

17498

MAGNEZİTİN KALSİNASYON + GRAVİTE YÖNTEMİ (AĞIR ORTAM)  
İLE ZENGİNLEŞTİRİLMESİ

Celâl Özcan

Yüksek Lisans Tezi

Maden Mühendisliği Anabilim Dalı

1992

Danışman: Yard. Doç. Dr. Muammer KAYA

MAGNEZİTİN KALSİYASYON + GRAVİTE YÖNTEMİ (AĞIR ORTAM) İLE  
ZENGİNLEŞTİRİLMESİ

Celâl ÖZCAN

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

Danışman : Yard. Doç. Dr. Muammer KAYA

Ekim - 1992

Celal Özcan'ın YÜKSEK LİSANS tezi olarak hazırladığı "Magnezit'in Kalsinasyon + Gravite Yöntemi (Ağır Ortam) ile Zenginleştirilmesi" başlıklı bu çalışma, jürimizce lisansüstü yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

..16../10/1992

Üye : Prof. Dr. Rifat BOZKURT

Üye : Doç. Dr. Hüseyin ÖZDAĞ

Üye : Yard. Doç. Dr. Muammer KAYA

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun .....23.....EKİM.....1992..... gün  
ve .....330-12..... sayılı kararı ile onaylanmıştır.

Prof. Dr. Rüstem KAYA  
Enstitü Müdürü

## ÖZET

Bu çalışmada Konya Krom Magnezit Tuğla Sanayinin yüksek dolomitli ve düşük demir-silisli Argıt magnezit cevherinin dereceli kalsinasyondan sonra boyut küçültme, yıkama ve gravite yöntemiyle zenginleştirilme olanakları laboratuvar ölçeğinde incelenmiştir.

İlk olarak 500-900°C'de arasında kalsinasyon+öğütme zenginleştirilmesi test edilmiştir. İstenilen seçimli ayırma başarısızdır.

Daha sonra 600-800°C'de kalsine edilen magnezit dört boyut fraksiyonunda ağır ortam ayırmasına tabi tutulmuştur. 600°C'de kalsinasyonda ince ve orta iriliklerdeki boyutlarda en iyi ortam yoğunluğu 2.1 gr/cm<sup>3</sup> ve en iri boyutta 1.9 gr/cm<sup>3</sup> bulunmuştur. Tüm taneler iki aşamada ortam yoğunluğu ayarlanarak kazanılabilir. 700°C'de kalsinasyonda en iyi ortam yoğunluğu 2.1 ve 800°C'de 2 gr/cm<sup>3</sup> olarak bulunmuştur. Kalsinasyon+ağır ortam zenginleştirilmesinde en iyi sonuçlar 800°C'de elde edilmiştir. Bu şartlarda MgO batmış ve CaO yüzmüştür.

Numunenin kütsel olarak %9'unu teşkil eden +4 meş fraksiyonunda, batan MgO tenörü %57'den %60.2'ye %85 randımanla çıkmış ve CaO %6.2'den %1.68'e %78 redle düşmüştür. Bu boyutta seçimlilik(MgO-CaO randıman farkı) maksimumdur.

Numunenin %42'sini teşkil eden -4+10 meş fraksiyonunda, batanda MgO tenörü %63.4'den %65.1'e %88 randımanla çıkarken, CaO tenörü %2.7'den %1.8'e %60 redle düşmüştür.

%31'i teşkil eden -10+25 meş fraksiyonunda, batanda MgO %53.9'dan %54.2'ye %96 randımanla çıkmış ve CaO %2.8'den %1.8'e %38 redle düşmüştür.

Kalsinasyon+ağır ortam zenginleştirilmesi orijinal kalsine edilmemiş numuneye göre %50 ve kalsine edilmişe göre %76'lık CaO tenör düşüşü sağlamıştır. Seçimlilik boyut irileştikçe artmaktadır.

Son olarak kalsinasyon+yıkama+eleme testleri yapılmış ve en iyi sonuçlar 800°C'de kalsinasyonda -4+10 meş boyutu da elde edilmiştir. CaO tenörü %3.4'den %1.2'ye düşerken MgO tenörü %72'den %76'ya çıkmıştır. Bu şartlarda MgO randımanı %88'in üzerinde ve CaO reddi ise %70'lerdedir.

Bu çalışma sonunda dereceli kalsinasyon+ağır ortam veya yıkama+eleme alternatiflerinin Argit cevheri için seçimli bir ayırma sağlayacağı bulunmuştur. Sonuçlarının pilot ölçekte test edilmesi tesis için optimum şartlarının belirlenmesi için gereklidir.

## SUMMARY

In this study, the possibility of grinding, washing and gravity concentration after partial calcination of Argit magnesite ore which contains high dolomite and low iron and silicic gangue, from Konya chrome Magnesite and Brick Works was investigated in laboratory scale.

