Altında Refrakterlik 19

6. FAZ SİSTEMLERİ 21

6.1. Mineraller Arasındaki Bağ Mekanizmaları 21
6.1.1. Düşük sıcaklıkta 21
6.1.2. Yüksek sıcaklıkta 21
6.1.2.1. Silikat bağı 21
6.1.2.2. Semidirek bağı 21
6.1.2.3. Direk bağ 22
6.2. Pişirme Sırasında Oluşan Fazlar 24
6.3. Sıvı Fazın Oluşum Sıcaklığı 26
6.4. Cevher İçerisindeki Empürite'lerin Tuğla Kalitesi'ne Etkileri 27

7. PİŞİRME SIRASINDA TUĞLA BÜNYESİNDE OLUŞAN MİNERAL VEYA FAZLARIN MİKROSKOBİK ÖZELLİKLERİ 29

7.1. Magnezit'i Karbonat ve Silikat Minerallerden Ayırma Yöntemi 29
7.2. Magnezyum Oksitlerin Mikroskobik Özellikleri 30
7.3. Silikat'ların Mikroskobik Özellikleri 31
7.4. Kalsiyumoksit'in Mikroskobik Özellikleri 35
7.5. Ferrit'lerin Mikroskobik Özellikleri 36
7.6. Alüminat'ların Mikroskobik Özellikleri 38
7.7. Kromit'in Mikroskobik Özellikleri 39

İÇİNDEKİLER (devam)

	Sayfa
8. DENEYSEL ÇALIŞMA	40
8.1. Çalışmanın Amacı	40
8.2. Çalışma Yöntemi	41
8.3. Tuğla Reçetesinin Hazırlama	44
8.4. Paketleme Yoğunluğu	47
8.5. Harman Hazırlama	52
8.6. Presleme	53
8.7. Kurutma	53
8.8. Pişirme	54
8.9. Tuğlada Yapılan Testler	54
8.9.1. Kimyasal analiz	55
8.9.2. Bulk yoğunluğu	56
8.9.3. Görünür porozite	56
8.9.4. Isı iletkenliği	57
8.9.5. Soğukta basınç mukavemeti	57
8.9.6. Lineer uzama	58
8.9.7. Yük altında refrakterlik	58
9. SONUÇLAR	59
10. ÖNERİLER	61
KAYNAKLAR	62

İÇİNDEKİLER (devam)

EKLER

1. Refrakter Malzemelerin Sınıflandırılması
2. Gaziantep Çimento A.Ş. Üretim Akım Şeması
3. Yatay Döner Fırın ve Fırın Bölgelerinin Şematik Gösterimi
4. Çimento Yatay Döner Fırın Bölgelerinde Kullanılan Tuğlalar ve Tuğlaların Özellikleri
5. Deniz Suyundan Magnezit Üretimi Akım Şeması
6. Magnezit-Krom Tuğlalarda Aranan Özellikler
7. $MgO-CaO-SiO_2$ Üçlü Faz Diyagramı
8. Kimyasal Analizlerin Yapılışı

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil		Sayfa
6.1.	Perileks ve kromit taneleri arasında oluşan I. spinel bağ	22
6.2.	Perileks ve kromit taneleri arasında oluşan II. spinel bağ	23
6.3.	Perileks ve kromit taneleri arasında oluşan III. spinel bağ	23
8.1.	Perileks 83 ve P15 tuğlaları parlak kesitleri	44
8.2.	Paketleme yoğunluğu deney cihazı	47
8.3.	Hazırlanan harman numunesine şekil vermede kullanılan pres	53
8.4.	Şekillendirilmiş tuğlaları pişirmede kullanılan fırın	54

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge		Sayfa
4.1.	Fused magnezitin sınıflandırılması	13
4.2.	Ham magnezit cevheri ve sinter magnezitin spesifikasyonları	14
5.1.	Bazik tuğlaların bulk yoğunluk değerleri	15
5.2.	Çok sık kullanılan refrakter tuğlaların T_a değerleri	20
6.1.	MgO-CaO-SiO2 ötektiklerinin yaklaşık ergime sıcaklıkları	27
8.1.	P15 ve Pr83 tuğlalarının kimyasal analiz değerleri	41
8.2.	Pr83 tuğlası parlak kesitinde sinter magnezit ve kromit cevherinin (toplam) tane boyutu ölçümü ve sayımı	42
8.3.	Pr83 tuğlası parlak kesitinde kromit cevherinin tane boyutu ölçümü ve sayımı	42
8.4.	P15 tuğlası parlak kesitinde sinter magnezit ve kromit cevherinin (toplam) tane boyutu ölçümü ve sayımı	43
8.5.	P15 tuğlası parlak kesitinde kromit cevherinin tane boyutu ölçümü ve sayımı	43
8.6.	Deneme tuğlalarının % tane dağılımları	45
8.7.	N1 ve N2 deneme tuğlalarının, sinter magnezit ve kromit cevherine göre % tane dağılım oranları	46
8.8.	N3 ve N4 deneme tuğlalarının, sinter magnezit ve kromit cevherine göre % tane dağılım oranları	46
8.9.	N5 ve N6 deneme tuğlalarının, sinter magnezit ve kromit cevherine göre % tane dağılım oranları	46
8.10.	Paketleme yoğunluğu testi için N1 tuğla reçetesine ait test numune miktarları	48
8.11.	Paketleme yoğunluğu testi için N2 tuğla reçetesine ait deney numune miktarları	49
8.12.	Paketleme yoğunluğu testi için N3 tuğla reçetesine ait deney numune miktarları	49
8.13.	Paketleme yoğunluğu testi için N4 tuğla reçetesine ait deney numune miktarları	49

ÇİZELGELER DİZİNİ (devam)

Çizelge	Sayfa
8.14. Paketleme yoğunluğu testi için N5 tuğla reçetesine ait deney numune miktarları	50
8.15. Paketleme yoğunluğu testi için N6 tuğla reçetesine ait deney numune miktarları	50
8.16. N1, N2, N3, N4, N5 ve N6 tuğlalarının paketleme yoğunluk deney sonuçları	51
8.17. Üretilecek N3 tuğlasının harman karışımı için gerekli cevher miktarları	52
8.18. Tuğlaların fiziksel analiz değerleri	55
8.19. Tuğlaların kimyasal analiz değerleri	55
8.20. Tuğlaların bulk yoğunluk değerleri	56
8.21. Tuğlaların görünür porozite değerleri	57
8.22. Tuğlaların ısı iletkenlik değerleri	57
8.23. Tuğlaların soğukta basınç mukavemet değerleri	57
8.24. Tuğlaların lineer uzama değerleri	58
8.25. Tuğlaların yük altında refrakterlik değerleri	58

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler	Açıklama
ρ	Yoğunluk, gr/cm^3

Kısaltmalar

M	Periklaz, MgO
C	Kalsiyumoksit (kireç), CaO
S	Silis, SiO_2
C/S	CaO/SiO_2
M_2S	Forsterit, $2MgO.SiO_2$
CMS	Montisellit, $CaO.MgO.SiO_2$
C_3MS_2	Mervinit, $3CaO.MgO.2SiO_2$
C_2S	Dikalsiyumsilikat, $2CaO.SiO_2$
C_3S	Trikalsiyumsilikat, $3CaO.SiO_2$
MF	Magnezoferrit, $MgO.Fe_2O_3$
MA	Magnezoalüminat (spinel), $MgO.Al_2O_3$
P	Pişmiş tuğla
Pr	Periklas
SBM	Soğukta basınç mukavemeti, kg/cm^2
SK	Seger koni
Esçim	Eskişehir Çimento
Kümaş	Kütahya Magnezit Anonim Şirketi

1. GİRİŞ

Refrakter malzemeler yüksek sıcaklıklarda üretim yapan; demir üretim tesislerinin yüksek fırın ve diğer yerlerinde, çelik üretim tesislerinin Siemens-Martin ocakları ve oksijen konverterlerinde, çelik dökümhanelerinin elektrik ark ocaklarında ve ısıl işlem fırınlarında, çimento fabrikaları döner fırın-soğutucu-siklon-sıcak hava ocağı ve diğer yerlerinde, kok fırınlarında, cam ergitme fırınlarında, seramik ve pişmiş kilden gereç yapan fabrikaların her türlü fırınlarında, termik santral kazanlarında, alüminyum tesislerinde, kireç fırınlarında, ve daha birçok önemli sanayi kuruluşlarında kullanılarak onlara üretim imkanı sağlaması açısından oldukça önemli bir yere sahiptir (Özden, 1982).

Yukarıda sayılan işletmelerin sürekli refrakter malzemelere ihtiyacı vardır. Refrakter malzemelerin sınırlı kullanım ömürlerinin olması belirli aralıklarda fırın ve benzeri yerlerdeki örgü ve örtülerinin yenilenmesini gerektirmektedir. Bu nedenle bir sınayi tesisi, kullanacağı tip ve kalitedeki refrakter malzemeyi her hangi bir sebeple zamanında temin edemez ise, tüm üretimini durdurmak zorunda kalabilir. Ve yine bir ülke refrakter malzeme ihtiyacını ithalat yoluyla karşılıyorsa, ithalatın herhangi bir nedenle kesilmesi durumunda, refrakter malzemelere dayalı üretim yapan sanayisinin hemen hemen tamamının durmasına yol açacağı ortadadır. Bu açıdan refrakter malzemeler temel sanayi için stratejik önem taşır.

Stratejik öneme sahip olduğunu ifade ettiğimiz refrakter malzemelerin ülkemiz kaynaklarından sağlanması ve yeni teknolojik gelişmelere cevap verebilecek kalitede üretilmesi kaçınılmaz bir sonuçtur.

Refrakter malzemeler çok geniş alanda değerlendirilmektedir. Bu çalışmada; şekillendirilmiş bazik refrakterler sınıfından magnezit-krom (yatay döner çimento fırını) refrakter tuğlası ile çalışılmışdır. Bu tuğlanın hammaddesi olan magnezit cevherinin üretilmesi, sinterlenmesi ve tuğla yapımı hakkında bilgiler verilmiştir.

2. REFRAKTER MALZEMELER

2.1. Tanımı

Yüksek sıcaklıkta katı, sıvı ve gazların fiziksel ve kimyasal etkilerine karşı koyabilen, ergime noktası minimum 1580 °C olan, sert yapıda, inorganik maddelerden meydana gelmiş malzemelere refrakter malzeme denir (Kibar, 1987).

2.2. Kullanıldığı Yerler

Refrakter malzemeler yüksek sıcaklıklarda üretim yapan demir üretim tesislerinin yüksek fırın ve diğer yerlerinde, çelik üretim tesislerinin Siemens-Martin ocakları ve oksijen konverterlerinde, çelik dökümhanelerinin elektrik ark ocaklarında ve ısıl işlem fırınlarında, çimento fabrikaları döner fırın-soğutucu-siklon-sıcak hava ocağı ve diğer yerlerinde, kok fırınlarında, cam ergitme fırınlarında, seramik ve pişmiş kilden gereç yapan fabrikaların her türlü fırınlarında, termik santral kazanlarında, alüminyum tesislerinde, kireç fırınlarında, ve daha birçok önemli sanayi kuruluşlarında kullanılmaktadır (Özden, 1982).

2.3. Sınıflandırılması

Refrakter malzemeler birçok yolla sınıflandırılır. Genellikle kimyasal ve fiziksel özelliklerine göre sınıflandırılan refrakterler cins, sıcaklık, kimyasal karakter, fiziksel şekil ve kullanım yeri gözönüne alınarak yapılmaktadır (Kibar, 1987). Ek.1. de refrakter malzemelerin sınıflandırılması toplu olarak gösterilmektedir.

Kimyasal yapısına göre refrakter malzemeler asidik, nötr ve bazik olarak sınıflandırılır. Asidik gruba giren refrakter malzemeler başlıca RO_2 grubu içerir ve içeriklerine göre silika (SiO_2), şamot ($Al_2O_3.SiO_2$), zirkon ($ZrO_2.SiO_2$), ve silikon karbit (SiC) olarak isimlendirilirler (Gilchrist, 1970).

Nötr olarak isimlendirilen refrakter malzemeler başlıca R_2O_3 veya $RO.R_2O_3$ grubu içerir ve içeriklerine göre yüksek alümina (Al_2O_3. SiO_2), kromit (Cr_2O_3. Al_2O_3. MgO. FeO), spinel (Al_2O_3.MgO), pikrokromit (Cr_2O_3.MgO) ve karbon/grafit (C) olarak isimlendirilirler.

Bazik gruba giren refrakter malzemeler ise başlıca RO içerir ve içeriklerine göre forsterit (Al_2O_3.SiO_2), krom-magnezit (Cr_2O_3.Al_2O_3. MgO.FeO), magnezit (MgO), dolomit (MgO.CaO) olarak isimlendirilirler.

Fiziksel yapılarına göre refrakter malzemeler; şekillenmiş, şekillenmemiş ve refrakter harç olmak üzere üç grupta değerlendirilmektedir. Şekillenmiş refrakterler şekillendirilme durumuna göre izole ve refrakter tuğla olarak isimlendirilir (Kibar, 1987).

Refrakter malzemeler şekillendirilmediği takdirde castable, plastik, gunning, ramming olarak isimlendirilir.

Refrakter harçlar, tuğla örümü sırasında kullanılır ve havada sertleşen, sıcakta sertleşen özelliklerde üretilir.

3. ÇİMENTO SEKTÖRÜ VE MAGNEZİT-KROM TUĞLA

Çimento büyük çoğunlukla yatay döner fırınlarda pişirilmektedir. Yatay döner fırında çimento pişirme, kalsinasyon bölgesi, geçiş bölgesi, sinter bölgesi ve klinker çıkış olmak üzere dört bölgede gerçekleşmektedir. Her bölgenin kendine özgü şartları ve sıcaklığı vardır. Fırın içinde, bölge özelliğine göre tuğla kullanılır. Magnezit krom tuğla geçiş ve sinter bölgelerinde kullanılır (Özden, 1987).

Kalker, kil ve marn'ın üretilecek çimento reçetesine göre belirli oranda karıştırılıp öğütülen ve fırına beslenecek hale getirilen malzemeye *farin* denir. Farin'in pişirilmesi sonucunda elde edilen ürüne *klinker* denir. Klinker'in (alçı, tras, sülfat, MgO, vs. gibi) katkı maddeleriyle karıştırılıp öğütülmesiyle elde edilen ürüne genel olarak *çimento* denir. Katılan katkı maddesine göre çimentonun adı

değişir. Örneğin MgO katılarak elde edilen çimentoya *sorel çimento* denir (Gaziantep Çimento teknik eğitim raporu, 1987).

3.1. Çimento Hammaddesi

Çimento fırınlarında kullanılan magnezit-krom tuğlanın ömrüne tesir eden faktörlerden birisi çimento hammaddesidir. Sinter bölgesinde sıcaklık 1550-1600 °C civarındadır. Bu sıcaklıkta hem çimento hammaddesi hem de tuğla bünyesinde bulunan bazı mineraller sıvı hale gelir. Böyle bir ortamda kimyasal atak denilen minerallerin biribirleriyle tepkimeye girmeleri sonucunda tuğla malzemesi çimento hammaddesine karışarak tuğlanın aşınıp ömrünün azalmasına sebep olur. Tuğla ve çimento hammaddesi özelliklerinin iyi bilinmesi bu iki malzemenin birbirleriyle kimyasal tepkimeye girmelerine engel olunabilmesi açısından oldukça önem taşır.

Kalker, kil ve marn üç önemli ve temel çimento hammaddesidir. Bu hammaddelerin genel özellikleri aşağıdaki gibidir (Gaziantep Çimento teknik eğitim raporu, 1987).

KALKER : 2.7 gr/cm^3 yoğunluğuna sahip, bünyesinde az miktarda SiO_2, Al_2O_3 ve Fe_2O_3 bulunan kalsiyum karbonat ($CaCO_3$) kimyasal formülüne sahip endüstriyel bir hammaddedir. Rengi, içerisindeki Fe_2O_3 miktarına göre açık sarı ile kahverengi arasında değişir. İçerdiği $CaCO_3$ miktarı %90 ila %100 arasında değişir. Normal şartlar altında 894.4 °C sıcaklığa ısıtıldığında $CaCO_3 \longrightarrow CaO + CO_2$ tepkimesi gerçekleşerek kalsiyum oksit formuna dönüşür.

KİL : 2.2 gr/cm^3 yoğunluğuna sahip, bünyesinde Al_2O_3 ve Fe_2O_3 bulunan alüminyum silikat mineralidir. İkinci önemli çimento hammaddesidir. $Al_2O_3.SiO_2.2H_2O$ formülüne sahip kil mineraline *kaolen* denir. Kilin rengi, içerisindeki yabancı minerallerin miktarına göre değişir.

MARN : Kalker ve kilin tabiattaki doğal bileşimidir. Klinker üretimi için en ideal hammaddedir. İçerisinde Fe_2O_3 gibi oksitler, karbonat, sülfat, fosfat ve çoğunlukla silis bulunur. Yoğunluğu 2

gr/cm^3 civarında olup içerisindeki $CaCO_3$ yüzdesine göre killi marn veya kalkerli marn diye adlandırılır. Bünyesindeki Fe_2O_3 formülündeki Fe, kristal halinde ise rengi siyah, agregat halinde ise rengi kırmızı'dır.

3.2. Çimento Üretimi

Çimento hammaddesi kalker, kil ve marn'ın genel olarak kimyasal içeriği, $CaCO_3$, SiO_2, Al_2O_3, Fe_2O_3, H_2O'dur. Fırına beslenen bu kimyasal kompozisyonda, 100 °C de suyun buharlaşması, 900 °C ve üstünde CO_3'ın bozuşarak CaO'e dönüşmesi, 900-1200 °C de CaO'in alümina silikatlar ile reaksiyonu, 1200-1280 °C'de sıvı başlangıcı, 1280 °C ve üstündeki sıcaklıklarda son sıvı teşekkülü ve çimento bileşiklerinin meydana gelme reaksiyonları gerçekleşir (Bahadır).

Kalsinasyon bölgesinde önce farin bünyesindeki su buharlaşır, sonra kalsiyum karbonattaki karbondioksit ortamdan uzaklaşarak kalsiyum oksit oluşur. Farin, fırın içinde ilerlerken sıcaklık da yükselmeye devam eder. 1300 °C'lik sıcaklığa gelindiğinde farin bünyesinde sıvı teşekkülü başlar. Sinter bölgesinde kalsiyum oksit, silikatlar ile tepkimeye girerek klinker oluşur ve farin, klinker olarak fırını terkeder. Sinter bölgesinde, 1500-1600 °C civarındaki sıcaklıkta, farin bünyesinde meydana gelen sıvı faz, tuğlaya yapışarak kor görünümünde kabuk (anzast) oluşturur. Kabuğun kalınlığı yaklaşık tuğla kalınlığı kadar olmaktadır. Kabuk oluşumu tuğlanın korunması açısından istenen bir durumdur. Sinter bölgesinin dışındaki bölgelerde kabuk oluşumu istenmez (Bahadır).

Ek. 2. de örnek bir çimento (Gaziantep Çimento A.Ş.) üretimi akım şeması görülmektedir. Akım şemasında, çimento hammaddesi üretimi, kırma-öğütme, pişirme ve stoklama aşamaları görülmektedir (Gaziantep Çimento teknik eğitim raporu, 1987).

3.3. Yatay Döner Fırın

İçerisi yüksek sıcaklığa dayanıklı tuğlalar ile döşenmiş, yatayla %3-5 derece eğimi olan, 0.15-0.30 m/sn çevresel hızla dönen, silindir şeklindeki fırına yatay döner fırın denir. Pişirilecek olan çimento hammaddesi fırına yukarı kısımdan girer, fırının dönüşü ve eğimi ile alt çıkış ucuna doğru ilerler ve pişmiş olarak fırını terk eder. Yakma sistemi fırın alt ucuna yani ürün çıkış tarafına konulmuştur. Yakıt olarak kömür, fuel-oil veya gaz kullanılır. Fırın 1650 °C sıcaklığa kadar çıkar.

Fırınlar uzunluklarına göre iki ya da daha fazla taşıyıcı düzen (ring ve gale) üzerine oturtulur. Fırın tahriki elektrik motoru, şanzuman, tahrik dişlisi ve fırın üzerine monte edilmiş fener dişli tarafından sağlanır. Sistem sıcaklıktan etkilenmemesi için giriş bölgesine veya ortalara doğru galeye yakın yere konur.

3.3.1. Fırın bölgeleri

Döner fırınlar, farinin fırın içerisinde geçirdiği safhalara göre kalsinasyon, geçiş, sinter ve soğutma olmak üzere dört kısma ayrılır. Ek.3. de yatay döner fırın ve fırın bölgeleri şematik olarak gösterilmiştir (Özden, 1982).

Kalsinasyon bölgesi : Hammadde (farin) girişinden itibaren başlar ve farinin tam kalsine oluşunun tamamlandığı yere kadar devam eder. Bu bölge genellikle 47-50 metre uzunluğundadır. Sıcaklık girişten itibaren 1100-1300 °C arasındadır. Kalsinasyon bölgesinde % 39-42 alüminalı, asidik tuğla kullanılmaktadır. Farin içerisindeki (CO_3) karbonatların ayrıştığı ve minerallerin oksit formuna dönüştüğü bölgedir.

Geçiş bölgesi : Kalsinasyon bölgesi ile sinter bölgesi arasında 5-6 metre uzunluğunda bir bölgedir. Adından da anlaşıldığı gibi geçiş bölgesidir. 1300-1500 °C arasında sıcaklığa sahiptir. Bu bölgede kabuk tutması arzu edilmez. Bölgede magnezit-krom, bazik tuğla kullanılır.

Sinter bölgesi : Geçiş bölgesi bitiminden itibaren başlar çıkışa 1-2 metre kalıncaya kadar devam eder. Uzunluğu 12-18 metre arasında değişir. Fırının en önemli bölgesi olan bu bölümde kalsine olan farin 1500-1600 °C sıcaklıkta pişerek klinker haline dönüşür. Yüksek sıcaklığa dayanıklı magnezit-krom tuğla veya yüksek alüminalı % 80 ateş tuğlaları ile örülüdür. % 80 alüminalı tuğla elde etmek çok zor ve pahalı olduğundan magnezit-krom, bazik tuğla kullanılır. Yaklaşık tuğla kalınlığı kadar kabuk oluşması arzu edilir.

Klinker çıkış bölgesi : Klinker çıkış, soğutma veya havuzlama bölgesi olarak da adlandırılan bu bölge fırının son 1-2 metre'lik çıkış bölgesidir. Sinter bölgesinden gelen yüksek sıcaklıklı klinkerin ısısının burada fırının içine giden gazlara vermesi sağlanır. Bu bölge yüksek sıcaklığa ve aşınmaya dayanıklı tuğla ile örülür. Geçmişde Yüksek alüminalı ve silisyum karbür tuğla kullanılmış, yeteri kadar randıman alınamayınca bugün spinel ($MgO.Al_2O_3$) tuğla kullanılmaya başlanmıştır. Bölge termal şok etkisine maruzdur.

3.4. Döner Fırın Tuğlaları

Yatay döner çimento fırını dört bölge içerir. Her bölgenin özellikleri farklıdır. Ek.4. de, çimento yatay döner fırın bölgelerinde kullanılan tuğlalar ve bu tuğlaların özellikleri toplu olarak gösterilmiştir. Bölgelerin özelliklerine uygun tuğla kullanılması gerekmektedir. Kalsinasyon bölgesi ortamında, suyun buharlaşmasından gelen subuharı ve karbonatın bozuşmasından gelen karbondioksit gazı vardır. Bu şartlar göz önüne alınarak, kalsinasyon bölgesinde kullanılacak tuğlada, yüksek izole kabiliyeti, yeteri kadar ateşe dayanıklılık ve korozyona (gaz ve buhar v.s.) dayanması gerekmektedir. Kalsinasyon bölgesinde %39-42 Al_2O_3 içeren alümina, asidik tuğla kullanılmaktadır.

Geçiş bölgesinde kullanılacak tuğla; yüksek sıcaklığa dayanım, sızabilecek sıvı faza karşı kimyevi dayanım, kabuk oluşumuna karşı dayanım, aşınma ve sıcaklık değişimine karşı dayanma özelliği göstermelidir. Geçiş bölgesinde %60-65 MgO, %12-14 Cr_2O_3 içeren magnezit-krom tuğla kullanılmaktadır.

Sinter bölgesinde kullanılacak tuğla; ateşe ve sıcaklıkta yüksek basınç dayanımı, sıvı halde bulunan bazik maddeye dayanım, mekanik etkilere karşı dayanım, termal şoka dayanım, yeteri kadar bir kabuk oluşmasını sağlayacak özellikte olmalıdır. Sinter bölgesinde sayılan özelliklere uyum sağlayan, %77-80 MgO, %6-8 Cr_2O_3 içerikli magnezit-krom, bazik tuğla kullanılmaktadır.

Klinker çıkış bölgesinde kullanılacak tuğla'nın; kor halindeki klinkere, klinker soğutucusundan gelen sekonder hava ve primer vantilatörden gelen soğuk havanın etkisine, termal şoka, mekanik darbelere karşı dayanması istenir. Klinker çıkış bölgesinde, %65 SiC tuğlası ve %50-55 Al_2O_3 içeren asidik tuğla kullanılmış fakat bu tuğlalardan yeteri kadar randıman alınamayınca spinel tuğla geliştirilmiş. Bugün $MgO.Al_2O_3$ içeren spinel tuğla kullanılmaktadır (Özden, 1982).

4. MAGNEZİT-KROM TUĞLA HAMMADDESİ

Magnezit-krom tuğlanın hammaddesi sinter magnezit ve krom cevheri'dir. Tabii magnezit cevherinin belli bölgelerde olması ve bir takım safsızlıklar içermesi nedeniyle çok saf magnezit cevheri elde etmek zor olmaktadır. Bunun yanında yeni teknolojik gelişmelerin çok saf magnezit cevherine gereksinim duyması, daha saf magnezit cevherinin üretimini zorunlu hale getirmiştir. Bu durum deniz suyundan magnezit üretimini gündeme getirmiş. Deniz suyundan elde edilen magnezitin MgO oranı ile yoğunluğunun yüksek olması ve diğer safsızlıkların (SiO_2 ve CaO) da çok düşük olması deniz suyundan magnezit üretimini cazip hale getirmiştir (Kaya, 1993).

4.1. Magnezit Cevherinde Aranan Özellikler

Bazik refrakter üretiminin temel hammaddesi olan magnezit cevherinin refrakter üretiminde kullanılması için ortalama jel magnezitte %3 SiO_2, %3 CaO ve %1 Fe_2O_3, kristalli magnezitte ise %6 SiO_2, %5 CaO ve %11 Fe_2O_3 bulunması istenmektedir. Bu oranların artması halinde cevher kullanılmaz hale gelir. Tuğla yapımında CaO/SiO_2 oranının 2/1 olması

istenmektedir. Bu oranlarda bulunan kalsiyum ve silisyum tuğla bünyesinde bağlayıcı görevi yapmaktadır.

4.2. Maden Yatağından Magnezit Üretimi

Maden yatağından magnezit cevherinin üretilmesi yeraltı ve açık işletme yöntemleriyle yapılmaktadır. Magnezit yatağını işletme şekli cevherin dağılımına, şekline tipine ve yatağın boyutuna göre değişir. Büyük masif yataklar genellikle açık işletme, dar ve derin yataklar kapalı işletme yöntemiyle yapılmaktadır (Kaya, 1993).

Türkiye'de bilinen 300 kadar manyezit yatağı Eskişehir, Kütahya, Balıkesir, Bursa yörelerinde ultrabaziklerin asit inklüzyonlarla kesildikleri yerlerde bulunmakta ve açık işletme yöntemiyle çıkarılmaktadır.

Çin, K.Kore, Rusya, İspanya, ABD, Kanada, Avusturalya ve Çekoslovakya'da dağlık bölgelerde yeraltı işletmesi olarak, oda-topuk yöntemiyle 60m yüksekliğinde odalar halinde çalışan magnezit işletmesi vardır. Bu işletmede, 80 tonluk elektrikli kepçeler ve yeraltı taşıma kamyonları kullanılmakta, çıkarılan cevher ham magnezit olarak kullanılmayacaksa refrakter veya kostik kalsine üretimi için tesislere yollanmaktadır.

4.3. Deniz Suyundan Magnezit Üretimi

Deniz suyundan magnezit elde edilmesinde uygulanan metot (Kibar, 1987), deniz suyu ile kireç taşının muamelesidir. Ek.5. de deniz suyundan magnezit üretiminin akım şeması görülmektedir. Bu yöntemle "Ube Chemical Industries Co, Ltd." isimli şirketi halen magnezit üretimi yapmaktadır. Japonya'daki bu firma 2 fabrikayla, toplam 530 işçiyle, yılda 450.000 ton deniz suyu magneziti, 100.000 ton magnezyum hidroksit, 50.000 ton magnezyum fused fertilizer, 50.000 ton magnezyum oksit elde etmektedir. Japonya'da üretilen deniz suyu magneziti'nin %70'i Ube firması tarafından gerçekleştirilmektedir. Firma yetkilileri deniz suyu magneziti için 470 ton deniz suyundan 1 ton MgO elde

edildiği, B_2O_3 miktarını yok denecek kadar düşürdüklerini ifade etmektedirler (Kibar, 1987).

Deniz suyundan magnezit üretiminde kullanılan kireç taşının önemli bir yeri vardır. Bu maksatla kullanılacak kireç taşının çok saf olması istenmektedir. Amaca uygun kireç taşını elde etmek için kireç taşı dikey fırında kalsine edilmekte, yumuşak su ile söndürülüp kireç sütü haline getirilmektedir.

Deniz suyundan magnezit üretimi kısaca şöyledir; Denizden pompalarla çekilen su çökeltme havuzlarına alınır. Suyun içerisindeki kum v.s. gibi yabancı maddeler çöktürülür. Deniz suyunun içerisinde bulunan karbonik asit iyonu ve karbonat iyonu konsantrasyonunu azaltmak için deniz suyu sülfürik asit ile muamele edildikten sonra dekarbonizasyon kulesinden geçirilir. Daha önce HCO_3^- ve CO_3^- iyonları miktarı 80 ppm iken 2-5 ppm'e düşürülür. Reaktörde, deniz suyu (0.2 gr/ton Mg^{++}) ile kireç sütü karıştırılır ve Mg^{++} 'nin $Mg(OH)_2$ halinde çökelmesi sağlanır. Bu çökelmeyi sağlayan kimyasal tepkime denklemi,

$$Mg^{++} + Ca(OH)_2 \longrightarrow Mg(OH)_2 + Ca^{++} \text{ dir.}$$

Bu tepkime sonunda oluşan $Mg(OH)_2$'deki magnezitin tane büyüklüğü 0.05-0.1 mikron arasındadır. Magnezit tanelerinin büyütülmesi için koyulaştırma tankına (tikiner) alınır. Koyulaştırma tankının tabanından alınan $Mg(OH)_2$ temiz su ilavesiyle seyreltilir. Daha sonra saflaştırma tikinerine alınan seyreltik, kalsiyum ve silikat gibi safsızlıklardan arındırılır.

Bu aşamalardan sonra $Mg(OH)_2$ %70 su içermektedir. Vakumlu filtrelerden geçirilerek su miktarı %50 seviyesine düşürülür. Ayrıca yoğunluğu da yükseltilmiş olur. Elde edilen $Mg(OH)_2$ kekleri kurutulur, 1000 °C de kalsine edilir ve peletlenir. Daha sonra 1850-1900 °C'de döner fırında sinterlenir ve periklas elde edilir. Deniz veya göl sularıdan elde edilen magnezyun oksite **periklas** denir.

4.4. Sinter Magnezit Üretimi

Karbonat, hidroksit, sülfat, nitrat, vs'nin ısıyla yatay-döner veya dikey-şaft fırınlarda oksit formuna dönüştürülmesine kalsinasyon denir. İşlem sonunda oksit meydana gelir ve uçucu ürünler ve kristal suları (bağlı/serbest) (CO_2, SO_2, H_2O) ayrılır. Kalsinasyon; ısı, zaman, basınç ve parça boyutuna bağlıdır. Yüzeydeki reaksiyon hızı, oksit ürün tabakası boyunca gaz difüzyonu/geçirgenliği veya ısı transferi tarafından kontrol edilir. Kalsinasyon sonunda gevşek bağlı yapı elde edilir.

900-1100 °C de kostik kalsine magnezit üretilir. Kostik kalsine magnezit %93.5 MgO ve demir, silika, kireç gibi zararsız ve bağlayıcı olan safsızlıklar içerir.

Yüksek sıcaklıklarda cevheri ısıl işleme tabi tutarak oksit formuna dönüştürme olayına sinterleme denir. Sinter magnezit, yoğunluğu 3.2'den büyük, granüle, sert, havada dengeli yapıya sahip bazik refrakter hammaddesidir. Sinter magnezit'in yapısı nadir doğal MgO minerali periklasa çok benzer. Sinterleme ısısı magnezyumun saflığına göre değişir. Yüksek demirli magnezit 1500 °C civarında, çok saf magnezitler 1800 °C den yüksek ısıda sinterlenir. Sinterlemede amaç, hidratasyondan ötürü oluşan hacimde olabilecek değişimi önlemek ve kimyasal aktivitesini azaltmaktır.

Yakma, ya geniş döner fırınlarda veya basınçlı ve enerji etkin şaft dikey fırınlarında yapılır. Döner fırında yakıt tüketimi ön ısıtma sistemiyle azaltılmaktadır. Magnezit cevherinde bulunan bazı safsızlıkların, sinterlemeye olumlu ve olumsuz etkileri aşağıdaki gibi özetlenebilir :

Fe_2O_3 : Sinterleme sırasında yüksek sıcaklıkta, periklas tarafından katı eriyiğe alınan ve kristalleştirici rol oynayan magnezya ferrit ($MgO.Fe_2O_3$) oluşturur.

Fe_2O_3+CaO : Dikalsiyum ferrit ($2CaO.Fe_2O_3$) oluşumu gözlenir. Bu ise periklas kristallerinin birbirleriyle bağlanmalarını kolaylaştırır ve kimyasal bileşimdeki dengesizlikleri azaltır (Kaya, 1993).

SiO_2 : İstenmeyen bir elementtir. CaO ile bir arada olması halinde ($2MgO.SiO_2$) forsterit oluşturur.

SiO_2+CaO : Bu iki oksidin bir arada bulunmaları halinde CaO/SiO_2 dengesi önem kazanır. $CaO/SiO_2 > 1.86$ ise sinterleşme güçleşir ve soğuma esnasında parçalanma ve ufalanmaya neden olan dikalsiyum silikat ($2CaO.SiO_2$) oluşur. $CaO/SiO_2 < 1.86$ olduğunda, oldukça düşük sıcaklıklarda eriyen, sinterlenmiş malzemenin refrakterlik özelliğini azaltan Montisellit ($CaO.SiO_2.MgO$) ve Mervinit ($3CaO.2SiO_2.MgO$) oluşur (Kaya, 1993).

Al_2O_3 : Ortamda dikalsiyumsilikat bulunuyorsa, düşük sıcaklıklarda eriyen brownmillerit ($4CaO.Al_2O_3.Fe_2O_3$) oluşumunu kolaylaştırır.

4.5. Fused Magnezit Üretimi

Fused magnezit; yüksek tenörlü doğal magnezit veya deniz suyundan elde edilen sinter magnezitin Higgings (alümina fizyonunda) veya eğik elektrik ark fırınlarında 2000 °C'nin üzeride ısıtılmasıyla elde edilir. Elde edilen ingot kalıba dökülür ve sonra kırılır. %92-93 MgO, düşük silika, demir ve sülfür içeren sinter magnezit fused magnezit üretiminde kullanılır. Sülfür içeriği, sinterleme sırasında kömür veya fuel oil yerine odun kullanılarak minimumda tutulur (Kaya, 1993).

Düşük silika ve yüksek C/S oranına sahip refrakter tenörlü fused magnezit, karbon-magnezit refrakterleri yapımında kullanılır. Isı iletkenliği yüksek, korozyon direnci fazla, yoğunluğu 3.58 civarında ve kristal boyutları süper refrakterlik vermek için büyüktür. C-MgO tuğlası, monolitik ve döküm uygulamalarında, konvertör yan duvarlarında veya LD konvertörlerinin tuğyer tuğlalarında kullanılır. Japonya'da ve Batı Avrupa'da fused magnezit kullanım oranı hızla

artmaktadır. Çizelge 4.1. de fused magnezit sınıflandırılması gösterilmektedir (Kaya, 1993).

Çizelge 4.1. Fused magnezitin sınıflandırılması

Sınıfı	İçeriği	Özelliği
Yüksek tenör	%94-97 MgO,düşük SiO_2 ve CaO	950 °C dayanıklı
Orta tenör	% 93-96 MgO	800 °C dayanıklı
Düşük tenör	> %93 MgO	> 650 °C hava, su ve yağ banyolarında
Çok düşük tenör	%50-70 MgO, %30-40 SiO_2	düşük ısıda dayanıklı

4.6. Magnezit ve Sinter Magnezit Spesifikasyonları

Türkiye'deki kriptokristalin (veya jel) magnezit yataklarından üretilen magnezit ve sinter magnezit cevherinin spesifikasyonları Çizelge 4.2. toplu olarak gösterilmiştir. Deniz suyu ve fused magnezit için verilen rakamlar (Türkiye'de üretimi olmadığın için) Japonya, ABD, İngiltere, Almanya, Fransa gibi ülkelerin değerleri alınmıştır (Kaya, 1993).

Ham magnezit cevherinin ekonomiklik değeri, cevherin içerdiği MgO miktarına ve istenmeyen safsızlıkların miktarlarına bağlıdır. Ham magnezit cevheri %45-46 MgO, kostik kalsine magnezit %82-93 MgO, sinter magnezit %93-96 MgO, fused magnezit cevheri %96-99.9 MgO, deniz suyu magneziti %96-99 MgO içermelidir (Çitosan refractories).

Magnezit cevheri içerisindeki CaO, SiO_2, Fe_2O_3 ve Al_2O_3 gibi empüritelerin ne kadar olması gerektiği Çizelge 4.2.'de ayrıntılı olarak gösterilmiştir.

Çizelge 4.2.Ham magnezit cevheri ve sinter magnezitin spesifikasyonları

	Ham Magnezit Cevheri %	Kostik Kalsine Magnezit 900-1100°C %	Sinter Magnezit > 1650 °C %	Fused Magnezit > 2000 °C %	Deniz Suyu Magneziti %
MgO	45.0-46.6	82.0-93.5	93.0-96.0	96.0-99.9	96.0-99.0
CaO	0.40-1.20	2.00-2.50	1.50-3.50	0.05-1.50	0.70-2.30
SiO_2	0.40-4.00	2.50-9.00	1.20-2.50	0.05-0.50	0.10-0.70
Fe_2O_3	0.03-1.00	0.10-0.60	0.30-0.50	0.04-0.12	0.10-0.20
Al_2O_3	0.20-1.00		0.10-0.50		0.10-0.30
Ateş Zyt	48.5-51.5	---------	---------	---------	---------
CaO/SiO_2	0.30-1.00	0.30-0.80	1.00-2.00	1.00-3.00	1.00-7.00
yoğunluk	2.90-3.00		3.30-3.40	3.50-3.60	3.30-3.40

5. MAGNEZİT-KROM TUĞLA'DA ARANAN ÖZELLİKLER

Magnezit-krom tuğla; yüksek refrakterlik, yüksek termal şok, yüksek yük altında refrakterlik, yüksek basınca mukavemet, bazik curuflara mukavemet, yüksek ısısal genleşme özelliği gösterir.

Magnezit-krom tuğla çimento endüstrisinde, çelik endüstrisinde, kireç fırınlarında, demir dışı metal endüstrisinde (bakır v.s.) kullanılır.

Magnezit krom tuğladan, yoğunluk, porozite, ısı iletkenliği, soğukta basınç mukavemeti, lineer uzama ve yük altında refrakterlik özellikleri aranmaktadır. Magnezit-krom tuğlalarda aranan özellikler Ek.6.'de toplu olarak gösterilmiştir (Özden, 1982).

5.1. Bulk Yoğunluğu (Hacim Ağırlığı - gr/cm^3)

Bulk yoğunluğu, refrakter malzemenin fiziksel dayanıklılığı için önemli bir faktördür. Refrakter malzemelerin yoğunluğu 3 gr/cm^3 'den yüksek olmalıdır. Bu değerden her 0.1 gr/cm^3 artış için pirim verilir.

Refrakter malzemelerin ne kadar ısı depolayabileceğini hesaplayabilmek için bulk yoğunluğunun bilinmesi gerekmektedir. Bu her durumda çok önemli olan etkenlerden biridir.

Bulk yoğunluğu; kütlenin, por alanlarını içine alan hacime oranı'dır. Bulk yoğunluğu, tuğladan kırılmış deney örnekleri kullanılarak bulunur. DIN standartına göre, civa yer değiştirmeli yönteme uygun olarak hidrostatik ölçek ile ölçülerek sonuç bulunur. Granül malzemelerin bulk yoğunluk değerleri DİN 51065'e uygun olarak civa vakumu altında yapılır. Çizelge 5.1. 'de bazı tuğlaların bulk yoğunluk değerleri gösterilmiştir (Koçer).

Çizelge 5.1. Bazı tuğlaların bulk yoğunluk değerleri

Tuğla Adı	Bulk Yoğunl.	Tuğla Adı	Bulk Yoğunl.
Zirkon tuğlalar	3.5-3.7	Silimanit tuğlalar	2.6-2.7
Krom-Magnezit tuğlalar	3.0-3.2	Sert şamot tuğlalar	2.0-2.2
Korund tuğlalar %90Al_2O_3	3.0-3.1	Ergitilmiş kuvars tuğ.	2.0-2.1
Magnezit tuğlalar	2.9-3.1	Silika tuğlalar	1.7-1.9
Zirkon kristobalit tuğ.	2.6-2.8	İzolasyon tuğlalar	< 1.7
Forsterit tuğlalar	2.7-2.8		

5.2. Porozite (Gözeneklilik)

Refrakter malzemede düşük porozite, yüksek sıcaklığa dayanıklılık, curufa karşı kimyasal dayanıklılık, yüksek sıcaklıkta hacim duyarlılığı, kalite ve fiyatlandırmayı etkileyen önemli etkenlerdendir.