First, 500-600°C calcination+grinding was tested. Unfortunately, the desired selectivity was not achieved.

Then, 600-900°C calcined magnesite was concentrated at four size fraction by heavy medium separation. The best medium density were 2.1 gr/cm<sup>3</sup> for fine and medium sizes and 1.9 for coarse particles. All particles could be recovered in two steps by adjusting the medium density. At 700°C calcination, the best medium density was 2.1 and at 800°C, 2 gr/cm<sup>3</sup> calcination+heavy medium concentration, the best results were obtained at 800°C. Under this condition, MgO sinks and CaO floats.

At +4 mesh, which is 9% of the sample, MgO grade increased from 57% to 62% at a 85% recovery in sinks and CaO grade dropped from 6.2% to 1.68% at rejection of 78%. In this size fraction, selectivity(MgO-CaO recovery difference) was maximum.

At -4+10 mesh size fraction(42%), MgO grade increased from 63.4% to %65.1 at a recovery of 88% and CaO grade dropped from 2.7% down to 1.8% at 60% rejection.

At -10+25 mesh fraction(31%), MgO grade increased from 53.9% to 54.2% at 96% recovery and CaO grade decreased from 2.8% to 1.8% at 38% rejection.

Calcination+heavy media separation decreased CaO grade 50% depending on original uncalcined sample and 76% depending on calcined sample selectivity increases with increasing particle size.

Finally, calcination+washing+screening tests were performed. The best results were obtained at 800°C for -4+10 mesh size. MgO grade increased from 72% to 76% and CaO grade decreased from 3.4% down to 1.2%. Under this test condition, MgO recovery was 88% and CaO rejection 70%.

This study showed that it was possible selectively separate MgO and CaO by partial calcination+heavy medium or washing+screening. Optimum conditions should be determined after pilot-plant testing.

## TEŞEKKÜR

Tez çalışmam sürecinde olumlu tenkit ve uyarılarda bulunarak çalışmalarına yön veren, bütün çalışmalarımda büyük yardımını ve katkısını gördüğüm tez yöneticim Sayın Hocam Yrd. Doç. Dr. Muammer Kaya'ya, öneri ve fikirlerinden yararlandığım Sayın Hocam Doç. Dr. Hüseyin Özdağ'a teşekkür ederim.

Yüksek lisans tezim süresince maddi ve manevi desteğini gördüğüm aileme ve Sayın Dr. Yılmaz Turan'a teşekkür ederim.

Her konudaki yardımlarıyla çalışmama katkıları olan Ali Uçar'a, laboratuvar çalışmalarımda yardımını gördüğüm Kim. Yük. Müh. Selahattin Önçek'e ve Maden Yük. Müh. Sabiha Koca'ya teşekkür ederim.

Tezin yazımını büyük dikkat ve titizlikle yaparak bitirilmesine emek veren Maden Müh. Selma Büyükçiftçioğlu'na ve tabloların bilgisayarda düzenlenmesinde yardımcı olan Maden Müh. İbrahim Alp'e teşekkür ederim.



## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET .....	IV
SUMMARY .....	VI
TEŞEKKÜR .....	VIII
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	IX
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	X
1. GİRİŞ VE ÇALIŞMANIN AMACI .....	1
2. MAGNEZİT HAKKINDA GENEL BİLGİLER .....	3
2.1. Magnezyum Elementi ve Doğadaki Dağılımı .....	3
2.2. Magnezitle Beraber Bulunan Diğer Bazı Mineraller ve Özellikleri .....	7
2.3. Magnezyum Jeokimyası .....	8
2.4. Magnezit Yataklarının Oluşumu .....	10
2.4.1. Kriptokristalen magnezit veya jel magnezit yatakları .....	11
2.4.2. İri kristalli veya spatik magnezit yatakları .....	11
2.5. Prospeksiyon ve Arama Metotları .....	12
2.6. Türkiye Magnezit Yataklarının Özellikleri, Rezervleri ve Magnezit Üretimi .....	12
2.7. Dünyada Magnezit .....	15
2.8. Deniz Suyundan Magnezit Üretimi .....	18
2.9. Magnezit Cevherinin Zenginleştirilmesi .....	18
2.9.1. Elle ve otomatik optik cihazlarla ayırma ile zenginleştirme .....	19
2.9.2. Boyut küçültme ile zenginleştirme .....	19
2.9.3. Ağır ortam ayırması ile zenginleştirme .....	19
2.9.4. Elektrostatik ayırma ile zenginleştirme .....	20
2.9.5. Manyetik ayırma ile zenginleştirme .....	20
2.9.6. Hidratasyon yoluyla ayırma ile zenginleştirme .....	20
2.9.7. Dereceli kalsinasyon yoluyla ayırma ile zenginleştirme .....	21

## İÇİNDEKİLER (DEVAM)

	<u>Sayfa</u>
2.9.8. Kalsinasyon ve gravite yoluyla ayırma ile zenginleştirme .....	21
2.9.9. Flotasyon yoluyla ayırma ile zenginleştirme .....	21
2.10. Magnezitin Kullanım Alanları .....	22
2.10.1. Magnezyum bileşiklerinin kullanım alanları .....	22
2.10.2. Metalik magnezyum kullanım alanları .....	23
2.11. Magnezit Pazarlaması ve Satış Şartları .....	24
<b>3. DENEYSEL ÇALIŞMA VE SONUÇLARI .....</b>	<b>25</b>
3.1. Kalsinasyon ve Öğütme ile Zenginleştirme Deneyleri .....	25
3.1.1. Kalsinasyon+öğütme ile zenginleştirme sonuçları .....	29
3.1.1.1. 500°C'de kalsinasyon+öğütme .....	32
3.1.1.2. 600°C'de kalsinasyon+öğütme .....	32
3.1.1.3. 700°C'de kalsinasyon+öğütme .....	35
3.1.1.4. 800°C'de kalsinasyon+öğütme .....	35
3.1.1.5. 900°C'de kalsinasyon+öğütme .....	38
3.1.1.6. 700°C'de kalsinasyon ve çekiçli kırıcıyla öğütterek zenginleştirme .....	38
3.1.1.7. Kalsinasyon öğütme ile zenginleştirme .....	38
3.1.2. Kalsinasyon+öğütme sonuçlarının genel değerlendirmesi .....	38
3.2. Dereceli Kalsinasyon ve Ağır Ortam ile Zenginleştirme .....	42
3.2.1. Dereceli kalsinasyon+ağır ortam zenginleştirme deney sonuçları .....	43
3.2.1.1. 600°C'de kalsinasyon+ağır ortam .....	43
3.2.1.2. 700°C'de kalsinasyon+ağır ortam .....	50
3.2.1.3. 800°C'de kalsinasyon+ağır ortam .....	54
3.3. Kalsinasyon+Yıkama+Eleme ile Zenginleştirme .....	58
3.3.1. Kalsinasyon+yıkama+eleme ile zenginleştirme deney sonuçları .....	60

## İÇİNDEKİLER(DEVAM)

	<u>Sayfa</u>
4. SONUÇ VE ÖNERİLER .....	64
KAYNAKLAR DİZİNİ .....	66

## ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
3.1. Numune hazırlama akım şeması .....	27
3.2. Kalsinasyon ve öğütme ile zenginleştirme akım şeması .....	28
3.3. Fırın sıcaklığının %kalsinasyon ve %hidroliz üzerine etkisi .....	30
3.4. Fırın sıcaklığının numunenin MgO ve CaO tenörlerine etkileri .....	31
3.5. Kalsinasyon+gravite zenginleştirme akım şeması .....	44
3.6. Farklı sıcaklıklarda kalsine olan örneğin, farklı boyut fraksiyonlarındaki ağırlıklarının, kümülatif elek üstüne göre grafiği .....	45
3.7. 600°C'de kalsinasyonda, her boyut fraksiyonunda randıman farkının yoğunluğa göre değişimi .....	48
3.8. 700°C'de kalsinasyonda, her boyut fraksiyonunda randıman farkının yoğunluğa göre değişimi .....	52
3.9. 800°C'de kalsinasyonda, her boyut fraksiyonunda randıman farkının yoğunluğa göre değişimi .....	56
3.10. 800°C'de kalsinasyon+yıkama+eleme ile zenginleştirme akım şeması ....	61

## ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
2.1. Bazı önemli magnezyum mineralleri .....	4
2.2. Dört ana kayaç grubunun ortalama Mg oranı .....	9
2.3. Metamorfik kayalardaki ortalama Mg oranı .....	9
2.4. Türkiye'deki bazı magnezitlerin kimyasal bileşimleri .....	13
2.5. Türkiye'deki magnezit üretim değerleri .....	14
2.6. Türkiye de magnezit işleyen kuruluşlar ve kapasiteleri .....	15
2.7. Dünya magnezit rezervleri .....	17
2.8. Magnezyum bileşiklerinin kullanım alanları .....	23
3.1. 500°C'de kalsinasyon+öğütme deney sonuçları .....	33
3.2. 600°C'de kalsinasyon+öğütme deney sonuçları .....	34
3.3. 700°C'de kalsinasyon+öğütme deney sonuçları .....	36
3.4. 800°C'de kalsinasyon+öğütme deney sonuçları .....	37
3.5. 900°C'de kalsinasyon+öğütme deney sonuçları .....	39
3.6. 700°C'de kalsinasyon+çekiçli kırıcıyla öğüterek zenginleştirme deney sonuçları .....	40
3.7. Kalsinasyonsuz öğütme ile zenginleştirme deney sonuçları .....	41
3.8. 800°C'de kalsine edilen numunenin boyut dağılımı .....	46
3.9. 600°C'de kalsinasyon+ağır ortam ayırması zenginleştirme deney sonuçları.....	47
3.10. 700°C'de kalsine edilen numunenin boyut dağılımı .....	50
3.11. 700°C'de kalsinasyon+ağır ortam ayırması zenginleştirme deney sonuçları .....	51
3.12. 800°C'de kalsine edilen numunenin boyut dağılımı .....	54
3.13. 800°C'de kalsinasyon+ağır ortam ayırması zenginleştirme deney sonuçları .....	55
3.14. 800°C'de kalsinasyon+ağır ortam ayırması ile zenginleştirme deney sonuçlar(kontrol test) .....	59
3.15. 800°C'de kalsinasyon sonrası yıkama+eleme ile zenginleştirme deney sonuçları .....	62