Tuğla içindeki hücre ve/veya gözenek hacminin tuğla hacmine oranına porozite denir ve % olarak ifade edilir. Tuğla bünyesinde iki türlü gözenek (por) vardır. Biri açık gözenek, diğeri kapalı gözenekdir. Dışarısı ile bağlantısı olan hücreye açık gözenek, bağlantısı olmayana da kapalı gözenek denilmektedir. Her gözenek bir hacim ihtiva eder. Açık ve kapalı gözenekler gerçek gözeneği verir.

$$\text{Gerçek Porozite \% 'si} = \frac{\text{Özgül ağırlık - Hacim ağırlığı}}{\text{Özgül ağırlık}} \times 100$$

formülü ile hesaplanır. Kapalı gözenek hacmi hesaplanamadığından mutlak poroziteyi hesaplamak oldukça zordur. Genellikle tuğlaların zahiri porozitesi hesaplanır.

$\Rightarrow$ Zahiri Porozite % 'si = $\{(W_3 - W_1)/(W_3 - W_2)\}x100$

$\Rightarrow$ Su emme % 'si = $\{(W_3 - W_1)/W_1\}x100$

$\Rightarrow$ Hacım Ağırlığı = $W_1 / (W_3 - W_2)$

$\Rightarrow$ Zahiri spesifik gravite(%)= $W_1 / (W_1 - W_2)$formülleri ile hesaplanır.

Burada : W_1 = maddenin kuru ağırlığı
W_2 = maddenin su aldıktan sonraki ağırlığı(su içindeki ağırlığı)
W_3 = maddenin yüzey suyu alındıktan sonraki ağırlığı (doygun ağırlık)

Porozite, tuğlanın ısı geçirgenliği ve soğukta basınç dayanımı ile ilgilidir. Bilhassa ısı izolasyonunun önemli olduğu yerlerde kullanılacak refrakter tuğla ve malzemelerin poroziteleri daha da önemlidir (Özden, 1982).

Yüksek mekanik direnç, tuğla harmanının çok iyi sıkıştırılması sonucu elde edilir. Ayrıca düşük porozite refrakter malzemelerin diğer özelliklerini de olumlu yönde etkilemektedir.

5.3. Isı İletkenliği

Fırın tuğla örtüsünün ısı iletkenliği döner fırın ısı kayıpları için önemlidir. Alümina ve şamot esaslı ateşe dayanıklı malzemelerde ısı iletkenliği çevre ısısının yükselmesiyle büyür, magnezit ve dolomit esaslı malzemelerde ısının artması ile iletkenliği düşer.

Ateşe dayanıklı malzemelerde ısı iletkenliği (λ) lamda ısı iletkenlik sayısı ile gösterilir ve birimi Kcal/m.h.°C (Kilokalori/metre.saat.santigradderece) olarak ifade edilir. Isı iletkenliği büyük ölçüde dayanıklı malzemenin porozitesine bağlıdır. Tuğla porozitesi büyüdükçe diğer bir ifade ile tuğla bulk yoğunluğu düştükçe tuğlanın ısı iletkenlik sayısı düşer (Özden, 1982).

Isı iletkenlik sabiti, sıcaklığa ek olarak, ham maddenin kimyasal bileşimi, tuğla harmanının minerolojik bileşimi, gerçek porozite ve porların büyüklüğü ile tanecik boyutları ve pişirme sıcaklıklarına da bağlıdır. Bu nedenle, refrakter malzemelerin farklı türlerinin ısı iletkenliklerinin mutlak değerleri çok çeşitlidir. Şurası bilinmelidirki magnezit, krom-magnezit, korund ve zirkon gibi yalnız kristalize bileşenler içeren tuğlaların ısı iletkenlik eğrilerinin eğimleri daima negatiftir. Büyük kısımları cam fazı oluşturmuş tuğlalar ise genellikle pozitif ve küçük eğimli eğriler verirler. Metalik olmayan malzemelerin kristalize yapıları, titreşimli koşullarda, sıcaklığı yükseltilirse onların amorf malzemelere dönüşmesine yol açar ve bu ise ısı iletkenliğinde birbirine yaklaşan değerler bulunmasına yol açar.

Porozitesi % 45, bulk yoğunluğu 0.80 gr/cm^3 olan şamot izolasyon tuğlalarında ısı iletkenlik sayısı λ = 0.40 Kcal/m.h.°C 'tir.

Döner fırına örülecek tuğlanın ısı iletkenlik sayısı yüksek ise, fırındaki ısı kayıpları şüphesiz ki, yüksek olacaktır. Böyle bir döner fırının ısıtılması için normalinden daha fazla bir yakıt tüketilecektir (Özden, 1982).

Döner fırının sinter bölgesinde tuğla ısı iletkenliğinin yakıt tüketimine etkisi görülmektedir. Fırın manto sıcaklığı yükseldikçe sinter bölgesinin devamlı tavlı tutulması için fazladan verilmesi gerekli yakıt miktarı daha iyi anlaşılmaktadır.

Yukarıdaki durumun aksine döner fırın içine ısı geçirgenliği düşük bir tuğla örülmesi halinde ise ısı geçirgenliğinin az olması nedeni

ile fırın içi devamlı tavlı kalacak, kabuk tutmayacak ve bu sıcaklık altında tuğla örtüsü kısa zamanda eriyecektir.

5.4. Soğukta Basınç Mukavemeti (Mekanik Dayanıklılık)

Pişmiş tuğla yüzeyinin cm^2 'sine yapılan basınç kuvveti ile ölçülür ve kg/cm^2 olarak ifade edilir. Tuğlaların üretimi sırasında maruz bırakıldıkları basınç (presleme), iyi pişirilme ve tuğla kalitesi ile yakından ilgilidir.

Ateşe dayanıklı tuğlaların basınç dayanıklılığı soğuk durumda (atmosfer şartlarında) kolayca kontrol edilebilir.

Tuğlanın bu mukavemeti, döner fırında işletme sıcaklığındaki tuğlaların durumu için bir hareket noktası sayılır. İyi kalite tuğlaların yüksek ısı altında yüksek basınca dayanabilmesi (yüksek ısı içinde uzun ömürlü olabilmesi) için bu tuğlanın soğukta yüksek bir basınç mukavemeti göstermesi gerekmektedir.

Tuğlalarda soğukta basınç dayanım mukavemetinin yüksek istenmesinin başlıca nedeni döner fırın (manto) stabilitesinin sağlam bir şekilde muhafazasının sağlanması içindir.

Döner fırın mantosu sinter ve sintere geçiş bölgelerinde yüksek ısı altında deformasyonlara maruz kalarak dairevi şeklinden saparak ovalleşir veya devamlı bu hareketi yaparak manto ve fırın tahribine yol açtığından (fırın tahrik motoru, redüktörü zorlanır, birinci kademede ve pinyon dişliler kısa zamanda aşınır ayrıca fırın sık sık tuğla döker) hiç istenmez. Bu bakımdan fırın mantosunun bu hareketi fırın içine örülecek tuğla örtüsünün sıcakta ve soğukta basınç mukavemetinin yüksek olması yani stabiliteleri ile sağlanmaya çalışılır (Özden, 1982). Döner fırınlarda kullanılan tuğlalarda soğukta basınç dayanımı:

- Şamot ve yüksek alüminli tuğlalarda en az : 250 - 300 kg/cm^2
- Magnezit ve Dolomit tuğlalarda ise en az : 500 kg/cm^2 olmalıdır.

5.5. Lineer Uzama

Döner fırın içine örülen alüminli, şamot ve magnezit esaslı tuğlalar hareret altında bir uzama ve genleşme gösterirler. Tuğlaların bu uzama ve genleşme miktarları aynı sıcaklıkta döner fırın manto saçının uzamasından ve genleşmesinden fazla olmamalıdır. Esasında fırın içerisinin tuğlalarla kaplı olması nedeni ile hiçbir zaman fırın dışı manto hareretinin fırın içi sıcaklığa eşit olması mümkün değildir. Ayrıca demir malzeme ile refrakter malzemenin uzama katsayıları farklıdır.

Sıcaklık altında bulunan fırınlarda deformasyonların önlenmesi ve özellikle fırın içinde ve mantosunda iyi bir stabilite sağlanması yönünde fırın içine örülecek tuğlaların lineer uzama katsayılarının bilinmesi gerekmektedir. Zira tuğlalar sıcaklık altında aksiyal ve radyal yönlerde uzama göstererek hacim genleşmesi meydana getirirler. Bu genleşme miktarı (aksiyal ve radyal olarak) tuğla örülürken hesap edilip örülen blokta boşluk (genleşme payı) olarak bırakılmaz ise fırının tavlanması halinde genleşen tuğla örgüsü fırını, içindeki tüm tuğla örtüsünü zorlayarak bir noktadan patlatacaktır.

5.6. Yük Altında Refrakterlik

Yük altında refrakterlik testi, pişmiş refrakter tuğlaların sabit basınç altında ve yükselen sıcaklıkla yumuşama durumunun evrimini belirlemek için uygulanır. Yük altında yumuşama durumu, saf ham malzemelerin erime aralığını belirtmez, fakat malzemenin içeriği ve düşük ergime noktalı katkılı maddelerin dağılma derecesi tarafından etkilenir. Her türlü tuğla kendisine özgü yumuşama eğrisi verir.

Yük altında refrakterliğin belirlenmesinde DİN 51064 normuna uygun olarak yüksekliği 50 mm, çapı 50 mm olan test örnekleri kullanılır. Test örnekleri 2 kg/cm^2 'lik yük altında, sabit değişen bir hızla ısıtılır ve silindirin yüksekliğinde oluşan değişmeler 10 kez büyütülmüş olarak bir kaydedici ile grafiğe geçirilir. Yükseklikte oluşan bu değişme hem yük altında genleşmeyi hemde test aygıtının genleşmesini birlikte içerir. Test örneği aniden erir veya

parçalanırsa bu noktaya T noktası denir (kırılma sıcaklığı). Yük altında refrakterlik eğrilerine göre iki sınır tür tanımlanır. Yumuşama aralığı olanlar ve yumuşama aralığı olmayanlar. Bunlardan birincisinin karakteristik örneği şamot tuğlalar, ikincisininki ise silika tuğlalardır. Yük altında refrakterlik için belirlenen değerler, uygulama sınırının kesin yol göstericisi olarak değil, yalnızca yaklaşık değerler olarak değerlendirilmelidir. Yük altında refrakterlik deneyi, fırın koşullarına uygun bir ortamda yapılamamaktadır (Koçer).

Çizelge 5.2. Çok sık kullanılan refrakter tuğlaların T_a değerleri

Tuğla Türü	T_a Sıcaklığı
Korund tuğlası:	
% 65 Al_2O_3 'lü	> 1600 °C
% 87 Al_2O_3 'lü	> 1670 °C
% 97 Al_2O_3 'lü	> 1700 °C
Silimanit tuğla % 72 Al_2O_3	> 1700 °C
Silika tuğla - kok fırınları için	> 1600 °C
Magnezit tuğla	> 1700 °C
Dolomit tuğla	> 1700 °C
Kromit tuğla	> 1600 °C
Krom-Magnezit tuğla	> 1550 °C
Silikon karbür tuğla % 85-90 SiC'lü	> 1650 °C
Zirkon tuğlası	> 1600 °C
Zirkon-kristobalit tuğlası	> 1600 °C
Eritilmiş kuvartz tuğlası	
Tavlanmamış	1400 °C
Kritobalite dönüştürülmüş	> 1700 °C
Eritilmiş mullit	> 1700 °C
Karbon tuğla	Yumuşamaz
Şamot tuğlası	1300 den 1550 °C ye

6. FAZ SİSTEMLERİ

6.1. Mineraller Arasındaki Bağ Mekanizmaları

6.1.1. Düşük sıcaklıkta

Kimyasal Bağ : (pişmemiş tuğla) Magnezit ile kromit arasında bağlayıcı olarak $MgCl_2$ veya $MgSO_4$ kullanılmaktadır ve şekillendirmeden sonra teşekkül eder. $MgO.MgCl_2.H_2O$ şeklindeki bağ soğukta basınca, $MgO.MgSO_4.H_2O$ şeklindeki bağın ise mukavemeti yüksektir (Kibar, 1987).

Dört tarafı saç kaplı olarak imal edilen bu tuğlalar yüksek sıcaklıkta sıcak yüz derhal seramik bağ oluşturur (silikat bağı gibi) fakat soğuk kısım hala kimyasal bağı muhafaza etmektedir. Termal şoklara dayanıklı olan bu tuğlalarda tek mahzur geçiş zonunda kırılma olmasıdır.

6.1.2. Yüksek sıcaklıkta

6.1.2.1. Silikat bağı

1500 °C'deki pişirmede kromit ile magnezya klinkerinden gelen SiO_2 dışarı çıkarak camsı karışım ve forsterid şeklinde ($2MgO.SiO_2$) Silikat bağın teşekkülüne yol açar. Spinel bağ yok denecek kadar azdır (Kibar, 1987).

6.1.2.2. Semidirek bağı

Periklas ve kompleks spinel arasında teşekkül etmektedir. Bu bağ yüksek sıcaklıkta sağlam yapılı ve stabildir. Ayrıca yüksek sıcaklıkta mekanik silikat bağ arasındadır. Fakat bir direk bağı ihtiva eder (Kibar, 1987).

Kompleks spinel : Kompleks spinel genel olarak $(Mg,Fe).O.(Al,Cr,Fe)_2.O_3$ yapısındadır.

$MgO.Al_2O_3$, $MgO.Cr_2O_3$, $MgO.Fe_2O_3$
$FeO.Al_2O_3$, $FeO.Cr_2O_3$, $FeO.Fe_2O_3$ şeklinde bağ oluşturur.

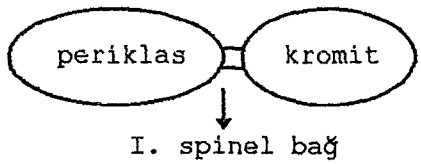
6.1.2.3. Direk bağ

Magnezit ile kompleks spinel arasında direk bağın teşekkülü 1750 °C nin üzerinde SiO_2 'den çok düşük olması ve saf mineral kullanılarak reaksiyonu sonunda gerçekleşir. Direk bağın karakterisliği, yüksek sıcaklık altında mukavemeti fazladır. Ayrıca mekanik aşınmalara karşı da yüksek direnç gösterirler (fosfat bağlayıcı kullanılmaktadır) (Kibar, 1987).

Spinel bağın teşekkülü üç aşamada gerçekleşmektedir :

I. Spinel bağ :

Periklas ve kromit cevheri arasında (katı-katı) reaksiyon neticesinde oluşan bağa I. spinel bağ denir (Kibar, 1987). Şekil 6.1. 'de periklas ve kromit taneleri arasında oluşan I. spinel bağ şematik olarak gösterilmiştir.

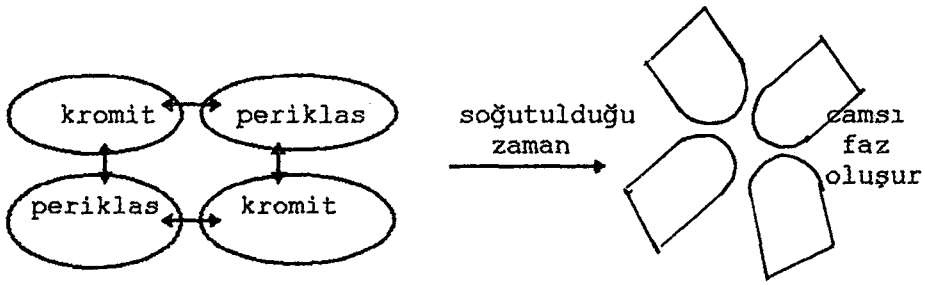


Şekil 6.1. Periklas ve kromit taneleri arasında oluşan I. spinel bağ.

II. Spinel bağ :

1700 °C nin üzerinde gerçekleşen direk bağ'da $RO.R_2O_3$ ($MgO.FeO.Al_2O_3.Cr_2O_3.Fe_2O_3$) oksitlerin karşılıklı difüzyonu neticesinde soğutulduğu zaman camsı faz oluşmaktadır. Buna II. spinel bağ denir (Kibar,

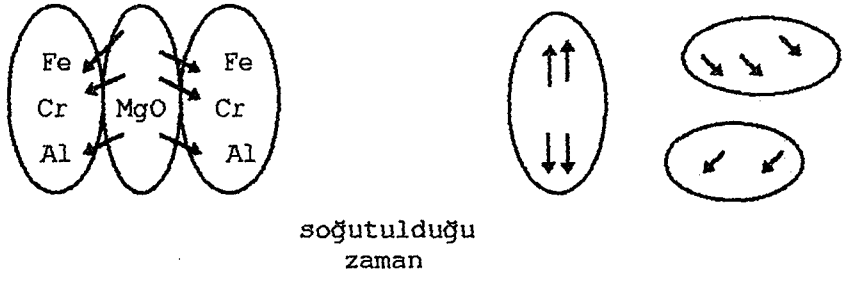
1987). Şekil 6.2.'de periklas ve kromit taneleri arasında oluşan II. spinel bağ şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 6.2. Periklas ve kromit taneleri arasında oluşan II. spinel bağ.

III. Spinel bağ :

Yüksek sıcaklıkta pişirilen periklas ve kromit içindeki oksitlerin karşılıklı difüzyonu sonunda tuğla soğutulduğu zaman oksitler bu sefer ters yönde difüzyon yaparak III. spinel bağın teşekkülüne sebep olurlar. İstenilen spinel de budur. Burada SiO_2 safsızlığı istenmez; çünkü, yüksek sıcaklıkta (1700 °C) SiO_2 eriyerek taneler arasına girmekte ve sıcaklık değişikliklerine karşı mukavemeti düşürmektedir (Kibar, 1987). Şekil 6.3.'de periklas ve kromit taneleri arasında oluşan III. spinel bağ şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 6.3. Periklas ve kromit taneleri arasında oluşan III. spinel bağ

6.2. Pişirme Sırasında Oluşan Fazlar

Büyük oranda MgO içeren refrakterlere uygulanabilen 6 bileşenli $MgO-CaO-SiO_2-FeO-Fe_2O_3$ karmaşık sistemiyle ilgili olarak tam olmasada bazı bilgiler bilinmektedir. Temel olarak MgO'dan oluşacak mineral bileşiminde C/S oranı 0.93 ten küçükse, yüksek sıcaklıklarda madde içinde forsterit ve montisellit kristalleri, eğer bu oran 0.93-1.40 arasında ise montisellit ve mervinit, 1.40 ile 1.86 arasında mervinit ve dikalsiyum silikat oluşacaktır. Tüm bu bileşenlerde var olan FeO, MgO içinde $MgO.Al_2O_3$ ve $MgO.Fe_2O_3$ spinel gruplarını oluşturur. Eğer bu oran 1.86 ya da daha yüksek ise, 6 bileşenli sistemde mineral ilişkileri çok daha karmaşık bir durum gösterir ve hangi minerallerin varolduğunun bulunmasında C/S oranı yeterli olmaz. Ek.7. 'da $MgO-CaO-SiO_2$ üçlü faz diyagramı verilmiştir. Bu faz diyagramında C/S oranlarına göre oluşacak fazları veya bileşimleri görmek mümkündür (Kaya, 1993).

Kireç ile kalsiyum alüminat ve Fe_2O_3 ile kalsiyum ferrit yapmak üzere tepkimeye girer. Ham magnezitte % 5 dolayında Fe_2O_3, bozuşmadaki katalitik görevinden dolayı yararlıdır.

Pişirme sırasında oluşan başlıca mineral veya fazlar ile bu fazların içerdiği özellikler aşağıdaki gibidir:

PERİKLAS (MgO): Magnezit esaslı refrakterlerin esasını oluşturan 2800 °C ergime noktalı ve çok sağlam yapılı bir mineraldir.

FORSTERİT ($2MgO.SiO_2$): Silisyum ve magnezyum oksitlerin yukarıdaki formüle göre oluşturdukları bu mineral sağlam yapılı olup ergime noktası 1900 °C dir. Forsterit içinde düşük oranda kireç bulunan magnezit refrakterlerinin basit bir bağ elemanıdır. Yüksek refrakter özelliği gösterir. Ayrıca istenmeyen mineral dönüşme özelliği yoktur. İçinde orta miktarda Fe_2O_3 varsa bu özellikler biraz değişir, fakat kireç verilerek bu Fe_2O_3 montisellit ve mervinit mineraline dönüştürülür.

MONTİSELLİT ($CaO.MgO.SiO_2$): Zayıf yapılı bir mineral olan montisellit 1487 °C civarında MgO ve sıvı faz vererek düzgün olmayan bir ergime gösterir. Montisellit ve mervinit göreceli olarak düşük sıcaklıkta erimesi minerallerdeki montisellit ve mervinitin geliştirilmesi için, uygun C/S oranına sahip sinterleşmiş magnezitin birleşimi, C/S oranı 1.86 olacak şekilde yeterli kireç verilerek düzeltilir. Bu yapıldığında, silikatlatdaki MgO serbest kalır ve kireç ile silis, dikalsiyum silikat ($2CaO.SiO_2$) yapmak üzere birleşirler (Kaya, 1993).