## 1. GİRİŞ VE ÇALIŞMANIN AMACI

Bu çalışmada amaç Konya Krom Magnezit Tuğla Müessesinin Argıt ocağında üretilen yüksek dolomitli, silis ve demiri düşük, yüksek tenörlü magnezitin teknolojik olarak değerlendirilebilme çalışmasıdır. Magnezit ve dolamitin benzer fiziksel, kimyasal ve fizikokimyasal özelliklere sahip olması seçimli ayırmayı güçleştirmektedir. Fiziksel ve fizikokimyasal özelliklere dayanan ayırma yöntemleri magnezit+dolomit ayırımında fazla etkin olamamaktadır. Bu yüzden dolomit ve/veya magnezitin fiziksel veya fizikokimyasal özelliklerinin değiştirilmesi gerekir.

Kalsinasyon ve sinterleme, magnezitten refrakter hammaddesi üretiminde temel adımlar olduğundan, magnezit ve dolomitin dereceli kalsinasyonundan sonra farklı sertlik ve/veya yoğunluğa sahip olabileceğinden fiziksel yöntemler seçimli ayırma sağlayabilir.

Magnezit ve gang mineralleri yoğunlukları şöyledir:

Saf $MgCO_3$	2,958 gr/cm <sup>3</sup>
Saf $CaMg(CO_3)_2$	2,872 gr/cm <sup>3</sup>
Saf $CaCO_3$	2,715 gr/cm <sup>3</sup>

Dereceli kalsinasyon uygulamaksızın magnezit ve dolomitin yoğunluk farkına dayanan yöntemlerle ayrılması çok, çok güçtür. Ağır ortam ayırmasında 0,1 gr/cm<sup>3</sup>'ten az yoğunluk farklarında ayırma imkansızdır. Bu yüzden  $MgCO_3$  ve  $CaMg(CO_3)_2$ 'nin dereceli kalsinasyonu sonunda yoğunluk farkı yaratmak mümkün olabilir (ATEŞOK, 1986).

Saf Sinter MgO	$\delta = 3,58$ gr/cm <sup>3</sup>
Kısmi Kalsine MgO	$\delta = 1,3-1,9$ gr/cm <sup>3</sup>
Saf $Mg(OH)_2$	$\delta = 2,36$ gr/cm <sup>3</sup>
Saf $Ca(OH)_2$	$\delta = 2,24$ gr/cm <sup>3</sup>
Saf CaO	$\delta = 3,4$ gr/cm <sup>3</sup>

Kısmi kalsine MgO'da yoğunluğun saf MgCO<sub>3</sub>'dan(2,958 gr/cm<sup>3</sup>) 1,3-1,9gr/cm<sup>3</sup>'e düşüşü kalsinasyon sırasında magnezitin poroz bir yapı kazanmasından dolayıdır.

Gözenekli malzemelerin yoğunlukları üç şekilde tanımlanabilir (KAYA,.1990).

a) Gerçek yoğunluk

$$\delta_G = \frac{\text{Parça kütlesi}}{\text{Parça hacmi(açık ve kapalı gözenekler hariç)}}$$

b) Görünür yoğunluk

$$\delta_a = \frac{\text{Parça kütlesi}}{\text{Parça hacmi(Kapalı gözenekler dahil açıklar hariç)}}$$

c) Efektif yoğunluk

$$\delta_e = \frac{\text{Parça kütlesi}}{\text{Parça hacmi(açık ve kapalı gözenekler dahil)}}$$

Yukarıda verilen 1,3-1,9 gr/cm<sup>3</sup> yoğunluklar efektif yoğunluklardır. Kalsinasyon sırasında oluşan gözenekler hacim ölçümü içine dahil edilince kütle azalması sabit bir hacimde olur. Bu da yoğunluğun düşmesine sebep olur. Ancak gözenekler yok edilirse kısmi kalsine olmuş ürünün yoğunluğu saf magnezitin yoğunluğuna yaklaşır.

Kısmi kalsine olan üründeki bu yoğunluk azalması ağır ortam ayırması için çok önemlidir. Burada dikkat edilmesi gereken nokta gözenekli kısmi kalsine malzemenin boşluklarının ortam sıvısıyla dolmadan ayırma işlemini yapabilmektir. Bu yüzden ağır ortama beslenen malzeme kısa sürede ortamdaki geri kazanılmalıdır. Aksi takdirde gözeneklere giren ortam sıvısı yüzebilecek tanelerinde batmasına sebep olabilir.

## 2. MAGNEZİT HAKKINDA GENEL BİLGİLER

### 2.1. Magnezyum Elementi ve Doğadaki Dağılımı

12 atom numaralı magnezyum 24,32'lik bir atom ağırlığı ile hafif bir metalik elementtir. Be, Ca, Sr, Ba ve Ra ile birlikte periyodik sistemin toprak alkali adı verilen II. grubunda bulunur. Aynı grupta bulunan bu elementlerle, jeokimyasal yönden büyük benzerlikler gösterir. Özgül ağırlığı  $1,74 \text{ gr/cm}^3$  olan magnezyum elementi,  $651^\circ\text{C}$ 'de erir ve  $1110^\circ\text{C}$ 'de kaynar. Magnezyum gümüş renkli parlak bir metal olup, havada hemen mat renkli ince bir oksit tabakasıyla kaplanır.  $500^\circ\text{C}$ 'nin üstünde parlak bir alevle yanarak  $\text{MgO}$ 'e dönüşür. Bu özelliğinden fotoğrafçılıkta faydalanılır. Ayrıca magnezyum kolaylıkla şekil verilebilen ve tel haline geçebilen bir metaldir.

Magnezyum elementine, refrakter malzemelerin temel elementi olma niteliğini kazandıran özellik, oksijene olan yüksek afinetesi ve oksijenle oluşturduğu magnezyum oksitin ( $\text{MgO}$ ),  $3000^\circ\text{C}$  sıcaklığa kadar ergimiyerek katılığını muhafaza etmesidir.

Yüksek kimyasal reaksiyon yeteneği nedeniyle magnezyuma doğada saf olarak rastlamak mümkün değildir. Doğada 60'tan fazla magnezyum minerali mevcuttur. Çizelge 2.1'de bunlardan önemlileri verilmiştir. Ancak bu minerallerden hammadde olarak üretilenler şunlardır (M.M.O. 1975):

**Magnezit:** Magnezit ( $\text{MgCO}_3$ ) saf iken renksiz, diğer hallerde beyaz, sarı, kahverengi, gri veya siyaha kadar değişen renklerde bulunan bir mineraldir. Teorik olarak %47,8  $\text{MgO}$  ve %53,2  $\text{CO}_2$  içerir, fakat değişik oranlarda karbonatlar, oksitler ile demir, kalsiyum, mangan ve alüminyum silikatlar içerir.

Magnezit doğada kristalin veya amorf halde bulunur. Kristalin cevherin sertliği 3,2-4 arasındadır. Rengi beyazdan siyaha kadar değişir. Kristalleri romboedraldir. İkizleri yoktur veya çok nadirdir; özgül ağırlığı 3,05'tir. Dilinimi romboedral düzleme paraleldir. Kristalin magnezit kalker ve dolomitik kayalar içinde demiroksit, kalsiyum oksit ve silisle beraber masif tabakalar halinde bulunur.



Magnezit romboedral karbonatlar grubundadır. Bu grubun önemli elemanları şunlardır. Kalsit ( $\text{CaCO}_3$ ), dolomit ( $\text{CaCO}_3\text{MgCO}_3$ ), magnezit ( $\text{MgCO}_3$ ), breunerit ( $\text{MgFeCO}_3$ ), chalybit ( $\text{FeCO}_3$ ) (M.T.A., 1982).