DİKALSİYUM SİLİKAT ($2CaO.SiO_2$): 2130 °C olan yüksek ergime noktasına sahip olan bu mineral bazı hallerde hacim büyümesi göstermektedir. Bu sakıncasına rağmen iyi bir refrakter sayılmaktadır. Yüksek refrakterlik özelliği gösterir. MgO ile tepkimeye girmez ve orta miktarda Fe_2O_3 varlığındada kararlı durumunu korur. Soğuduğunda toz haline geldiğinden, başlangıçda bazik refrakterler için istenmeyen bir bileşen olarak görülmüştür. Toz haline gelerek dağılma özelliği, %10 luk ani bir hacim genleşmesi ile bir arada meydana gelen bir mineral dönüşümünün sonucudur. Dikalsiyum silikatın dağılıp toz haline gelmesi, sinterleme öncesi ham magnezite az miktarda stabilize edici mineraller eklenerek engellenebilmiştir. Eklenen bu maddeler, soğuma sırasında silikattaki dönüşümü önlemektedir.

TRİKALSİYUM SİLİKAT ($3CaO.SiO_2$): 1250-1900 °C arası sıcaklıklarda kararlı olan trikalsiyum silikat bu sıcaklıklar dışında serbest kireç ve serbest kireç nedeniyle refrakterlere olumsuz etkiler yapmaktadır. Yüksek C/S oranına sahip magnezit refrakterlerde oluşabilen trikalsiyum silikat ve dikalsiyum ferrit dikalsiyum silikatla uyuşur, fakat montisellit, mervinit ya da forsterit ile denge halinde bir arada bulunmazlar. Ayrışma olduğunda demiroksidin sıvıyı terkettiği ve mineral magnezoferrit ($MgO.Fe_2O_3$) oluşturmak üzere magnezyum oksitle birleştiği ve ürün hızla soğutulduğunda dikalsiyum ferritin yeniden meydana gelemeyeceği kabul edilmiştir. Bu koşullar altında, soğutmadan sonra sinterleşmiş magnezit içinde serbest kireç bulunacaktır.

KİREÇ (CaO): 2570 °C'lik ergime noktasına karşın hidratasyona aşırı meyili bulunduğundan refrakterlere olumsuz etkileri vardır.

Tuğla bünyesinde fazla miktarda CaO bulunması ürünün kolayca dağılmasına neden olur. Refrakter magnezya hidrasyona dayanmalıdır. Aksi halde parçalanır. Sinter magnezitte serbest kireç istenmez. Bir çok sinterde kireç serbest değil, hidrasyona dayanıklı dengeli kompozisyonlar halindedir.

MAGNEZYA-ALÜMİNYUM/SPİNEL($MgO.Al_2O_3$): Refrakter alanında kısaca spinel olarak bilinen ve çok sağlam yapılı olan bu mineralin ergime noktası 2135 °C 'dir (Çelik, 1988).

Bazik refrakterlerde, demirin oksitlenme durumu, sıcaklığa ve fırın atmosferindeki oksijen basıncının değişmelerine bağlı olarak değişir. Havada ısıtıldığında, serbest Fe_2O_3 1380 °C'de oksijen kaybeder ve spinel yapısındaki mineral magnetite ($FeO.Fe_2O_3$) dönüşür. Fırın atmosferi kuvvetli indirgen ise, demir oksit (FeO) biçiminde, yükselgen ise Fe_2O_3 biçiminde olacaktır. MgO'nun önemli bir özelliği, refrakter özelliğinde bir düşüş olmadan büyük miktarlarda iki yada üç değerlikte demir oksidi bünyesine alma yeteneğidir. Yüksek ergime sıcaklığı ile birlikte bu özellikten ötürü yüksek magnezya oksitli refrakterler, demir oksit beraberinde indirgen ya da yükseltgen bir atmosfer içinde kolaylıkla kullanılabilir (Çelik, 1988).

6.3. Sıvı Fazın Oluşum Sıcaklığı

Magnezit-krom tuğlanın pişirilmesi sırasında, tuğla bünyesinde bulunan mineraller belirli sıcaklıklarda ergimeye ve birbirleriyle bileşik oluşturmaya başlarlar. Her mineralin yada fazın kendine has ergime sıcaklığı vardır. Çizelge 6.1.'de karışımlar arasındaki ötetik ergime sıcaklıkları gösterilmiştir (Kaya, 1993).

Mineraller arasındaki ergime sıcaklıklarının bilinmesi tuğla pişirme rejiminin saptanması yada tuğlayı fırınlarda kullanabilme şartlarının tesbit edilebilmesi için bilinmesi gereken önemli bir özelliktir.

Çizelge 6.1. $MgO-CaO-SiO_2$ ötektiklerinin yaklaşık ergime sıcaklıkları

Karışımlar Arasındaki Ötektikler	Sembol (Gösterim)	Ötektik Ergime Isısı °C
MgO ve $2MgO.SiO_2$	M, M_2S	1860
$MgO, CaO.MgO.SiO_2$ ve $CaO.MgO.2SiO_2$	M, CMS, CMS_2	1502
$MgO, 3CaO.MgO.2SiO_2$ ve $CaO.MgO.SiO_2$	M, C_3MS_2, CMS	1490
$MgO, 2CaO.SiO_2$ ve $3CaO.MgO.2SiO_2$	M, C_2S, C_3MS_2	1575
MgO ve $2CaO.SiO_2$	M, C_2S	1800
$MgO, 3CaO.SiO_2$ ve $2CaO.SiO_2$	M, C_3S, C_2S	1790
MgO, CaO ve $3CaO.SiO_2$	M, C, C_3S	1850
MgO ve CaO	M, C	2300

Ötektik : Katı fazda birbiri içerisinde hiç çözünme göstermeyen iki alaşımın çözündüğü tek noktaya ötektik noktası denir.

Peritektik : Belirli alaşım sisteminde meydana gelmiş katı bir faz, geri kalmış sıvı fazla reaksiyona girerek yeni bir katı faz meydana getiriyorsa böyle sistemlere peritektik sistem denir (Çelik, 1988).

6.4. Cevher İçerisindeki Empürite'lerin Tuğla Kalitesi'ne Etkileri

Kalsiyumoksit (CaO): 2570 °C'lik ergime noktasına karşın hidratasyona aşırı meyili bulunduğundan refrakterlere olumsuz etkileri vardır. Tuğla bünyesinde fazla miktarda CaO bulunması ürünün kolayca dağılmasına neden olur. Sinter magnezitte serbest kireç istenmez. Bir çok sinterde kireç serbest değil, hidrasyona dayanıklı dengeli kompozisyonlar halindedir.

Silisyumdioksit : İstenmeyen bir elemandır. CaO ile bir arada olması halinde forsterit, montisellit, mervinit, dikalsiyum silikat ve trikalsiyum silikat oluşturur. Tuğlanın ergime yada pişme noktasını

düşürür. Pişdikten sonra camsı faz oluşturarak kırılgan bir tuğla yapısı oluşturur.

Kalsiyum oksit/Silisyum dioksit Oranı : CaO/SiO_2 MgO'nun kararlı bir bileşen olarak büyük miktarda bulunduğu kısmı, magnezit refrakterlerinde önemlidir. Verilen bir bileşim için, var olan silikatlar ve onların göreceli ağırlıkları, C/S oranı ile belirlenmektedir. Bu oranın 2/1 oluşu en uygun şarttır. Çünkü bu şartta oluşan Ca_2SiO_4 aynı zamanda bir bağlayıcı görevi yapar. Bu oranın 1.86 ile 1 arasında olduğu kısımda, oda sıcaklığında bir yada iki magnezyumlu silikat minerali kararlı olarak bulunacaktır. Magnezyum oksitin yüksek oranda bulunduğu bileşimde C/S oranı 1.86 ya da daha yüksek ise, ortamda magnezyum silikat bulunmayacaktır (Kaya, 1993).

C/S oranı, $MgO-CaO-SiO_2$ bileşimlerinin erimeleri üzerinde önemli rol oynar. Periklasın bir bileşen ve C/S oranının 1.86 dan düşük olduğu herhangi bir $MgO-CaO-SiO_2$ bileşimi 1490 °C'da erimeye başlayacak, 1575 °C'de tamamen eriyecektir. Eğer tamamen homojen karışımlar elde edilebilseydi, bu oksitin C/S oranının 1.86 ya da daha yüksek olduğu hiçbir bileşimi 1790 °C altında sıvılaşmayacaktı. Ne var ki daha düşük C/S oranları, 1790 °C nin altındaki sıcaklıklarda mikroskobik küçüklükteki alanlarda bile az miktarda sıvının oluşmasına neden olmaktadır.

Özellikle magnezitlerde olmak üzere tüm refrakterlerde şematik olarak verilen $CaO-MgO-SiO_2$ üçlü faz diyagramının büyük önemi vardır.

Demiroksitler : MgO-FeO ikili sistemi ayrıntılı olarak incelenmiştir. MgO ve FeO, FeO' nun artan oranıyla birlikte refrakter özelliği azalan sürekli bir katı eriyik oluştururlar. Fakat FeO oranı %50 yi geçtiğinde bile hala yüksek refrakterlik özelliği görülür. MgO, Fe_2O_3 ile 1713 °C de eriyen magnezoferrit meydana getirmek üzere tepkimeye girer. Bu maddede %80 oranında Fe_2O_3 bulunması istenmeyen bir özelliktir. Fe_2O_3 oranı %70 in altında olduğunda, erimenin başlama sıcaklığı 1713 °C nin de üzerine çıkar.

Yüksek olmayan sıcaklıklarda, sinterleşmiş magnezit yada magnezit tuğlası içindeki demir oksit, periklas taneleri içinde MgO-FeO katı eriyiği ya da magnezoferrit ($MgO.Fe_2O_3$) tanecikleri olarak bulunabilir. C/S oranı ağırlıkça 1.86 dan yüksek ise, demir oksit aynı zamanda kireç ve alüminyum oksit ile browmillerit ($4CaO.Al_2O_3.Fe_2O_3$); kireç ile dikalsiyumferrit ($2CaO.Fe_2O_3$) ya da silikatların katı eriyikleri halinde bulunabilir.

Yüksek sıcaklıklarda magnezoferrit periklas içinde tamamen çözünürken, çok hızlı olmayan bir soğumada periklastan ayrılır. Mikroskopla incelendiğinde periklas kristalleri içinde koyu renkli olarak görülür. Sert magnezyumoksit tanelerinin havaya temas ederek soğuyan dış yüzeyi çukolata kahve renkli, havaya temas etmeyen iç yüzeyi ise yeşilimsidir. Yeşil renkli iç kısımlarda periklas kristali içinde muhtemelen katı eriyik halinde FeO, kahverengi dış yüzeyde ise magnezoferrit bulunur. Yüzeyi delikli tanelerde sert tanelerden daha az yeşilimsi bölgeler bulunur (Çelik, 1988).

Sinterleşmiş magnezitte bazen, C/S oranında gelebilecek miktardan daha fazla serbest kireç bulunabilir. Erime sıcaklığı yönünden serbest kirecin zararı yoktur. Fakat kolayca kimyasal tepkimelere girebilir ve hava teması ile havadaki rutubeti bünyeye alır.

7. PİŞİRME SIRASINDA TUĞLA BÜNYESİNDE OLUŞAN MİNERAL VEYA FAZLARIN MİKROSKOBİK ÖZELLİKLERİ

7.1. Magnezit'i Karbonat ve Silikat Minerallerden Ayırma Yöntemi

Magnezit mineralini, karbonat ve silikat minerallerinden ayırt edebilmek için üç çözelti hazırlanır (Çelik, 1988).

1 - %1.5 HCl çözeltisinin 100 cm^3'ü içinde 0.2 gr alizarin kırmızısı-s çözündürülür.

2 - %1.5 HCl çözeltisinin 100 cm^3'ü içinde 2 gr Potasyum ferrisiyanür çözülür.

3 - %5 NaOH çözeltisinin 100 cm^3'ü içinde 0.1 gr Alizarin kırmızısı-s çözündürülür.

İnce kesitlerde ve ortadan kesilen yüzeyi düzeltilmiş parça numunelerde magneziti dolomitten ayırmak için çözelti 3 kullanılır. Çözelti 3 içine daldırılan kesitler ve parçalar 5 dakika süre ile dağlanır. Sonunda magnezit koyu menekşe rengine boyanmış, dolomit etkilenmemiştir.

İnce kesitlerde kalsiti, magnezit ve dolomitten parça numunelerde sepiyoliti magnezitten ayırt etmek için 3 hacım çözelti 1 ile 2 hacim çözelti 2'nin karıştırılmasıyla elde edilen çözelti içine ince kesitler ve parça numune yüzeyleri 1 dakika süre ile daldırılarak dağlanmıştır. Dağlama sonucunda kalsit açık pembemsi kırmızıya, sepiyolit ise sarımsı yeşile boyanmıştır.

7.2. Magnezyum Oksitlerin Mikroskobik Özellikleri

Adı	:	PERİKLAZ
Formülü	:	MgO
Kristal Sistemi	:	Kübik
Kırılma indisi	:	n = 1.730 - 1.739
Sertlik	:	5.5 - 6.0
Renk	:	İncekesitte renksiz veya kahverengimsi
Şekil	:	Küçük özşekilli kristaller veya özşekilsiz kristal agregatları
Dilinim	:	Çok iyi gelişmiş kübik (100) dilinimine sahiptir.
Bozunma	:	Hidrotermal ve atmosferik koşullar altında kolayca bozunur. Kenarlardan itibaren veya tamamen pusluyapraksı brusit veya hidromagnezit agregatlarına dönüştüğü gözlenir.

Adı : BRUSİT

Formülü : $Mg(OH)_2$

Kristal Sistemi : Trigonal

Renk : İncekesitte renksiz

Bozunma : Hidrotermal ve atmosferik koşullar altında CO_2 getirim sonucu kolayca hidromagnezite dönüşür.

Asitten Etkilenme : Seyreltik HCl de kolayca çözünür.

Diğer Özellikler : İzotrop'dur, optik engebesi yüksektir, beraber bulunduğu tipik mineraller; Forsterit, Montiselit, Pleonast'dır. Periklas içinde iğne başı kadar olan parlak kısımlar MF dir.

$$MgCO_3 \longrightarrow MgO + CO_2 \quad (24\ Kcal/mol)$$

7.3. Silikat'ların Mikroskobik Özellikleri

Adı : FORSTERİT

Formülü : $(Mg,Fe)_2\ (SiO_4)$

Kristal Sistemi : Ortorombik

Sertliği : 6.5 - 7.0

Renk : İnce kesitte genellikle renksizdir. Ancak Fe bakımından zengin olanlar da oksidasyon sonucu yeşilimsi sarı (x ve z) turuncu sarı (y) bir renk gösterir.

Şekil : Öz şekilli kristaller ince kesitte 6 veya 8 köşeli kristaller verirler.

Dilinim : İnce kesitte daha çok düzgün olmayan çatlaklıkların varlığı gözlenir. Dilinim 001 yüzeyine parelel belirgin.

Diğer Özellikler : Optik engebe çok yüksek bir durumdadır. İkizlenme bazen görülür. Çift kırma kuvvetlidir. Işık kırma indisi bileşimindeki Fe miktarının artması ile yükselir. Forsterit FeO ile her koşul altında izomorf karışım yapar. Ao = 4.76 A° Bo = 10.20 A° Co = 5.99 A° dir. *Forsterit alkali atağına direnç gösterdiğinden cam ve çimento sanayinde iyi netice verir.*

Bütün yedirme reaksiyona karşı stabildir. Çabuk kristallenmeye maruz kalmış forsteritin parlatmadaki görüntüleri kısa çubuklar ve tablacıklar halindedir.

Yavaş kristalleşmeye maruz kalmış forsteritler, kısa pirizmacıklar keskin köşeler gösterirler. Bazen düzenli şekilde köşeleri yuvarlaklaşmış şekillerde bulunur. Periklasa nazaran forsterit, daha fazla yabancı şekillerde bulunur.

Adı	:	MONTİSELLİT
Formülü	:	$CaO.MgO.SiO_2$ (CMS)
Kristal Sistemi	:	Ortorombik
CaO / SiO_2	:	0.93 - 1.40
Yoğunluk	:	3.2
Ergime Noktası	:	1498 °C
Asitten Etkilenme	:	C_3MS_2 den daha koyudur. Montisellit; alkol, Al NO_3, HCl, HF ve H_2SO_4'den etkilenir. HF ve H_2SO_4 altında gayet kuvvetli renklenme gösterir (koyu renklenmeler içerir). Zorunlu büyüme göstermez. Yabancı şekillidir.
Sertlik	:	Aşındırma sertliği M_2 S den küçük C_3 M S_2 den büyüktür.
Renk	:	Montisellit'in parlatmadaki rengi M_2S 'e benzer.
Şekil	:	Özşekilsiz ile yarı Özşekilli kristallerden oluşan tanesel yapıdaki agregatlar halinde bulunur.
Dilinim	:	(010) yüzeyine parelel kötü gelişmiş dilinime sahiptir.
Sönme	:	Dilinim izlerine ve kristal kenarlarına göre parelel sönme gösterir.
Optik Engebe	:	Yüksektir.
Diğer Özellikler:		Optik eksen düzlemi 001'e pareleldir. Ötektik bireyler halinde genellikle periklas'ı kenetleyen, bağlayan malzeme şeklinde oluşur. Ferromontisellit ($CaO.FeO.SiO_2$)'in erime noktası 1208 °C dir.

Adı : MERVİNİT

Formülü : $3CaO.9MgO.Si_2O_8$ veya $3CaO.MgO.SiO_2$

Kristal Sistemi : Monoklinik

Sertlik : 6

Yoğunluğu : 3.15

Ergime sıcaklığı : Mervinit 1570 °C de $2CaO.SiO_2$ + MgO + Eriyik şeklindedir.

Şekil : Mervinit montisellitle izomorf karışım yapmaz. İki faz halinde kristalleşir. Düşük sıcaklık altında polisentetik içeren fazı oluşur.

Dilinim : (010) yüzeyine parelel mükemmel dilinim vardır.

Optik Özellikleri : nx = 1.708, ny = 1.711, nz = 1.724, 2V = + 67° r>V dir. Optik eksen (010) düzlem yüzeyine parelel nx ile c ekseninin yaptığı açı 36° dir.

İkizlenme : Mervinit polisentetik olarak ikizlenir. Bu polisentetik ikizlenme parlatmalarda asitle muamele (yedirme) yapılmazsa görülmez. Özellikle ince kesitte çapraz nikolde gözükür. Genel olarak tablacıklar veya lameller halinde görülür. Mervinit minerali magnezit taşlarında CaO/SiO_2 0.93-1.87 arasındaki oranlarda görülür. $2CaO.SiO_2$ iki basamakta 1160 °C ve 1240 °C de oluşur.

Asitten Etkilenme : Alkollü HNO_3'den etkilenir ama renklendirmez. Alkollü H_2SO_4'den etkilenir ve renklenir. Bu renklenme $CaO.MgO.SiO_2$'ye nazaran daha koyudur. %10'luk NH_4Cl'ün sudaki çözeltisi merviniti etkiler aynı $2CaO.SiO_2$'i etkilediği gibi.

Adı : DİKALSİYUM SİLİKAT

Formülü : $2CaO.SiO_2$

Diğer Özellikler : $2CaO.SiO_2$ dört modifikasyon halinde bulunur. Bunlar α, α', β, γ'dır. Magnezit taşlarında mühim olan $2CaO.SiO_2$ modifikasyonları şunlardır.

<u>α -2CaO.SiO2</u> : Erime noktası 2130 °C. CaO/SiO_2 1.87-1.70 arasında ise $2CaO.SiO_2$ mervinit içerisinde ayrıntılar halinde görülür. Çok az miktarlarda olduğu zaman genellikle boşluk dolgusu halinda bulunur.

α'-2CaO.SiO2 : Sıcaklık 850 °C nin üstünde olduğu zaman ve bunun yanısıra magnezyumun yerini alabilecek kalsiyum bulunduğu koşullarda teşekkül eder. α-$2CaO.SiO_2$'den dönüşerek oluşmuş α'-$2CaO.SiO_2$'nin küçük kristal oluşumları polisentetik ikizlenme göstermezler.

β-$2CaO.SiO_2$: Yüksek sıcaklıkta meydana gelmiş olan β-$2CaO.SiO_2$ daha sonra γ-$2CaO.SiO_2$'e dönüşerek hacimce %10 kadar genleşir. β-$2CaO.SiO_2$'nin karışım kristali P_2O_5, As_2O_5 ve Cr_2O_3 yardımıyla stabil hale getirilebilir.

γ-$2CaO.SiO_2$: $2MgO.SiO_2$ (forsterit) ile devamlı bir karışım kristali oluşturur. Fakat bu karışım kristali aynen kalsit, dolomitin magnezitteki ilişkileri şeklinde değildir. Demir ile olan karışım kristali yaklaşık %15 $2FeO.2SiO_2$ ihtiva eder.

Adı : TRİKALSİYUM SİLİKAT (Alit)
Formülü : $3CaO.SiO_2$
Diğer Özellikler : 1400 °C de yaklaşık %6-7 $3CaO.SiO_2$ oluşabilir. MgO, $3CaO.SiO_2$ içerisinde çok az miktar da çözünebilir ve bu şekildeki karışım kristaline Alit ismi verilir. Çok yüksek bazik magnezit taşlarında, $3CaO.SiO_2$ periklas aralarında dolgu malzemesi şeklinde çok az miktarda görülür.

Adı : ANTİGORİT
Formülü : $Mg_6\ \{(OH)_8/Si_4 = 10\}$
Optik İşareti : (-) eksi
2V Açısı : 27° -60°
Renk : İnce kesitte genellikle renksizdir. Fe içeren türü soluk yeşilimsi, yeşilimsi sarı bir renk ve pleokroizma gösterirler.
Şekil : Kristalleri (001) yüzeyine göre yapraksı bir şekle sahiptir. Kayaçlarda çoğunlukla özşekilsiz kristallerine, genellikle yarı parelel dizilimli puslu veya tamamen karmakarışık agregatlarına rastlanır.

Dilinim : (001) yüzeyine göre çok iyi dilinimlidir.

İkizlenme : İkizlenme gösterir ancak sönme açısı küçük ve çift kırma zayıf olduğundan ince kesitte ayırt edilemez.

Sönme : Yaklaşık olarak parelel sönme gösterir.

Optik engebe : Belirli değildir. Işık kırma indisi Fe içeriğine bağlı olarak yükselir.

Bulunuşu : Serpantinitlerin ana bileşenini oluşturur. Olivin ve piroksenlerin hidrotermal ve düşük mertebeli metamorfizma koşulları altında serpantinleşmesi sonucu oluşan bir mineraldir. Genellikle krizotil talk, magnetit, kromit ve pikotit ile beraber bulunur. Olivin çatlaklar boyunca serpantinleşir.

7.4. Kalsiyumoksit'in Mikroskobik Özellikleri

Adı : KALSİYUM OKSİT

Formülü : CaO

Kristal Sistemi : Kübik

Kırılma İndisi : 1.837

Sertlik : 3-4

Erime Noktası : 2570 °C

Renk : Renksiz

Şekil : Sinterleşmiş MgO içinde CaO çok ince taneler halindedir. Ancak çok yüksek büyütmelerde görülebilir.

Dilinim : (100) düzlemine parelel mükemmel dilinim gösterir.

Bozunma : Suda çözünür.

Asitten Etkilenme : Asitlerden etkilenir.

Diğer Özellikler : Periklas CaO kapanımları içerebilir.

7.5. Ferrit'lerin Mikroskobik Özellikleri

Adı	:	MAGNEZOFERRİT
Formülü	:	$MgO.Fe_2O_3$ (MF)
Ergime Noktası	:	1750 °C
İzotrop	:	Optik izotropdur.
Kristal Sistemi	:	Kübik
Kırılma İndisi	:	$n_{Na} = 2.39$ (sodyum ışığında)
Sertlik	:	6
Yoğunluk	:	4.518-4.491
Optik Engebe	:	Yüksektir.
İkizlenme	:	Mevcuttur. Ancak ince kesitte genellikle görülmez.
Dilinim	:	İnce kesitte genellikle ayırt edilemeyen (111)'e göre dilinime sahiptir. Buna karşı minerallerde çoğunlukla kataklaz etkileri görülür.
Renk	:	Periklas taneleri MF den dolayı hafif kahverengidir. Saf magnezyum-spineller tamamen renksizdirler. Ancak Mg yerine Fe^{+2} ve Al yerine kısmen Fe^{+3} geçmesi ile yeşilimsi gri, ender olarak kahverengimsi yeşil üzerinden koyu zümrüt yeşili Fe^{+2} spinellerine geçilir.
Şekil	:	Genellikle özşekilli kristaller halinde bulunurlar. Kristalleri oktaedr şeklindedir ve incekesitte çoğunlukla rombik bir kesit gösterirler.
Asitten Etkilenme	:	Çok zor etkilenir. Diğer silikat minerallerinden seyreltilmiş HF asidi yardımı ile kolayca ayrılabilir. Polarize ışıkta daima sönük, konverjan ışıkta hiç şekil vermez. Spinel yüzdesi arttıkça termal genleşme lineer olarak azalır. Spinel yüzdesi attıkça periklas taneleri küçülür. Spinel daha renkli ve köşelidir ve periklas'ın çevresinde yerleşir.
Diğer Özellikler	:	Magnetik özelliği vardır. $MgO.Fe_2O_3$ yüksek sıcaklık altında periklas içinde çözelti halinde bulunur. Sıcaklık düşmesi halinde 1020 °C bu çözünürlük miktarı % 1.3 civarına kadar düşer. $MgO.Fe_2O_3$ magnezyum alüminatla izomorf karışım yapar. Spinel şebeke yapısına sahiptir.

Adı	:	DİKALSİYUM FERRİT
Formülü	:	$2CaO.Fe_2O_3$
Kristal Sistemi	:	Ortorombik
Yoğunluk	:	4.01
Ergime Noktası	:	1449 °C
Birim Hücre	:	ao = 5.6 °A, bo = 14.7 °A, co = 5.36 °A
Sertlik	:	Aşıdırma sertliği periklas'dan küçüktür.
Pleokroizma	:	Kuvvetli pleokroizma vardır.
Renk	:	İnce kesitte ışığı geçirgen kırmızı kahverengi görülür. Parlatma altında $2CaO.Fe_2O_3$ ve $4CaO.Al_2O_3.Fe_2O_3$ ile olan izomorf karışım kristalleri Magnezo ferritten biraz daha açık renktedir.
Şekil	:	Dikalsiyum ferrit $4CaO.Al_2O_3.Fe_2O_3$ ile karışım kristali oluşturur. Çok az miktarda Al_2O_3 içeren magnezit cevherinden serbest bireyler teşekkül etmez.
Dilinim	:	(111) yüzeyine parelel pek belirgin olmayan dilinim içerir.
Kırılma İndisi	:	nx; sarımtrak kahverengi, nz; koyu kahverengi. $4Cao.A.Fe_2O_3$ ile izomorf karışım oluşturur. Bu yalnız ışığı kırma indisi yardımıyla saptanır.
Asitten Etkilenme	:	Parlatma numunesi üzerine Na_2S, H_2S ve $(NH_4)_2S$ ile yapılan 5 saniyelik yedirmeler (muamele) $2CaO.Fe_2O_3$ yi turuncu sarı ile kırmızı renge boyar. $4CaO.Al_2O_3.Fe_2O_3$ eski rengini muhafaza eder. Zorunlu büyümesi yoktur. İkizlenme yedirmeden sonra gözlenebilir. Magnezit cevherinden nadir olarak ötektik bireyler halinde ekseriye kristallerin kenarında kenetlenme dolgu maddesi şeklindedir. $4CaO.A.Fe_2O_3$ H_2O + %1 HNO_3 ile yedirmede parlak renkte görülür.
Diğer Özellikler	:	Magnetik özelliği vardır.

7.6. Alüminat'ların Mikroskobik Özellikleri

Adı	:	MAGNEZYUM ALÜMİNAT
Formülü	:	$MgO.Al_2O_3$
Kırılma İndisi	:	1.722
Ergime Sıcaklığı	:	2135 °C
Yoğunluk	:	3.581 (25 °C)
Birim Hücre (a)	:	8.080 °A (26 °C)
Kristal Sistemi	:	Kübik (spinel şebeke yapısı gibidir). Oktaeder şeklinde kristalleşir.
Sertlik	:	8 dir. Magnezit cevherindeki bütün minerallerden serttir.
Renk	:	Renksizdir. $MgO.Fe_2O_3$ içerdiği zaman sarımtrak renk gösterir. Parlatma altında çok az farklı olarak periklastan daha koyudur.
Şekil	:	Magnezit içerisinde kristal ağı görüntüsü içerisindedir.
Dilinim	:	(111) yüzeyine parelel mükemmel olmayan dilinime sahiptir.
İkizlenme	:	(111) yüzeyine parelel ikizlenme yüzeylerine sahiptir.
İzotrop	:	Optikçe izotroptur.
Oluşum	:	Bu mineralin oluşumu ancak alüminyum içeren magnezitlerde görülür.
Asitten Etkilenme	:	Tüm asitlara karşı dayanıklıdır.
Diğer Özellikler	:	$MgO.Al_2O_3$ her koşul altında $MgO.Fe_2O_3$ ile karışım halindedir.

7.7. Kromit'in Mikroskobik Özellikleri

Adı	:	KROMİT
Formülü	:	$(Fe^{+2},Mg)O.(Cr,Fe^{+3},Al)_2.O_3$
Kristal Sistemi	:	Kübik
Kırılma İndisi	:	n = 2.08 - 2.16 arasında değişir.
Şekil	:	Optik izotroptur.
Sertlik	:	5.5 dur.
Renk	:	İnce kesit altında kromit, kırmızımsı-kahve rengindedir.
Dilinim	:	(111) yüzeyine parelel belirgin olmayan dilinimleri vardır.
Benzediği Mineraller	:	Magnetitden, mıknatıs tarafından çekilmemesi ile ayrılır. Bir Alüminyum spinel olan Pikotit ise ışığı daha iyi geçirir ve özgül ağırlığı daha düşüktür.
Diğer Özellikler	:	Olağan üstü dağılan bir mineraldir. Fe_2O_3 içeren kromitler zayıf magnetik özelliğe sahiptirler. Reaksiyon yeteneği magnezoferritten düşük, magnezo alüminattan büyüktür. Tüm asitlere karşı dayanıklıdır.

Bazı kromitler örneğin Küba ve Filipinler'deki kromitler aliminyum ve kalsiyumca çok zengindirler. Bazılarında ise MgO miktarı FeO miktarından daha fazladır. Krom cevheri, silikat şeklindeki gang mineralleri forsterit, klorit, krom silikatlar ile bazen pirit, kalkopirit gibi sülfürlerle beraber bulunabilir. Magnetit yeni oluşum şeklinde göze çarpar (Çelik, 1988).

R_2O_3 karışım kristalleri krom-magnezit cevherinde MgO ile kontak halinde bulunmayan kromit içerisinde oluşur. Periklas ile kontak halinde olan kısımlarda spinel teşekkül eder.

8. DENEYSEL ÇALIŞMA

8.1. Çalışmanın Amacı

Magnezit tuğla, magnezit-krom tuğla, krom-magnezit tuğla, magnezit -karbon tuğla, kimyasal bağlı ve saç kaplı v.b. tuğlaların özelliklerine göre kullanım yeri vardır. Örneğin magnezit tuğla demir çelik sektöründe, magnezit-karbon tuğla bazik oksijen konvertörlerinde, tez çalışmasına konu olan magnezit-krom tuğla ise çimento yatay döner fırınlarında kullanılmaktadır. Tez çalışmasında yalnızca yatay döner çimento fırını'nın sinter bölgesinde kullanılan magnezit-krom tuğlalar incelenmiştir.

Magnezit-krom tuğlalar, tuğlanın içerdiği krom miktarına göre değişik isimler alır. P15; %15 kromit cevheri (bu da %7-8 Cr_2O_3 demektir), %85 sinter magnezit cevherini, P35; %35 kromit cevheri (%16-17 Cr_2O_3), %65 sinter magnezit cevheri içerdiğini ifade eder. P harfi "pişmiş" anlamına gelmektedir. P45, P60, P75 ve P90 aynı şekilde ifade edilir. Krom miktarı artınca tuğla krom-magnezit tuğla adını alır. Tuğlanın içerisindeki krom miktarının değişmesiyle tuğlanın özelliği de değişir. Yatay döner çimento fırınının sinter bölgesinin şartlarına hitab eden özellikteki tuğla P15 magnezit-krom tuğlasıdır.

Yapılan çalışmalarda, öncelikle magnezit-krom tuğlaları kullanan fabrikalardan birisi olan Eskişehir Çimento Fabrikasına (Esçim) gidildi. Çimento fabrikasında ilgililer ile yapılan görüşmelerde Almanya kaynaklı Refrateknik firmasının ürettiği Perileks 83 (Pr83) kodlu tuğla ömrünün 12 ay olmasına karşın, Türkiye (Kümaş) kaynaklı üretilen P15 kodlu tuğla ömrünün 6 ay olduğu ifade edildi. Bunun üzerine P15 tuğlasını üreten fabrikaya gidildi. Fabrikadaki ilgili kişiler Eskişehir Çimento Fabrikası yetkilisinin beyanını onayladılar.

Buradan çıkan sonuç, çalışma sahamıza giren P15 tuğlasının ömrü, Perileks 83 tuğlasının ömründen en az 4 ay daha kısadır. Yapılan çalışmanın amacı, P15 tuğlasının ömrünün uzatılabilirliğinin araştırılması üzerinedir.

8.2. Çalışma Yöntemi

Bizim için örnek teşkil eden Perileks 83 isimli tuğla, Eşkişehir Çimento Fabrikasından alındı ve kimyasal analizi yapıldı. P15 tuğlasının da kimyasal analizi yapıldı. Çizelge 8.1.'de P15 ve Perileks 83 tuğlalarının katalog değerleri ile üretilip fırın içinde kullanılmamış tuğlaların kimyasal analiz değerleri görülmektedir. Çizelge incelendiğinde Perileks 83 ve P15 tuğlalarının kimyasal analiz değerleri arasında iki önemli fark görülmektedir. Perileks 83 tuğlasındaki demir miktarı P15 tuğlasından, P15 tuğlasındaki krom miktarı Perileks 83 tuğlasından fazladır. MgO'nun hesaplanması 100 den, diğer safsızlıkların toplamının çıkarılmasıyla yapılmaktadır. Bundan dolayı MgO miktarı, diğer safsızlıkların artmasıyla değişme göstermektedir. Bunun dışındaki minerallerin aşağı yukarı birbirlerine yakın değer gösterdikleri görülmektedir.

Çizelge 8.1. P15 ve Pr83 tuğlalarının kimyasal analiz değerleri.

Kimyasal analiz (%)							
Ürün adı	MgO	CaO	SiO_2	C/S	Cr_2O_3	Fe_2O_3	Al_2O_3
P15-katalog değeri	80-84	2.50	2.00	1.25	5-8	2-4	2-4
P15-kullanılmamış	81.79	2.10	1.88	1.12	7.90	2.70	3.33
Pr83-katalog değeri	82-86	2.50	1.50	1.67	3-5	4-6	1-3
Pr83-kullanılmamış	78.52	3.75	1.08	3.47	3.92	7.63	3.95

Kimyasal analiz değerlerinin tesbitinden sonra, Pr83 ile P15 tuğlalarından parlak kesitler alındı. Parlak kesitler üzerinde yapılan incelemede Pr83 tuğlasının P15 tuğlasından daha sert olduğu gözlendi. Bunun tuğla pişirme sıcaklığından olduğu düşünülmüş fakat Kümaş fırınının sıcaklığı stabil olup değiştirilemez oluşu, pişirme rejimi üzerinde çalışmaya imkan vermemiştir.

Daha sonra parlak kesitlerde, 40x40 mm^2 'lik alanda tanelerin boyutları ölçüldü ve tane boyutlarına göre sayımları yapıldı. Çizelge 8.2. ve Çizelge 8.3.'de tanelerin boyutlarına göre sayımları görülmektedir.

Çizelge 8.2. Pr83 tuğlası parlak kesitinde sinter magnezit ve kromit cevherinin (toplam) tane boyutu ölçümü ve sayımı.

Pr83 tuğlası parlak kesitinde sinter magnezit ve kromit cevherlerinin (toplam) tane boyutu ölçümü ve sayımı			
-4.75+4	mm =	/////	= 5
-4+3.35	mm =	////////	= 8
-3.35+2	mm =	//////////////	= 13
-2+1	mm =	//////////////////	= 16
-1+0.5	mm =	//////////////////	= 17
-0.5+0.1	mm =	//////////////	= 12
-0.1+0.063	mm =	/////////	= 9
-0.063	mm =	//////	= 6

Çizelge 8.3. Pr83 tuğlası parlak kesitinde kromit cevherinin tane boyutu ölçümü ve sayımı.

Pr83 tuğlası parlak kesitinde kromit cevheri tane boyutu ölçümü ve sayımı			
-4.75+4	mm =		
-4+3.35	mm =		
-3.35+2	mm =		
-2+1	mm =	////////	= 8
-1+0.5	mm =	//////	= 6
-0.5+0.1	mm =	////	= 4
-0.1+0.063	mm =		
-0.063	mm =		

Çizelge 8.4. P15 tuğlası parlak kesitinde sinter magnezit ve kromit cevherinin (toplam) tane boyutu ölçümü ve sayımı.

P15 tuğlası parlak kesitinde sinter magnezit ve kromit cevherlerinin (toplam) tane boyutu ölçümü ve sayımı		
-4.75+4	mm = //	= 2
-4+3.35	mm = ////	= 4
-3.35+2	mm = ///////	= 7
-2+1	mm = //////////	= 10
-1+0.5	mm = //////////////	= 15
-0.5+0.1	mm = //////////	= 11
-0.1+0.063	mm = ///////	= 8
-0.063	mm = //////	= 6

Çizelge 8.5. P15 tuğlası parlak kesitinde kromit cevherinin tane boyutu ölçümü ve sayımı.

P15 tuğlası parlak kesitinde kromit cevheri tane boyutu ölçümü ve sayımı		
-4.75+4	mm = //	= 2
-4+3.35	mm = ///	= 3
-3.35+2	mm = ///////	= 8
-2+1	mm = //////////////////	= 18
-1+0.5	mm = //////////////////////	= 20
-0.5+0.1	mm = //////////	= 10
-0.1+0.063	mm = ///////	= 8
-0.063	mm = /////	= 5

Çizelge 8.2., 8.3., 8.4. ve 8.5. 'de görülen tane boyutu ölçümleri ve sayımlarına göre tane boyutları hakkında aşağıdaki sonuçlar çıkarılmıştır;

1 - Pr83 tuğlasındaki sinter magnezit taneleri, P15 tuğlasındaki sinter magnezit tanelerden daha iri,
2 - Pr83 tuğlasındaki kromit cevheri taneleri, P15 tuğlasındaki kromit cevheri tanelerinden daha ince ve daha dar tane aralığında,

3 - Pr83 tuğlasındaki tanelerin, P15 tuğlasındaki tanelerden daha homojen dağılım gösterdiği,
4 - Pr83 tuğlası daha sıkı, P15 tuğlasının daha poroz yapılı bir görünüme sahip olduğu sonucuna varılmıştır.

Sayılan bu özellikler Şekil 8.1.'de, Pr83 ve P15 tuğlaları parlak kesitinde görülmektedir.



Perileks 83 P15

Şekil 8.1. Perileks 83 ve P15 tuğlaları parlak kesitleri.

Bu çalışmalardan sonra tesbit edilen özellikleri içeren yeni bir tuğla yapımı için çalışmalara devam edildi.

8.3. Tuğla Reçetesi'nin Hazırlanması

Çalışmalar için örnek teşkil eden perileks 83 tuğlasının parlak kesitinde taneler üzerinde tesbit edilen özellikleri gösterecek yeni bir tuğla yapma çalışmalarına başlandı. Bunun için ilk önce parlak kesitte tane sayımı sonucuna göre tane dağılım tablosu oluşturuldu. Çizelge 8.6. de üretilmesi düşünülen tuğlalarının tane dağılım fraksiyonları ve tane fraksiyonlarına göre tane boyutu dağılımlarının yüzde oranları görülmektedir.

Çizelge 8.6. Deneme tuğlalarının % boyut dağılımları.

Tane boyutu (mm)	N1 %	N2 %	N3 %	N4 %	N5 %	N6 %
-4.75 + 4	3	4	5	6	7	8
-4 + 3.35	6	7	8	9	10	11
-3.35 + 2	12	13	14	15	16	17
-2 + 1	16	17	18	19	20	21
-1 + 0.5	23	22	21	20	19	18
-0.5 + 0.1	17	16	15	14	13	12
-0.1 + 0.063	13	12	11	10	9	8
-0.063	10	9	8	7	6	5
Toplam	100	100	100	100	100	100

N1 isimli deneme tuğlası tane boyutu dağılımı P15 tuğlası tane boyutu dağılımına yakın değerler olarak seçilmesine özen gösterildi. N1 tuğlası tane boyutlarını +1 mm'ye kadar %1 artırarak, -1 mm'den sonra %1 azaltarak yeni N2 tuğlası tane boyutu dağılımı oluşturuldu. N3, N4, N5 ve N6 tuğlalarının tane boyutu dağılımı oranları, +1 mm'ye kadar %1 artırarak, -1 mm'den sonra %1 azaltarak tane boyutu dağılım oranları oluşturuldu. Burada yapılmak istenen, perileks 83 tuğlasında tesbit edilmiş olan magnezit tanelerinin iriliğine ulaşmaktır. Tesbit edilen bu değerler tuğlanın toplam yüzde ağırlık oranını göstermektedir. Bu toplam değerlerden hareket ederek, tuğlayı oluşturacak sinter magnezit cevheri ve konsantre krom cevheri'nin yüzde ağırlık değerleri hesaplanmıştır.