Çizelge 2.1. Bazı önemli magnezyum mineralleri

**Mineraller**

Karnalit

Bisofit

Periklaz

Sellait

Spinel grubu

Burusit

Magnezit

Dolomit

Ankerit

Artinit

Hidromagnezit

Epsomit

Asarit

Borasit

Ludvigit

Forsterit

Olivin

Hümit

Pirop

Enstatit

Tremolit

Aktinolit

Sepiyolit

Talk

Serpantin

Flogopit

Biyotit

**Bileşimler**

$\text{KCl.MgCl}_2.6\text{H}_2\text{O}$

$\text{MgCl}_2.6\text{H}_2\text{O}$

$\text{MgO}$

$\text{MgF}_2$

$\text{MgA}_2\text{O}_4$

$\text{Mg(OH)}_2$

$\text{MgCO}_3$

$\text{MgCa(CO}_3)_2$

$(\text{MgFe})\text{Ca(CO}_3)_2$

$\text{Mg}_2(\text{CO}_3)(\text{OH})_2.3\text{H}_2\text{O}$

$\text{Mg}_5(\text{CO}_3)_4(\text{OH})_2.4\text{H}_2\text{O}$

$\text{MgSO}_4.6\text{H}_2\text{O}$

$\text{MgHBO}_3$

$5\text{MgO.MgCl}_2.7\text{B}_2\text{O}_3$

$(\text{Mg,Fe})_2\text{Fe(BO}_3)_2\text{O}_2$

$\text{Mg}_2\text{SiO}_4$

$(\text{Mg,Fe})_2\text{SiO}_4$

$\text{Mg}_7(\text{SiO}_4)_3(\text{OH,F})_2$

$\text{Mg}_3\text{Al}_2(\text{SiO}_4)_3$

$\text{MgSiO}_3$

$\text{Ca}_2\text{Mg}_5(\text{Si}_4\text{O}_{11})_2(\text{OH})_2$

Demirli tremolit

$\text{Mg}_2\text{Si}_4\text{O}_{11}.n\text{H}_2\text{O}.n\text{H}_2\text{O}$

$\text{Mg}_3(\text{Si}_4\text{O}_{10})(\text{OH})_2$

$\text{Mg}_6\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_8$

Mg'lu mika

Mg'lu mika

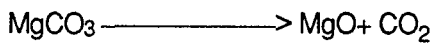
Penin	Mg'lu klorit
Vermikülit	Mg kili
Kainit	KCIMgSO <sub>4</sub> .11/4H <sub>2</sub> O
Polihalit	K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> MgSO <sub>4</sub> 2CaSO <sub>4</sub> 2H <sub>2</sub> O

Yararlanılan kaynak: Magnezit M.M.O. yayını, 1975, Ankara.

Amorf veya kriptokristalin magnezit beyaz renklidir. Özgül ağırlığı 2,9-3 arasındadır. İyi kalite ticari cevherin MgCO<sub>3</sub> içeriği %97'dir. Cevher dilinim göstermez ve kristalin tipe göre daha saftır. Amorf manyezit damar veya tabakalar halinde serpantin, talk, olivin, kalsedon gibi safsızlıklarla beraber bulunur (M.T.A.,1982).

Sudaki çözünürlüğü 3,4x10<sup>-3</sup> gr/100 gr H<sub>2</sub>O(25<sup>o</sup>C'de) olan magnezit soğuk HCl'de hiçbir reaksiyon vermez, buna karşılık dolomit zayıf, kalsit ise kuvvetli köpürme gösterir. Bu özelliği magnezitin bu iki mineralden kolayca ayrılmasını sağlar.

Tabii magnezit ısıtılmakla 400<sup>o</sup>C'den itibaren termal bozunmaya başlar, bozunma 680<sup>o</sup>C'de tamamlanır ve;



eşitliğine göre magnezya adı verilen MgO bileşimindeki ürün elde edilir. Magnezitin 900<sup>o</sup>C'deki kalsinasyonundan elde edilen ürüne ise **kostik-kalsine magnezit** denir. Magnezitin 1650<sup>o</sup>C'nin üstündeki sinterleşmesinden elde edilen ürüne de **tam yanmış(Dead-burned) magnezit** adı verilir (UÇAR, 1986).

Sinter magnezit, magnezitin 1700<sup>o</sup>C'nin üzerine çıkarılmasıyla MgO sağlam yapılı ve kübik periklas kristallerine dönüşmektedir. Sıcaklığa maruz bırakılma ne kadar fazla olursa periklas kristallerinin tane iriliği o kadar büyümekte ve dolayısı ile yoğunluğu artarak asitlere ve rutubete dayanıklı hale gelmektedir. Bu tür magnezite stabil hale gelmiş **sinter magnezit** denir. Bu sinterin 2000<sup>o</sup>C'nin üzerinde tekrar ısıtılmasına tabi tutulmasıyla **Fused magnezit** elde edilir. Bu magnezit çelik

sektörüne yapılan tuğlalarda ömrü uzatmaktadır. Magnezitin sinterleme işlemi genellikle döner ve dikey fırınlarda yapılmaktadır (OLTULU,1990).

**Dolomit:** Bir kalsiyum magnezyum karbonatı( $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ ) olan dolomit, teorik olarak %45,65  $\text{MgCO}_3$  içerir, pratikte ise  $\text{MgCO}_3$  oranı %10-40 arasında değişir.