Kromit cevherinin tane dağılım oranları, perileks 83 tuğlasında ölçülen tane irilikleri göz önüne alınarak, Çizelge 8.7., 8.8., ve 8.9.'de görüldüğü gibi -2+1, -1+0.5 ve -0.5+0.1 mm tane boyutları arasında alınmıştır. Yüzde miktarı ise perileks 83 tuğlasının kimyasal analizinde ve katalog değerinde verilen Cr_2O_3 yüzde miktarlarına göre ortalama %4.5-5.0 Cr_2O_3 oranına tekabül eden %9 miktarı hesap edilmiştir. %9 luk kromit cevherinin dağılımı da tane boyuları arasında -2+1'e %4, -1+0.5'e %3 ve -0.5+0.1'e %2 lik bir oranla dağıtılmıştır. Kromit cevheri için tesbit edilen bu değerler bütün tuğlalar için sabit tutulmuştur.

Çizelge 8.7. N1 ve N2 deneme tuğlalarının, sinter magnezit ve kromit cevherine göre % tane dağılım oranları.

Tane boyutu (mm)	N1			N2		
	sinter mag. %	kromit %	toplam %	sinter mag. %	kromit %	toplam %
-4.75 + 4	3	--	3	4	--	4
-4 + 3.35	6	--	6	7	--	7
-3.35 + 2	12	--	12	13	--	13
-2 + 1	12	4	16	13	4	17
-1 + 0.5	20	3	23	19	3	22
-0.5 + 0.1	15	2	17	14	2	16
-0.1 + 0.063	13	--	13	12	--	12
-0.063	10	--	10	9	--	9
Toplam	91	9	100	91	9	100

Çizelge 8.8. N3 ve N4 deneme tuğlalarının, sinter magnezit ve kromit cevherine göre % tane dağılım oranları.

Tane boyutu (mm)	N3			N4		
	sinter mag. %	kromit %	toplam %	sinter mag. %	kromit %	toplam %
-4.75 + 4	5	--	5	6	--	6
-4 + 3.35	8	--	8	9	--	9
-3.35 + 2	14	--	14	15	--	15
-2 + 1	14	4	18	15	4	19
-1 + 0.5	18	3	21	17	3	20
-0.5 + 0.1	13	2	15	12	2	14
-0.1 + 0.063	11	--	11	10	--	10
-0.063	8	--	8	7	--	7
Toplam	91	9	100	91	9	100

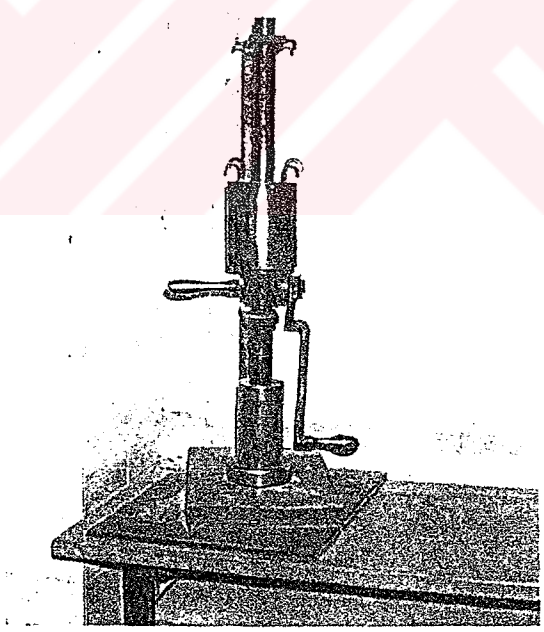
Çizelge 8.9. N5 ve N6 deneme tuğlalarının, sinter magnezit ve kromit cevherine göre % tane dağılım oranları.

Tane boyutu (mm)	N5			N6		
	sinter mag. %	kromit %	toplam %	sinter mag. %	kromit %	toplam %
-4.75 + 4	7	--	7	8	--	8
-4 + 3.35	10	--	10	11	--	11
-3.35 + 2	16	--	16	17	--	17
-2 + 1	16	4	20	17	4	21
-1 + 0.5	16	3	19	15	3	18
-0.5 + 0.1	11	2	13	10	2	12
-0.1 + 0.063	9	--	9	8	--	8
-0.063	6	--	6	5	--	5
Toplam	91	9	100	91	9	100

Perileks 83 tuğlasının tane dağılımına ve kimyasal içeriğine uyacak biçimde hazırlanan N1, N2, N3, N4, N5 ve N6 tuğla reçetelerinin uygun olup olmadığının tesbiti paketleme yoğunluğu deney sonuçlarına göre belli olacaktır.

8.4. Paketleme Yoğunluğu

Paketleme yoğunluğu, yapılan deney sonuçlarının ortalama değerleri alınarak belirlenmektedir. Şekil 8.2.'de paketleme yoğunluk deney cihazı görülmektedir. Deneyin amacı, bir araya gelmiş tanelerin sıkışma oranını tesbit etmektir. Paketleme yoğunluk değerinin birimi gr/cm^3 dür.



Şekil 8.2. Paketleme yoğunluğu deney cihazı

Pişirme sırasında tanelerin birbirleriyle bağ oluşturabilmeleri için tanelerin birbirlerine değmeleri gerekir. Birbirleriyle temas edemeyen taneler arasında bağ oluşması beklenemez. Bu duruma göre taneler ne kadar birbirleriyle temas eder ise ya da ne kadar fazla sıkışır ise o kadar iyi bağ oluşturacaktır. N1, N2, N3, N4, N5 ve N6 tuğla reçetesine göre tesbit edilmiş olan tane dağılımlarının yada tane iriliklerinin ne kadar sıkışıp birbirleriyle temas edeceği ve pişirme sırasında iyi bağ oluşturacağı, tuğlayı pişirmeden önce paketleme yoğunluğu deneyi sonucuna göre belli olacaktır. Bu sonuca göre en iyi sıkışan tuğla reçetesi kabul edilecek ve pişirilecektir.

Paketleme yoğuluğu deneyini yapabilmek için öncelikle tuğla yapımında kullanılacak olan sinter magnezit cevheri ve konsantre krom cevherleri, tesbit edilmiş olan tane boyutu fraksiyonları seviyesine kadar ufalanır. Elek analizi yapılmış ve sınıflandırılmış cevher, paketleme yoğunluk deneyi için standart 250 gr olarak Çizelge 8.10., 8.11., 8.12., 8.13., 8.14., ve 8.15.'de gösterilen miktarlarda hazırlanır. Hazırlanan numune deney cihazına yerleştirilir. Kol çevrilerek ağırlığın 10 kez vurması sağlanır. Kumpas ile sıkışma miktarı ölçülür. Elde edilen sonuç numunenin paketleme yoğunluk değeridir.

Çizelge 8.10., 8.11., 8.12., 8.13., 8.14., ve 8.15.'de; N1, N2, N3, N4, N5 ve N6 tuğlalarının paketleme yoğunluk deneyi için gerekli olan numune miktarları gösterilmiştir.

Çizelge 8.10. Paketleme yoğunluğu testi için N1 tuğla reçetesine ait deney numune miktarları.

	N1					
Tane boyutu	sinter magnezit		kromit cevheri		toplam	
(mm)	gr	%	gr	%	gr	%
-4.75 + 4	7.5	3	--	--	7.5	3
-4 + 3.35	15.0	6	--	--	15.0	6
-3.35 + 2	30.0	12	--	--	30.0	12
-2 + 1	30.0	12	10.0	4	40.0	16
-1 + 0.5	50.0	20	7.5	3	57.5	23
-0.5 + 0.1	37.5	15	5.0	2	42.5	17
-0.1 + 0.063	32.5	13	--	--	32.5	13
-0.063	25.0	10	--	--	25.0	10
Toplam	227.5	91	22.5	9	250.0	100

Çizelge 8.11. Paketleme yoğunluğu testi için N2 tuğla reçetesine ait deney numune miktarları.

	N2					
Tane boyutu	sinter magnezit		kromit cevheri		toplam	
(mm)	gr	%	gr	%	gr	%
-4.75 + 4	10.0	4	--	--	10.0	4
-4 + 3.35	17.5	7	--	--	17.5	7
-3.35 + 2	32.5	13	--	--	32.5	13
-2 + 1	32.5	13	10.0	4	42.5	17
-1 + 0.5	47.5	19	7.5	3	55.0	22
-0.5 + 0.1	35.0	14	5.0	2	40.0	16
-0.1 + 0.063	30.0	12	--	--	30.0	12
-0.063	22.5	9	--	--	22.5	9
Toplam	227.5	91	22.5	9	250.0	100

Çizelge 8.12. Paketleme yoğunluğu testi için N3 tuğla reçetesine ait deney numune miktarları.

Tane boyutu	N3					
	sinter magnezit		kromit cevheri		toplam	
(mm)	gr	%	gr	%	gr	%
-4.75 + 4	12.5	5	--	--	12.5	5
-4 + 3.35	20.0	8	--	--	20.0	8
-3.35 + 2	35.0	14	--	--	35.0	14
-2 + 1	35.0	14	10.0	4	45.0	18
-1 + 0.5	45.0	18	7.5	3	52.5	21
-0.5 + 0.1	32.5	13	5.0	2	37.5	15
-0.1 + 0.063	27.5	11	--	--	27.5	11
-0.063	20.0	8	--	--	20.0	8
Toplam	227.5	91	22.5	9	250.0	100

Çizelge 8.13. Paketleme yoğunluğu testi için N4 tuğla reçetesine ait deney numune miktarları.

Tane boyutu	N4					
	sinter magnezit		kromit cevheri		toplam	
(mm)	gr	%	gr	%	gr	%
-4.75 + 4	15.0	6	--	--	15.0	6
-4 + 3.35	22.5	9	--	--	22.5	9
-3.35 + 2	37.5	15	--	--	37.5	15
-2 + 1	37.5	15	10.0	4	47.5	19
-1 + 0.5	42.5	17	7.5	3	50.0	20
-0.5 + 0.1	30.0	12	5.0	2	35.0	14
-0.1 + 0.063	25.0	10	--	--	25.0	10
-0.063	17.5	7	--	--	17.5	7
Toplam	227.5	91	22.5	9	250.0	100

Çizelge 8.14. Paketleme yoğunluğu testi için N5 tuğla reçetesine ait deney numune miktarları.

Tane boyutu (mm)	N5					
	sinter magnezit		kromit cevheri		toplam	
	gr	%	gr	%	gr	%
-4.75 + 4	17.5	7	--	--	17.5	7
-4 + 3.35	25.0	10	--	--	25.0	10
-3.35 + 2	40.0	16	--	--	40.0	16
-2 + 1	40.0	16	10.0	4	50.0	20
-1 + 0.5	40.0	16	7.5	3	47.5	19
-0.5 + 0.1	27.5	11	5.0	2	32.5	13
-0.1 + 0.063	22.5	9	--	--	22.5	9
-0.063	15.0	6	--	--	15.0	6
Toplam	227.5	91	22.5	9	250.0	100

Çizelge 8.15. Paketleme yoğunluğu testi için N6 tuğla reçetesine ait deney numune miktarları.

Tane boyutu (mm)	N6					
	sinter magnezit		kromit cevheri		toplam	
	gr	%	gr	%	gr	%
-4.75 + 4	20.0	8	--	--	20.0	8
-4 + 3.35	27.5	11	--	--	27.5	11
-3.35 + 2	42.5	17	--	--	42.5	17
-2 + 1	42.5	17	10.0	4	52.5	21
-1 + 0.5	37.5	15	7.5	3	45.0	18
-0.5 + 0.1	25.0	10	5.0	2	30.0	12
-0.1 + 0.063	20.0	8	--	--	20.0	8
-0.063	12.5	5	--	--	12.5	5
Toplam	227.5	91	22.5	9	250.0	100

Çizelgelerde gösterilen numune miktarları alınarak paketleme yoğunluk testi yapılmıştır. Sonuçların sıhhatli olması bakımından her tuğla için paketleme yoğunluk testi dört kez tekrarlanmıştır. Elde edilen sonuçlar Çizelge 8.16.'de toplu olarak verilmiştir.

Çizelge 8.16. N1, N2, N3, N4, N5 ve N6 tuğlalarının paketleme yoğunluk deney sonuçları.

	N1	N2	N3	N4	N5	N6
Test 1	2.73	2.69	2.69	2.60	2.57	2.50
Test 2	2.74	2.68	2.66	2.61	2.56	2.48
Test 3	2.74	2.72	2.65	2.66	2.57	2.52
Test 4	2.77	2.72	2.70	2.62	2.58	2.53
ortalama	2.74	2.70	2.67	2.62	2.57	2.51

Paketleme yoğunluk deney sonuçlarının ortalama değerlerine bakıldığında, N1 tuğlasından N6 tuğlasına doğru gidildikçe paketleme yoğunluk değerlerinin azaldığı görülmektedir. Başka bir ifade ile tane boyutu arttığında tanelerin sıkışma oranı azalmaktadır. Paketleme yoğunluk değeri ne kadar fazla ise numune o kadar fazla sıkışmış demektir. N6 tuğlasına doğru gidildikçe değerlerin azalması, numunenin daha az sıkışmakta olduğunu göstermektedir. Pişirme sırasında tanelerin bağ oluşturabilmeleri için numunelerin yeteri kadar sıkışma göstermesi gerekmektedir. N1 tuğlasının ortalama değeri diğer tuğlaların hepsinden yüksektir. N1 tuğlasının değeri P15 tuğlasının tane boyutu değerlerinine çok yakın değerdedir. Deneysel çalışmada P15 tuğlasının tane boyutlarını artırmak amaçlandığından N1 değerinin seçilmesi başa dönmek demek olacağından N1 değerinin seçilmesi uygun olmayacaktır. N6 değeri de uç değer olarak düşüldü ve ortalama değer vermesi bakımında N3 tuğlasının paketleme yoğunluk değeri yeterli görülüp N3 tuğla reçetesi kabul edildi.

Literatür bilgilerine göre paketleme yoğunluk değeri'nin 2.50 gr/cm^3'den düşük olması istenmez. Deney sonucunda elde edilen bütün değerler 2.50 gr/cm^3 değerinden yüksektir.

8.5. Harman Hazırlama

Paketleme yoğunluk değerine göre kabul edilen N3 tuğla reçetesi'ne göre tuğla yapmak için gerekli olacak sinter magnezit ve konsantre kromit cevherlerinin miktarı tesbit edilmesi gerekmektedir. Üretimi yapılacak olan yeni reçeteye göre yapılmış tuğlanın, paketleme yoğunluğu, kimyasal analiz, bulk yoğunluk, porozite, ısı iletkenlik, soğukta basınç mukavemeti, lineer uzama ve yük altında rekrakterlik analizlerinin yapılabilmesi için gerekli olacak tuğla adedi tesbit edildi. K 623 çimento fırın tuğlası kalıbında preslenip pişirilecek 6 adet tuğla için gerekli olacak numune miktarı 80 kg olarak saptandı. Harman numunesinin tane boyutuna göre dağılımı çizelge 8.17.'de gösterilmiştir.

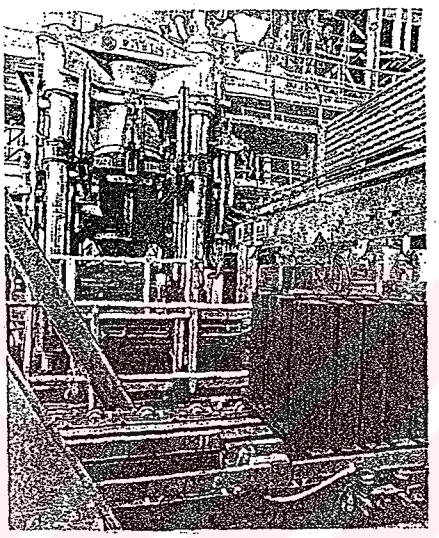
80 kilogram olarak tesbit edilen harman miktarı, gerekli tane boyutlarına kırılıp öğütüldükten sonra elek analizleri yapılır. Çizelge 8.17.'da gösterilen miktarlardaki sinter magnezit ve konsantre kromit cevherleri tartılıp miksere karıştırılmak üzere konulur. Tanelerin birbirleriyle bağ oluşturmasını ve iyi preslemeyi sağlayabilmek için % 2.5 $MgSO_4.7H_2O$ çözeltisi ilave edilir ve 10 dakika karıştırılır. Homojen bir karışım sağlandıktan sonra, kimyasal analiz yapabilmek için 1 kg numune alınır.

Çizelge 8.17. Üretilecek N3 tuğlasının harman karışımı için gerekli cevher miktarları.

Tane boyutu (mm)	N3					
	sinter magnezit		kromit cevheri		toplam	
	gr	%	gr	%	gr	%
-4.75 + 4	4000	5	--	--	4000	5
-4 + 3.35	6400	8	--	--	6400	8
-3.35 + 2	11200	14	--	--	11200	14
-2 + 1	11200	14	3200	4	14400	18
-1 + 0.5	14400	18	2400	3	16800	21
-0.5 + 0.1	10400	13	1600	2	12000	15
-0.1 + 0.063	8800	11	--	--	8800	11
-0.063	6400	8	--	--	6400	8
Toplam	72800	91	7200	9	80000	100

8.6. Presleme

Hazırlanan harman, 1150 kg/cm^2'lik basınçla preslenir. Presleme basıncına üç aşamada çıkılır. Şekil 8.3.'de hazırlanan harman numunesine şekil vermede kullanılan pres görülmektedir.



Şekil 8.3. Hazırlanan harman numunesine şekil vermede kullanılan pres.

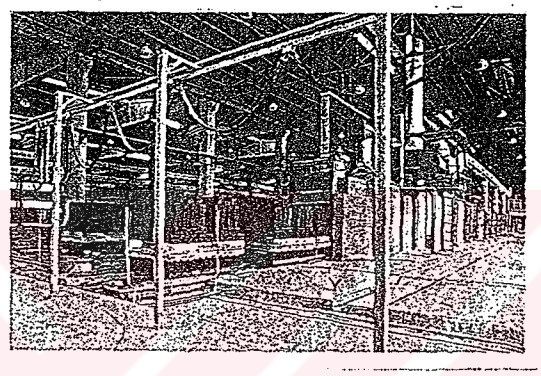
8.7. Kurutma

Kurutmanın amacı, tuğla bünyesinde bulunan bünye nemini uzaklaştırarak pişirme sırasında tuğlanın çatlamasını önlemektir.

Preslenen tuğla kurutulmak üzere vagonlara yerleştirilir. 26.4 metre uzunluğundaki tünel fırın kurutucunun kapasitesi 11 vagondur. Tünel fırın kurutucusunda 100 °C ile 480 °C arasındaki sıcaklıkta kurutulan tuğlalar pişirilmek üzere pişirme fırınına doğru hareket eder.

8.8. Pişirme

Kurutulmuş tuğlalar pişmek üzere pişirme fırınına hareket eder. Maksimum 1620 °C'e sıcaklıkta pişirilen tuğlalar 79.20 metre uzunluğundaki fırını ortalama 72 saatte terk eder. Şekil 8.4.'de şekillendirilmiş tuğlaları pişirmede kullanılan fırın görülmektedir.



Şekil 8.4. Şekillendirilmiş tuğlaları pişirmede kullanılan fırın.

8.9. Tuğlada Yapılan Testler

N90, P15 ve Perileks 83 tuğlalarının fiziksel analiz değerleri çizelge 8.18.'de toplu olarak verilmiştir. Bu değerlerin yorumu ileride yapılacaktır. Burada sadece fiziksel analiz değerleri toplu olarak gösterilmiştir.

Çizelge'de gösterilen N90, paketleme yoğunluk değerlerine göre seçilmiş, N3 reçetesine göre üretilen tuğlaya verilen kod isim'dir. N90 adı ile üretilen tuğlaların fiziksel analizleri üç'er defa tekrarlanmıştır. Yapılan birinci analiz sonuçları N90-1 adıyla, ikinci analiz sonuçları N90-2 adıyla ve üçüncü analiz sonuçları N90-3 adıyla verilmiştir.

Çizelge 8.18. Tuğlaların fiziksel analiz değerleri.

	Bulk yoğunluk gr/cm^3	Görünür porozite %	ısı iletkenliği kcal/m.°C.h 500-1000°C	soğukta basınç mukavemeti kg/cm^2	lineer uzama 1000-1400 °C %	Yük altında refrakterlik T_a °C
N90-1	3.04	15.30	1.82-2.0	511	1.26-1.94	>1600
N90-2	3.01	16.18	1.94-2.5	500	1.32-2.02	>1600
N90-3	3.02	16.17	1.90-2.4	504	1.30-2.00	>1600
N90 *	3.02	15.92	1.89-2.3	505	1.26-1.94	>1600
P15	3.05	15.67	1.85-2.0	344	1.20-1.70	1510
Pr83**	2.95-3.05	16-18	2.40-3.5	441	1.25-1.85	1650

* Ortalama değerler
** Katalog değerleri

8.9.1. Kimyasal Analiz

N90, P15 ve Pr83 tuğlalarının kimyasal analiz değerleri Çizelge 8.19.'de gösterilmiştir. Kimyasal analiz değerlerine bakıldığında N90 tuğlasındaki kromit miktarı ile Pr83 tuğlasındaki kromit miktarları birbirlerine yakın değerler göstermektedir. P15 tuğlasının kromit miktarı diğerlerinin iki katına yakın değerdedir. Pr83 tuğlasındaki demir miktarı N90 ve P15 tuğlalarının demir miktarlarından çok fazladır. N90 tuğlasındaki Fe_2O_3 ve Al_2O_3 miktarları, Pr83 tuğlası değerleri kadar artırıldığında Pr83 tuğlasının kimyasal analiz değerlerine yaklaşılmış olunacaktır. Kimyasal analizlerin yapılışı Ek.8.'de verilmiştir.

Çizelge 8.19. Tuğlaların kimyasal analiz değerleri.

Ürün Adı	MgO %	CaO %	SiO_2 %	Cr_2O_3 %	Fe_2O_3 %	Al_2O_3 %
N90	90.10	1.73	1.70	4.16	1.22	1.09
P15	81.99	2.10	1.88	7.90	2.75	3.38
Pr83	79.67	3.75	1.08	3.92	7.63	3.95

8.9.2. Bulk Yoğunluğu

Bulk yoğunluğu'nun birimi gr/cm^3'dür. Deney sonucunda alınan bulk yoğunluk değerleri Çizelge 8.20.'de gösterilmiştir. Bulk yoğunluk değerleri sırasıyla en iyi N90-1, N90-3 ve N90-2 tuğlalarında görülmektedir. Tuğlaların bulk yoğunluk değerleri arasında çok fazla fark yoktur. N90 tuğlalarında yapılan bulk yoğunluk deneylerinde alınan sonuçlar P15 ve Pr83 tuğlalarının bulk yoğunluk değerleri ile yakın değerler göstermektedir.

Çizelge 8.20. Tuğlaların bulk yoğunluk değerleri.

	N90-1	N90-2	N90-3
Bulk yoğunluğu - gr/cm^3	3.04	3.01	3.02

8.9.3. Görünür Porozite

Görünür porozite değerleri Çizelge 8.21.'de gösterilmiştir. Pr83 tuğlası için yeteri kadar numune sağlamak mümkün olmadığı için porozite değeri hesaplanamamıştır. Verilmiş olan porozite değeri katalogdan alınmıştır. N90 tuğlalarının porozite değerleri hesaplanmış ve Çizelge 8.21.'de verilmiştir.

Porozite değerleri büyükten küçüğe doğru, N90-2, N90-3, N90-1 tuğlalarının değerleri verilebilir. Bu sonuçlara göre N90 tuğlalarının porozite değerleri, P15 ve Pr83 tuğlalarının değerlerine göre arada bir yer gösterir.

Çizelge 8.21. Tuğlaların görünür porozite değerleri.

	N90-1	N90-2	N90-3
Görünür porozite %	15.30	16.18	16.17

8.9.4. Isı İletkenliği

N90 tuğlalarının ısı iletkenlik değerleri Çizelge 8.22.'de verilmiştir. Elde edilen değerler P15 tuğlası ile aynı değerleri gösterirken Pr83 tuğlasından düşük değer göstermektedir.

Çizelge 8.22. Tuğlaların ısı iletkenlik değerleri.

	N90-1 500-1000 °C	N90-2 500-1000 °C	N90-3 500-1000 °C
Isı iletkenliği (kcal/metre.°C.h)	1.82-2.0	1.94-2.5	1.90-2.4

8.9.5. Soğukta Basınç Mukavemeti

N90 tuğlalarının soğukta basınç mukavemet değerleri Çizelge 8.23.'de verilmiştir. Verilen bu değerler incelendiğinde, N90-1 tuğlasının mukavemet değeri 511 kg/cm^2 ile Pr83 ve P15 tuğlalarının çok yüksek mukavemet değeri göstermektedir.

Çizelge 8.23. Tuğlaların soğukta basınç mukavemet değerleri.

	N90-1	N90-2	N90-3
Soğukta basınç mukavemeti (kg/cm^2)	511	500	504

8.9.6. Lineer Uzama

Tuğlaların lineer uzama değerleri Çizelge 8.24.'de verilmiştir. Verilen bu değerler incelendiğinde, N90 tuğlalarının lineer uzama değeri ile P15 ve Pr83 tuğlalarının değerleri arasında fark olmadığı gözlenir.

Çizelge 8.24. Tuğlaların lineer uzama değerleri.

	N90-1 1000-1400 °C	N90-2 1000-1400 °C	N90-3 1000-1400 °C
Lineer Uzama %	1.26-1.94	1.32-2.02	1.30-2.00

8.9.7. Yük Altında Refrakterlik

Tuğlaların yük altında refrakterlik değerleri Çizelge 8.25.'de verilmiştir. Yük altında refrakterlik testi, test cihazı 1600 °C sıcaklığa kalibre edildiği için 1600 °C sıcaklığın üstüne çıkılamamıştır. Numune 1600 °C sıcaklıkta ve 34 kg/cm^2'lik yük altında deforme yada parçalanıp dağılmadan sağlamlığını muhafaza etmiştir. Dolayısıyla test sonunda alınan 1600 °C den büyük olarak ifade edilmiştir.

Çizelge 8.25. Tuğlaların yük altında refrakterlik değerleri.

	N90-1	N90-2	N90-3
Yük Altında Refrakterlik °C	>1600	>1600	>1600

9. SONUÇLAR

Taneler ile ilgili gözlenen sonuçlara göre, P15 tuğlasının kalitesinin iyileştirilmesi amacıyla yeni bir tuğla reçetesi hazırlayıp tuğla yapmaya karar verildi. Yapılan yeni tuğla N90 olarak isimlendirildi.

Üretilen N90 tuğlası ile P15 tuğlalarının fiziksel ve kimyasal analizleri, perileks 83 tuğlasının yalnızca (numune tuğla az bulunabildiği için) kimyasal analizi yapıldı. Perileks 83 tuğlasının fiziksel analiz değerleri katalogdan alınarak kıyaslamalar için kullanıldı.

Kimyasal analiz sonuçlarına göre önemli görülen değerler;

1 - N90 tuğlasının Al_2O_3 değeri %1.09'dur,

2 - N90 tuğlasının Fe_2O_3 değeri %1.22'dir. Bu değerler P15 ve perileks 83 tuğlalarının değerlerinden düşüktür. Bu değerlerin düşük olmasının porozite, soğukta basınç mukavemeti ve yük altında refrakterlik bakımından olumsuz etkisi görülmemiştir.

3 - N90 tuğlasının Cr_2O_3 değeri %4.16'dır. Bu değer Pr83 tuğlasının değerine yakın iken, P15 tuğlasının değerinin yaklaşık yarısı kadardır. Yük altında refrakterlik sağlamak için tuğla içine katılan kromit cevheri, P15 tuğlasına göre yaklaşık % 50 azaltılmış, buna rağmen de yük altında refrakterlik değeri P15 tuğlasının değerinin oldukça üzerine çıkılmıştır. Bu olumlu, kaydadeğer bir sonuçtur.

Fiziksel analiz sonuçlarına göre önemli görülen değerler;

1 - N90-1 tuğlasının bulk yoğunluk değeri 3.04 gr/cm^3, N90-2 tuğlasının bulk yoğunluk değeri 3.01 gr/cm^3, N90-3 tuğlasının bulk yoğunluk değeri 3.02 gr/cm^3'dür. Ortalama N90 tuğlasının bulk yoğunluk değeri 3.02 gr/cm^3'dür. N90 tuğlasının bulk yoğunluk değeri ile P15 ve Pr83

tuğlalarının bulk yoğunluk değerleri arasında pek fark yoktur. N90 tuğlasının bulk yoğunluk değeri iyi sonuç vermiştir.

2 - N90-1 tuğlasının görünür porozite değeri %15.30, N90-2 tuğlasının görünür porozite değeri %16.18, N90-3 tuğlasının görünür porozite değeri %16.17'dir. Ortalama N90 tuğlasının görünür porozite değeri %15.92'dir. N90 tuğlasının görünür porozite değeri ile P15 ve Pr83 tuğlalarının görünür porozite değerleri arasında pek fark yoktur. N90 tuğlasının görünür porozite değeri iyi sonuç vermiştir.

3 - N90-1 tuğlasının ısı iletkenlik değeri 500 °C'de 1.82 kcal/metre.°C.h ve 1000 °C'de 2.0 kcal/metre.°C.h, N90-2 tuğlasının ısı iletkenlik değeri 500 °C'de 1.94 kcal/metre.°C.h ve 1000 °C'de 2.5 kcal/metre.°C.h, N90-3 tuğlasının ısı iletkenlik değeri 500 °C'de 1.90 kcal/metre.°C.h ve 1000 °C'de 2.4 kcal/metre.°C.h'dir. Bu değerler P15 ve Pr83 tuğlalarının değerlerine yaklaşık eşit durumdadır. N90 tuğlalarının bulk yoğunluk değerleri de pozitif sonuç vermiştir.

4 - N90-1 tuğlasının soğukta basınç mukavemeti değeri 511 kg/cm^2, N90-2 tuğlasının soğukta basınç mukavemeti değeri 500 kg/cm^2, N90-3 tuğlasının soğukta basınç mukavemeti değeri 504 kg/cm^2'dir. Ortalama N90 tuğlasının soğukta basıç mukavet değeri 505 kg/cm^2'dir. Bu sonuç P15 ve Pr83 tuğlalarının rakamlarıyla kıyaslandığıda P15'den %47, Pr83'den %15 daha fazladır. Bu da N90 tuğlasının, yüksek sıcaklık altında, yüksek darbe ve basıçlara karşı dayanım göstereceğini ifade etmektedir. Böylece N90 tuğlası, magnezit-krom tuğladan istenen en önemli birinci şartı yerine getirmiş olmaktadır. N90 tuğlası, P15 ve Pr83'den çok daha iyi bir sonuç vermiştir.

5 - N90-1 tuğlasının lineer uzama değeri 1000 °C'de %1.26 ve 1400 °C'de %1.94, N90-2 tuğlasının lineer uzama değeri 1000 °C'de %1.32 ve 1400 °C'de %2.02, N90-3 tuğlasının lineer uzama değeri 1000 °C'de %1.30 ve 1400 °C'de %2.00 dır. Bu değerler, P15 ve Pr83 tuğlalarının değerleri ile yaklaşık aynıdır. N90 tuğlalarının lineer uzama değerleri de olumlu sonuç vermiştir.

6 - N90-1 tuğlasının yük altında refrakterlik değeri >1600 °C, N90-2 tuğlasının yük altında refrakterlik değeri >1600 °C, N90-3 tuğlasının yük altında refrakterlik değeri >1600 °C'dir. Yük altında refrakterlik testi, yüksek sıcaklık altında ve yüksek basıçta malzemenin yumuşayıp, şekil değiştirip deforme olup olmayacağının tesbitini yapar. N90 tuğlalarının test edildiği, test cihazı 1600 °C sıcaklığa kalibreli olup, daha yüksek sıcaklığa çıkamayınca, numunenin daha yüksek sıcaklıklarda davranışı tesbit edilememiştir. Numune 1600 °C sıcaklıkta mükemmel bir davranış göstermiştir. Dolayısıyla biz sonuçları 1600 °C den büyük olarak isimlendirdik. Değerler, P15 ve perileks 83 tuğlalarının değerleriyle kıyaslandığında oldukça iyi bir sonuç alındığı söylenebilir.

Buraya kadar ayrıntılı olarak irdelediğimiz sonuçları kısa ve öz olarak ifade edecek olursak, tane iriliğinin değiştirilmesiyle elde edilen N90 tuğla reçetesinin ve bu reçeteden üretilen tuğlanın olumlu sonuç verdiği ve bütün test sonuçlarının da olumlu olduğu söylenebilir.

10. ÖNERİLER

Bundan sonra yapılacak çalışmalar için, çalışılmış olan tane dağılının kimyasal içeriğindeki Fe_2O_3 ve Al_2O_3 miktarları artırılarak pişme durumu, 0.

Çalışılmış tane dağılımına bağlı kalınarak yoğunluğun artırılması dolayısıyla porozitenin azaltılması,

Tuğla içine katılan krom cevherinin % oranlarının artırılması, kullanılacak krom cevherinin kalitelerinin değiştirilerek uygulanması ve Fe_2O_3, Al_2O_3 bakımından zengin içerikli krom cevheri kullanılarak denemeler yapılması,

Kullanılan cevherlerin kimyasal özelliklerine göre oluşan fiziksel özelliklerin kontrolünün bilgisayar yardımıyla yapılması önerilir.

KAYNAKLAR DİZİNİ

Bahadır, E., Döner fırınlarda klinker pişirme tekniği, Çitosan Yayını, Ankara, 134 s.

Çelik, H., 1988, Kütahya Magnezit Anonim Şirketi Hizmet İçi Eğitim Kursu Notları, Kümaş Kütüphanesi, Yayınlanmamış, Kütahya.

Çitosan Refractories, Katalog, Çitosan Yayını, Ankara, 8 s.

1987, Gaziantep Çimento Sanayi T.A.Ş. Teknik Eğitim Raporu, Ankara, 105 s.

Gilchrist, J.D., 1970, Yakıtlar ve refrakter malzemeler, (Çev. M. Çiğdemoğlu), Makina Mühendisleri Odası Yayını, Yayın no : 51, Ankara, 104-161 s.

Kaya, M., 1993, Magnezit ve bazik refrakterler teknolojisi, Anadolu Üniversitesi Yayını, Yayın no: 450, Eskişehir, 290 s.

Kibar, Z., 1987, Refrakter üretim teknolojisi, Çitosan Yayını, Ankara, 117 s.

Koçer, V., Refrakter malzemeler ve özellikleri, Kimya Mühendisleri Odası Zonguldak Şubesi Yayını, Bilgi Dizini no : 9, Zonguldak, 1-20 s.

Özden, N., 1982, Refrakter malzemeler ve döner fırın ateş tuğlaları, Türkiye Çimento Sanayi A.Ş. Yayını, Ankara, 117 s.

EKLER

Ek.1. Refrakter Malzemelerin Sınıflandırılması

Ek.2. Gaziantep Çimento A.Ş. Üretim Akım Şeması

Ek.3. Yatay Döner Fırın ve Fırın Bölgelerinin Şematik Gösterimi

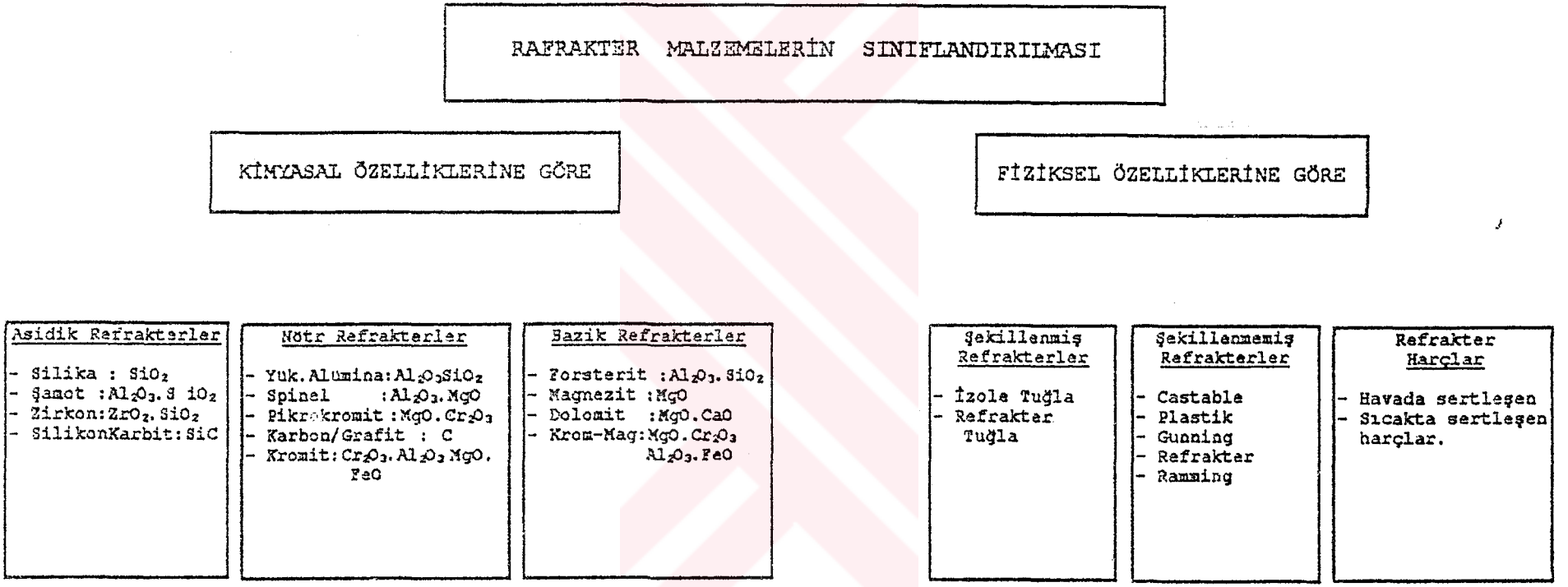
Ek.4. Çimento Yatay Döner Fırın Bölgelerinde Kullanılan Tuğlalar ve Tuğlaların Özellikleri

Ek.5. Deniz Suyundan Magnezit Üretimi Akım Şeması

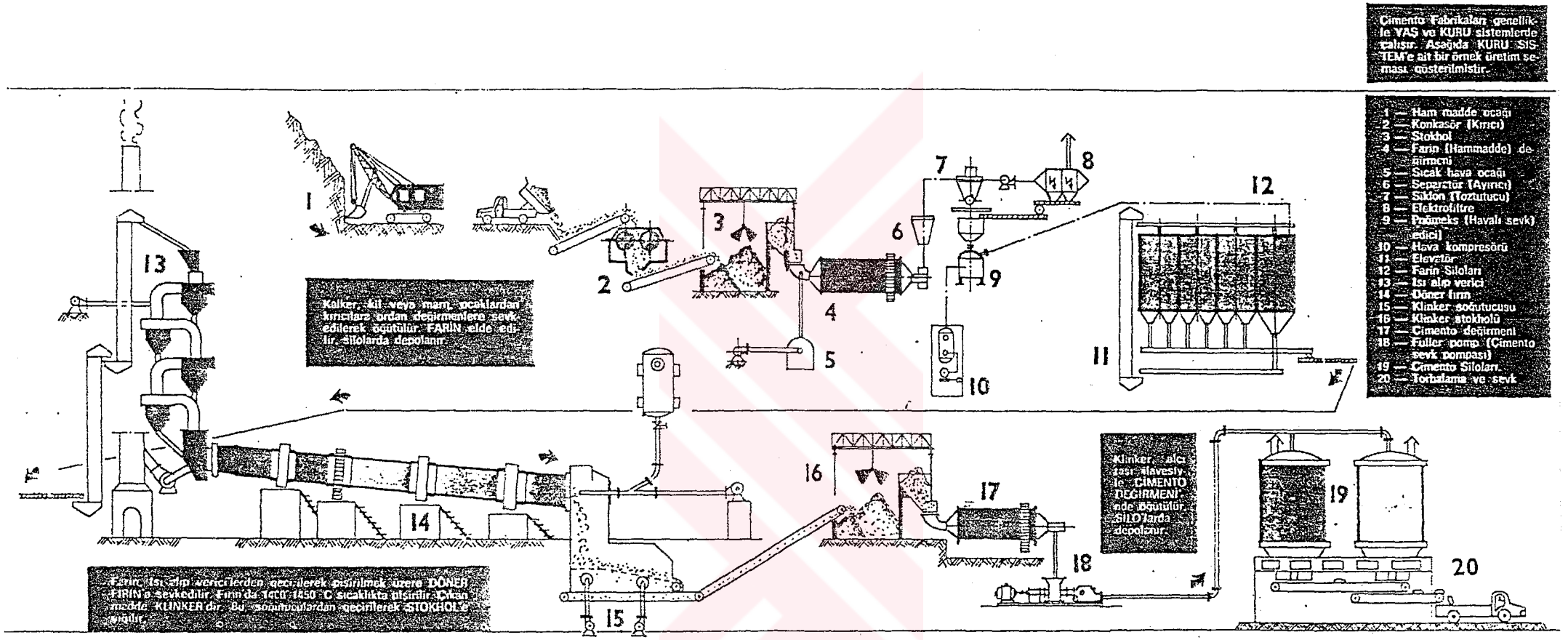
Ek.6. Magnezit-Krom Tuğlalarda Aranan Özellikler

Ek.7. MgO-CaO-SiO_2 Üçlü Faz Diyagramı

Ek.8. Kimyasal Analizlerin Yapılışı

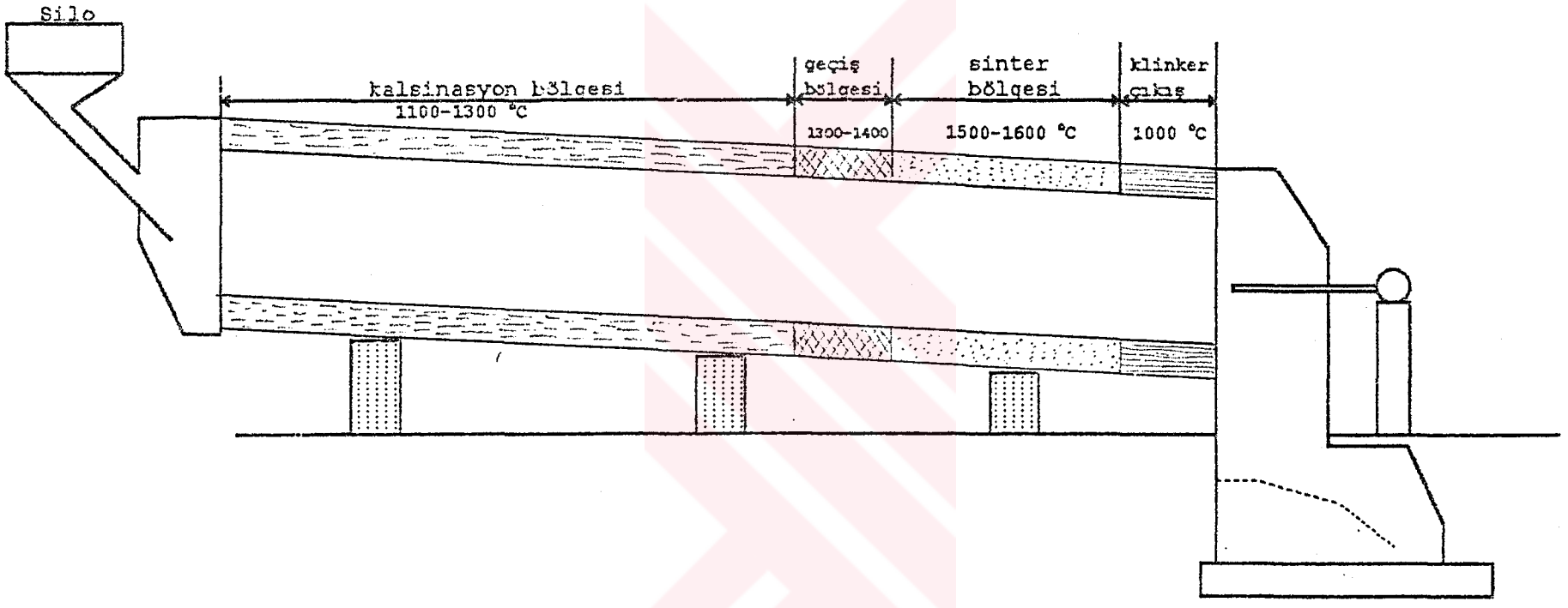


Ek.1. Refrakter malzemelerin sınıflandırılması



Ek.2. Gaziantep Çimento A.Ş. Üretim Akım Şeması

YATAY DÖNER FIRIN



Ek.3. Yatay Döner Fırın ve Fırın Bölgelerinin Şematik Gösterimi

Çimento Yatay Döner Fırın Bölgelerinde Kullanılan Tuğlalar ve Tuğlaların Özellikleri

Kalsinasyon Bölgesi (850-1300°C)

1 - Kalsinasyon bölgesinde kullanılacak tuğlalardan istenen özellikler;

a-yuksek izole kabiliyeti,
b-yuksek sıcaklığa dayanım,
c-yuksek aşınma dayanımı.