Dolomitin kristalleri romboedriktir. Taneli, dilimlenebilir kütleler ve kompakt görünümde sedimanter tabakalar halinde bulunur.

Dolomitin sertliği 3,5-4, yoğunluğu 2,85'dir. İnce ve cam parlaklığında bulunur ve rengi genellikle pembemsi, renksiz, beyaz, gri yeşil, kahverengi veya siyah olabilir.

**Bileşimi:** CaO %30,4; MgO %21,7;  $\text{CO}_2$  %47,9'dur.

Soğuk HCl'de yavaş sıcak HCl'de hızlı tepkime verir. Dolomitten magnezya elde edilmesine ilk defa 1923 yılında Pennsylvania'da başlanmıştır (UÇAR, 1986).

**Burusit:** Bir magnezyum hidroksit( $\text{Mg}(\text{OH})_2$ ) olan burusit teorik olarak %69,1 MgO ve %30,9  $\text{H}_2\text{O}$  içerir.

Kristal şekli hegzagonal olan burusit, dolomit, magnezit ve serpantin ile beraber masif halde bulunurlar.

Mükemmel dilinimidir(0001), sertliği 2,5, özgül ağırlığı 2,39 'dur. Cam, inci ve reçine parlaklığında bulunur. Renk beyaz, gri, açık yeşil, saydam veya yarı saydam olabilir. HCl'de kolayca çözünür.

Burusit magnezya elde edimi için işletilebilir fakat önemli bir kaynak değildir (UÇAR, 1986)

**Olivin:** ( $\text{MgFe}$ ) $_2\text{SiO}_4$ , Forsterit'le( $\text{MgSiO}_4$ ), Fayalitin( $\text{Fe}_2\text{SiO}_4$ ), izomorf bir karışımıdır. Ortorombik sistemde kristalleşir.

Renk zeytin yeşili, çizgi rengi beyaz, saydam veya yarı saydam cam parıltılı, (010)'a göre oldukça iyi dilinimlidir. Kırılma yüzeyi genellikle düzgün değildir. Sertliği 6,5-7, yoğunluğu 3,27-3,37'dir. Erimez, HCl'de yavaş çözünür.

Olivin genellikle altere olarak serpentine dönüşür. Alterasyonları esnasında bir miktar magnezit ve demir oksitleri gelişir.

Teorik olarak %23,4 MgO içeren olivin mağnezya elde edilmesinden çok, Forsterit( $Mg_2SiO_4$ ) malzemelerinin üretiminde kullanılır (UÇAR, 1986).

**Evaporit Mağnezium Mineralleri:** Lagünlerde ve göllerdeki sular buharlaşma yolu ile ayrılınca çözünmüş haldeki tuzlar kristalleşerek çökelir ve buharlaşma ürünü yataklar yaparlar ki, bunlara "evaporit" denir.

Başta karnalit, lieserit, kainit, polihalit olmak üzere bazı mağnezium klorür ve sülfatlar evaporit yatakları içinde bulunurlar ve potas üretiminde yan ürün olarak "solution mining" yöntemi ile sondaj eriyiklerinden elde edilebilirler. Ancak bu yolla elde edilen evaporitik mağnezium mineralleri, daha çok metalik mağnezium elde edilmesinde kullanılmaktadırlar (UÇAR,1986; M.T.A. 1982).

## 2.2. Magnezitle Beraber Bulunan Diğer Bazı Mineraller ve Özellikleri

**Kuvars( $SiO_2$ ):** Hekzagonal sistemde kristalleşir. Sertliği 7, özgül ağırlığı 2,65, kırılma yüzeyi midye kabuğu şeklindedir. Parlaklık camsı, bazı örneklerde ise yağimsı olur. Renk, genellikle renksiz, beyaz veya içerdiği yabancı maddelerin varlığı ile renklendirilir. Saydam veya yarı saydamdır. Kuvvetli piezoelektrik ve piroelektrik özelliğe sahiptir.

%46,7 Si, %53,3  $O_2$  içerir. Mineral kuvars genellikle saf olur. Ergimez, HF'den başka asitte çözünmez (UÇAR, 1986).

**Kalsit( $CaCO_3$ ):** Kristal şekli hekzagonaldır. Dilinim(1011) mükemmel, sertliği 3, özgül ağırlığı 2,71, parlaklık camdan toprağımsıya kadar değişir. Renk

genellikle beyaz veya renksiz, ya da içerdiği yabancı maddelere göre değişik renkler alır.

%56,0 CaO, %44,0 CO<sub>2</sub> içerir. Ergimez, soğuk HCl'de kolayca çözünür (UÇAR, 1986).