2 - Kullanılan tuğlaların özellikleri
- a - Al_2O_3 = %39 - 42
- b - porozite = %20 - 24
- c - hacım ağırlığı=1.9-2.1
- d - SBM > 225 kg/cm²
- e - Ta = 1380 °C
- f - SK = 31 / 32

Geçiş Bölgesi (1300-1400 °C)

1 - Geçiş bölgesinde kullanılacak tuğlalardan istenen özellikler;

a-yuksek sıcaklığa dayanım,
b-sızabilecek sıvı faza karşı kimyasal dayanım,
c-kabuk oluşumuna karşı dayanım,
d-aşınmaya karşı dayanım,
e-termal şoka karşı dayanım.

2 - Kullanılan tuğlaların özellikleri
- a - MgO = %60-65
- b - Cr_2O_3 = %12-14 (P35)
- c - porozite = %21
- d - hacım ağırlığı=2.85-2.95
- e - SBM = 450 kg/cm²
- f - Ta > 1600 °C
- g - SK = 42

Sinter Bölgesi (1500-1600 °C)

1 - Sinter bölgesinde kullanılacak tuğlalardan istenen özellikler;
- a - yuksek sıcaklığa dayanım,
- b - sıvı faza karşı kimyasal dayanım,
- c - kabuk oluşumuna karşı dayanım,
- d - yeteri kalınlıkta kabuk oluşumu,
- e - aşınmaya karşı dayanım,
- f - termal şoka karşı dayanım.

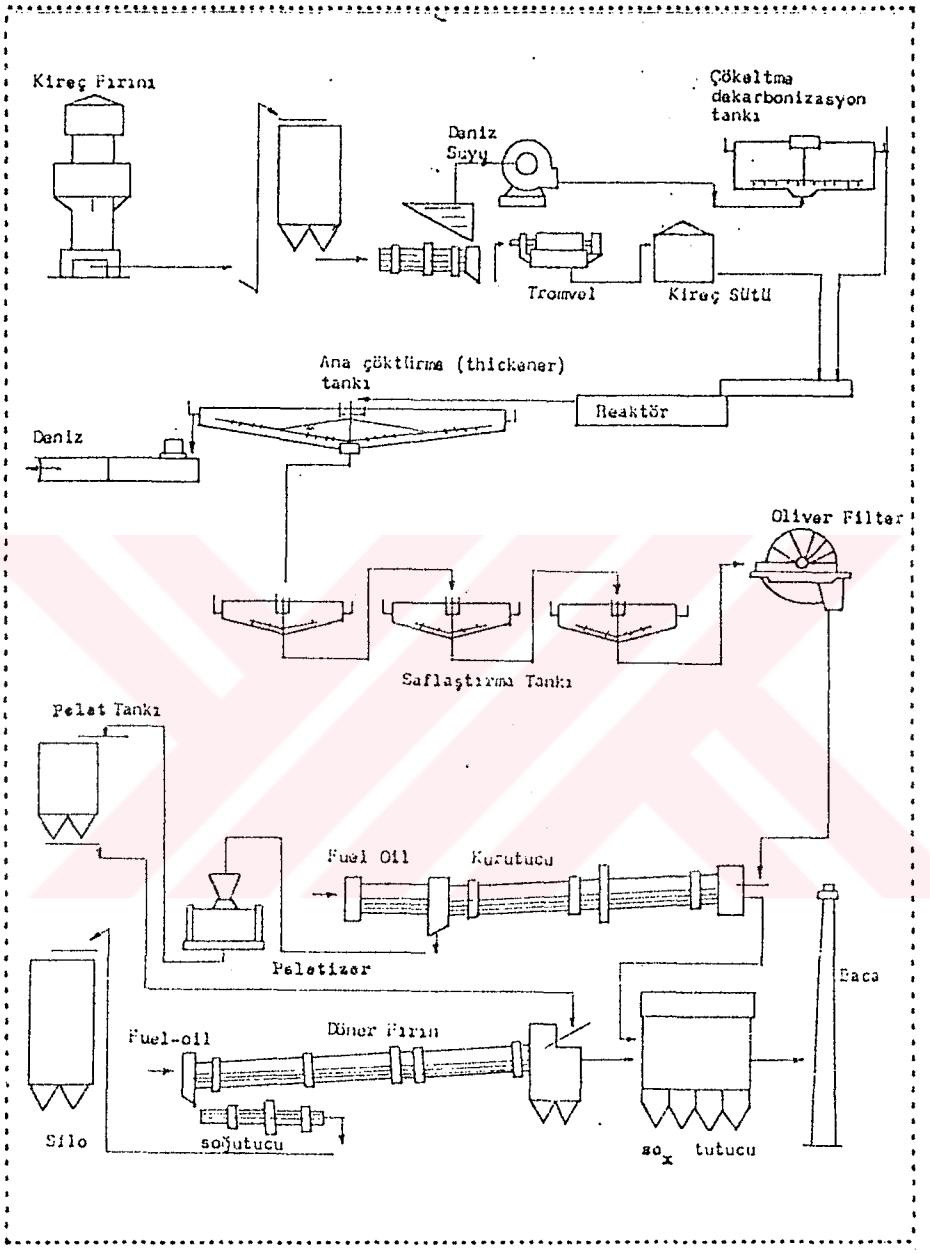
2 - Kullanılan tuğlaların özellikleri
- a - MgO = %77-80
- b - Cr_2O_3 = %6-8 (P15)
- c - porozite = %17-21
- d - hacım ağırlığı=2.95-3.05
- e - SBM = 400 kg/cm²
- f - Ta = 1600 °C
- g - SK = ...

Klinker Çıkış Bölgesi(1100-900 °C)

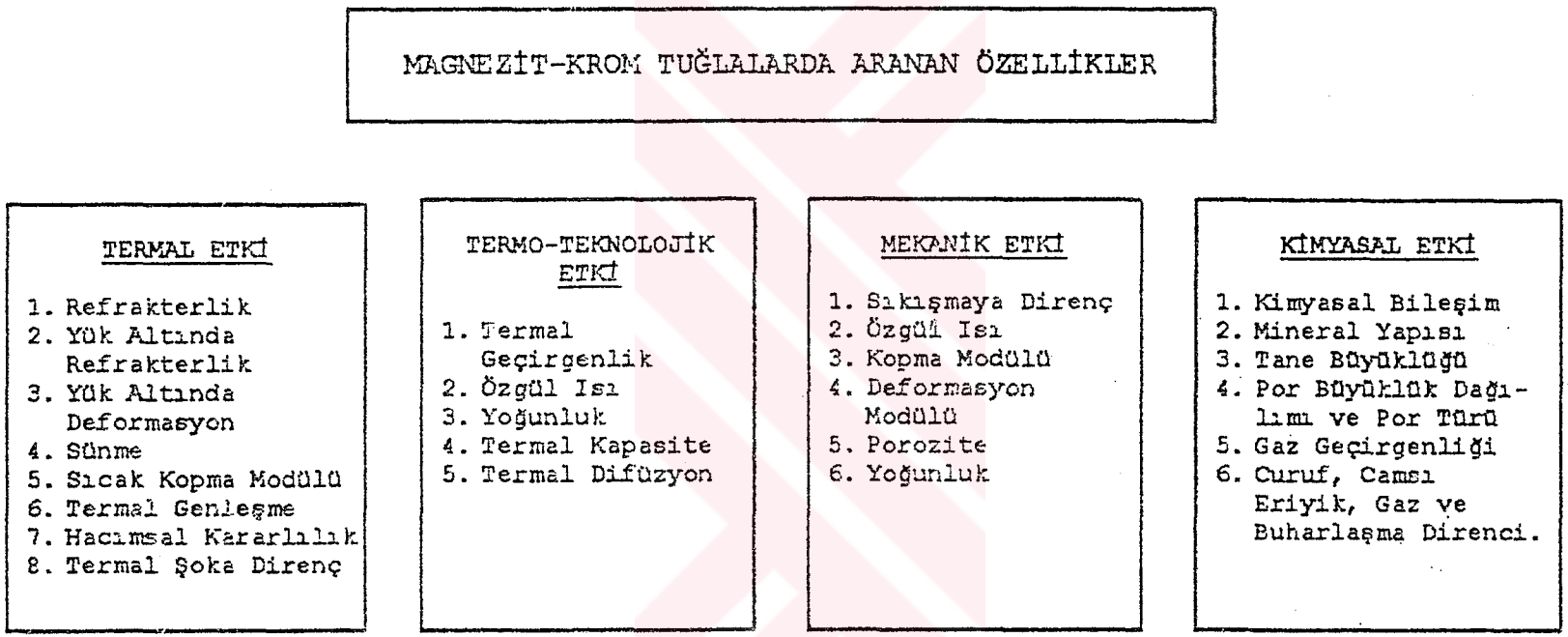
1 - Klinker çıkış bölgesinde kullanılacak tuğlalardan istenen özellikler;
- a - yuksek sıcaklığa dayanım,
- b - sıvı faza karşı kimyasal dayanım,
- c - kabuk oluşumuna karşı dayanım,
- e - aşınmaya karşı dayanım,
- f - termal şoka karşı dayanım.

2 - Kullanılan tuğlaların özellikleri
- a - Al_2O_3 = %50-55
- b - porozite = %20-24
- c - hacım ağırlığı=2.1-2.3
- d - SBM = 300 kg/cm²
- e - Ta = 1480 °C
- f - SK = 35/36

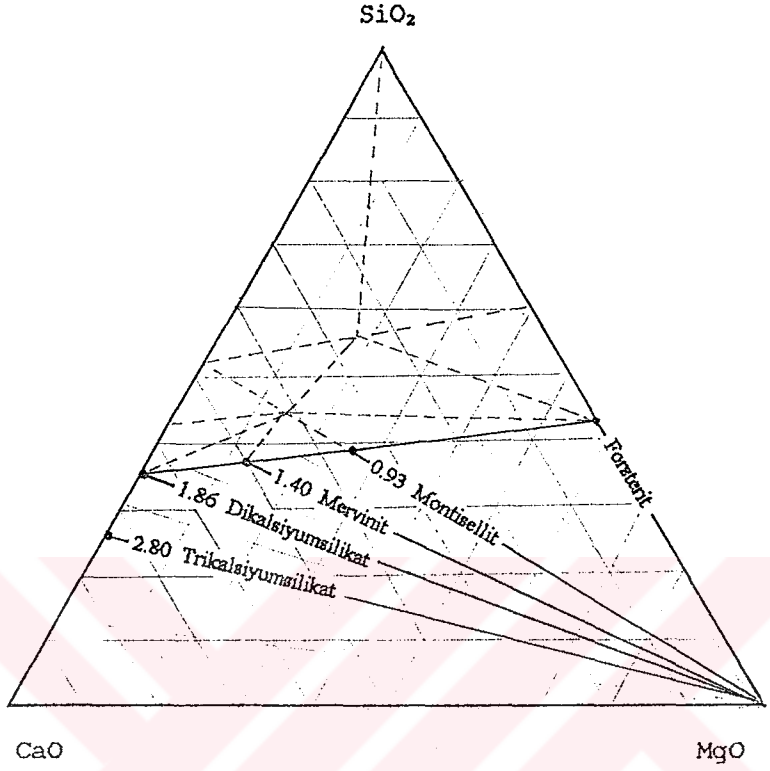
Ek.4. Çimento Yatay Döner Fırın Bölgelerinde Kullanılan Tuğlalar ve Tuğlaların Özellikleri



Ek.5. Deniz Suyundan Magnezit Üretimi Akım Şeması



Ek. 6. Magnezit-Krom Tuğlalarda Aranan Özellikler



$MgO-CaO-SiO_2$ üçlü faz diyagramı

Noka no	oluşan fazın adı	C/S	sembol gösterimi	oluşan fazın formülü
1	Forsterit	0.00	M_2S	$2MgO.SiO_2$
2	Montisellit	0.93	CMS	$CaO.MgO.SiO_2$
3	Mervinit	1.40	C_3MS_2	$3CaO.MgO.2SiO_2$
4	Dikalsiyumsilikat	1.86	C_2S	$2CaO.SiO_2$
5	Trikalsiyumsilikat	2.80	C_3S	$3CaO.SiO_2$
6	Kireç	> 2.80	C	CaO

C/S oranına göre pişirme sırasında tuğla bünyesinde oluşan fazlar

Ek.7. $MgO-CaO-SiO_2$ üçlü faz diyagramı

Ek.8. Kimyasal analizlerin yapılışı

SİLİS (SiO_2) TAYİNİ:

1 gr numune 250 ml'lik porselen kapsülde 1-2 ml su ile ısıtılıp üzerine d=1.61'lik 5 ml $HClO_4$ (perklorat asidi) konup, kum banyosunda koyu hamur halini alıncaya kadar karıştırılır. Kum banyosundan alınıp soğutulan kapsüle 50 ml sıcak su ve 5 ml HCl konup hafifçe ısıtılır ve süzülür. Bu süzüntü 1-2 damla $HClO_4$ ile asitlendirilmiş 1 lt destile su ile yıkanarak süzülür, daha öncekiler gibi yakılıp tartılır ve toplam siis bulunur.

DEMİR OKSİT (Fe_2O_3) TAYİNİ:

1 gram numune bir behere konup üzerine 40 ml soğuk su, 15 ml HCl ilave edilir. Sıcak çözelti oda sıcaklığına geldiğinde, sarı rengi gidinceye kadar damla damla SnC_2 çözeltisi damlatılarak 10 ml $HgCl_2$ çözeltisi ilave edilir. Bu durumda çözelti beyaz bulanıklık alır. Çözelti karıştırılıp üzerine 15 ml (H_3PO_4+H_2SO_4) karışımı konur. 3 damla difenilamin damlatılarak 150 ml'ye sulandırılır. Çözelti koyu mavi rengi alıncaya kadar standart $K_2Cr_2O_7$ çözeltisi ile titre edilir. Neticede Fe_2O_3 yüzdesi,

% Fe_2O_3 = (0.004)xm/(tartım)x100 hesabıyla bulunur.

m: $K_2Cr_2O_7$ sarfiyatı

ALÜMİNYUM OKSİT (Al_2O_3) TAYİNİ:

Alüminyum oksit tayini, R_2O_3.(Al_2O_3+Fe_2O_3) tayininin yapılması ve bundan Fe_2O_3'ün çıkarılması ile bulunur.

Ek.8. Kimyasal analizlerin yapılışı (devam)

R_2O_3 TAYİNİ:

Silis tayini sırasında ayrılan süzüntüden 100 ml alınıp 5-10 ml bromlu su ve 10-15 ml hidroklorit asit katılıp bromlu suyun tamamı uçuncaya kadar kaynatılır. Sonra indikatör olarak bir kaç damla bromtimol mavisi ile renk sarıya dönünceye kadar (1+1) oranında seyreltilmiş amonyak çözeltisi damla damla katılarak demir ve alüminyum hidroksitleri çöktürülür. Bir dakika kadar kaynatılıp çökelmesinin tamamlanması bekletilip, geniş gözenekli bir süzgeç kağıdından süzülür. Çözelti amonyum nitratlı sıcak su ile bir kaç kez yıkanır. Çözelti süzgeç kağıdı ile behere konur ve sıcak HCl ile (1+2) oranında çözülür. Yaklaşık 100 ml'ye seyreltilir. Tekrar çöktürülüp süzülür ve yıkanır. İki süzüntü birleştirilip kalsiyum tayini için saklanır.

Çözelti tartımı bir platin krozeye kunulup süzgeç kağıdı yanıncaya kadar hafif ateşe tutulur. Sonra 1050-1100 °C'luk fırında sabit tartım kadar kızdırılır. Desikatörde soğutulup tartılır. Buradan,

% R_2O_3 = (son tartım)/(ilk tartım)x100x2.5 şeklinde bulunur.

Al_2O_3 tayini; $\%Al_2O_3 = \%R_2O_3 - Fe_2O_3$ şeklinde bulunur.

KALSİYUM OKSİT (CaO) TAYİNİ:

Kalsiyum oksit tayini iki şekilde yapılmaktadır. Biri gravimetrik metod, diğeri volimetrik metod'dur. Gravimetrik metod ile CaO tayini:

R_2O_3 tayini sırasında saklanan süzüntü ateşe konur. Kaynatılarak 150-200 ml kalıncaya kadar buharlaştırılır. Çözelti NH_3 ile kalevilendirilir. İndikatör olarak metil kırmızısı veya bromtimol

mavisi kullanılır. Sonra bir kaç damla NH_3 damlatılıp içerisine 25 ml sıcak olarak 100 gr'a 1 lt.'lik $(NH_4)_2Cr_2O_4$ çözeltisi damla damla aktarılıp karıştırılır. Çözeltinin durulmasından sonra berrak kısma birkaç damla daha $(NH_4)_2Cr_2O_4$ damlatılır. Bu durumda berrak kısım ayrı kalmalıdır. Çözelti tam olmamışsa berrak kısımda bulanıklık meydana gelir. Buna bir miktar oksalat çözeltisi ilave edilerek çökme için iki saat beklenir.

Çökme tamamlanınca mavi bant süzgeç kağıdından süzülüp (1+1) lik ılık oksalat çözeltisiyle yıkanır. Eğer MgO %'si fazla ise CaO tayinin daha hassas olması için çözelti seyreltik asitle çözülerek çift çöktürme yapılır. Çözelti bir krozeye konup önce hafif, sonra kuvvetli ateşte kızdırılıp 1000 °C'lik bir fırına konarak Cr_2O_4'ün CaO_2'ye dönüşmesi sağlanır. Fırından alınıp desikatörde soğutulur ve tartım yapılır. Netice CaO %'si,

%CaO = (son tartım)/(ilk tartım)x100 şeklinde bulunur.

MAGNEZYUM OKSİT (MgO) TAYİNİ:

CaO tayininden kalan çözelti seyreltik HCl ile asitlendirilir. 150-200 ml kalıncaya kadar buharlaştırılır. (250 gr/lt)'lik 10 ml $(NH_4)_2HPO_4$ çözeltisi konup buz banyosunda soğutulur. Çöktürme esnasında devamlı karıştırılır. Çözeltinin %5'i kadar NH_3 konup 12 saat bekletilir. Daha sonra mavi bant süzgeçten süzülüp Cl reaksiyonu vermeyinceye kadar NH_4NO_3 çözeltisi ile yıkanır. Çözelti porselen krozeye konup 900°C'un altında sabit tartım kadar yakılır. Oda sıcaklığında soğutulur ve tartılır. Neticede,

%MgO = (0.3625xm)/(tartım)x100x2.5 şeklinde bulunur.

Burada; 0.3625:$Mg_2P_2O_7$'nin MgO'e çekilme faktörü, m:$Mg_2P_2O_7$ tartımı'dır.