### 2.3. Magnezyum Jeokimyası

Magnezyum yer kabuğunda en bol bulunan elementlerden biridir. %1,39'luk bir oranla oksijen, silisyum, aliminyum, demir, kalsiyum, potasyum ve sodyumdan sonra 8'inci sırayı alır. Jeokimyasal yönden litofil bir davranış gösterir, diğer bir deyişle oksijene karşı özel bir afiniteye sahip olup, oksijenle ve doğadaki en yaygın oksijen bileşiği silisyum dioksitle birlikte daha kolay bileşik meydana getirir. Doğada bulunan magnezyum minerallerinin 2/3'ü silikatlardan oluşmaktadır.

Magnezyum elementinin kayalar içindeki dağılımı, büyük farklılık gösterir. Magmatik kayalar içinde ortalama Mg oranı en yüksek olan kayaç grubu %34'lük bir değerle peridotitlerdir. Kayalarda SiO<sub>2</sub> oranı arttıkça, diğer bir deyimle asitleştikçe Mg oranı da hızla azalmakta ve granitlerde %0,57 gibi çok düşük bir değere ulaşmaktadır.

Püskürük kayalarda derinlik eşdeğerine nazaran daha az Mg bulunur. Örneğin, derinlik kayacı diyoritte ortalama %62'lik bir magnezyum oran mevcutken, onun püskürük eşdeğeri olan andezitlerde ise bu oran %5,6'ya düşmektedir. Diğer ilginç bir sonuç da derinlik püskürük kayalarındaki Mg farkının kayaların asitleşmesi ile gittikçe azalmasıdır. Örneğin, diyorit-andezitteki fark %0,93 iken, asidik granit-riyolitteki ise yalnızca %0,25 olarak göze çarpmaktadır.

Çizelge 2.2 ve Çizelge 2.3'te de ana kayaç gruplarının ve metamorfik kayaların ortalama Mg oranları verilmiştir. Çizelge 2.3'te de görüldüğü üzere genel olarak metamorfizma şiddeti arttıkça, kayalardaki Mg oranı da artmaktadır. Ancak gnaylarda daha az şiddetteki metamorfizma ürünü olan mikaşistlere nazaran daha yüksek magnezyum oranına rastlanmaktadır. Magnezyumun metamorfizma olayları

karşısındaki bu değişik davranışın nedeni, kesinlikle ortaya koyulmuş değildir (M.T.A., 1982).

Çizelge 2.2 Dört ana kayaç grubunun ortalama Mg oranı

<u>Kayaç grubu</u>	<u>Magnezyum oranı %</u>	
	<u>(1962)</u>	<u>Türkekion ve Wedepohl'e göre (1961)</u>
Ultrabazikler(dunit, peridotit piroksenit, harzburgit, norit v.b)	25.90	20.4
Bazikler(gabro, diyorit v.b)	4.50	4.6
Intermediyer kayaçlar(siyenit, kuvars, diyorit v.b)	2.18	0.58
Asidik kayaçlar(granit, granodiyorit)	0.55	0.56

Yararlanılan kaynak: M.T.A. Magnezit envateri, 1982, Ankara

Çizelge 2.3. Metamorfik kayaçlardaki ortalama Mg oranı

<u>Kayaçın adı</u>	<u>Mg (%)</u>
Kil	1.34
Killi şistler	1.74
Fillat	1.36
Mikaşistler	2.40
Sillimanit gnays	1.56

Yararlanılan kaynak: M.T.A. Magnezit envanteri, 1982, Ankara

Akarsulardaki Mg oranı 1-50 ppm arasında değişmektedir. Yağmur suyunda ortalama %36 ppm magnezyum bulunur. Deniz suyundaki Mg oranı ise %0,127'dir. Toplam deniz suyu miktarının  $1,44 \times 10^{18}$  ton olduğu kabul edilirse, deniz suyunda

toplam  $1,83 \times 10^{15}$  ton Mg'un bulunduğu ortaya çıkmaktadır. Bu değer dünya rezervinin 700.000 mislinden fazladır. Bu nedenle deniz suyu bugün için bilinen en büyük magnezyum kaynağıdır (M.T.A., 1982).

#### 2.4. Magnezit Yataklarının Oluşumu

Magnezit oluşumu ve tüm oluşum koşulları, tüm çalışmalara rağmen (Rosenberg ve Milles, 1966; Johannes, 1966, 1967, 1969; Christ ve Hosterler, 1973; Sayles ve Fyte, 1943) kesin olarak ortaya çıkarılamamıştır. Şimdiye kadar yapılan araştırmalardan magnezit oluşumunun; (M.M.O., 1975)

- Ortamdaki pH ve Eh değerlerine,
- $Mg^{+2}$  ve  $CO_3$  iyon konsantrasyonlarına
- Ortamda bulunan diğer anyon ve katyon türlerine ve bunların konsantrasyonlarına
- Ortam sıcaklığına ve basınca bağlı olduğu,

ancak bu etkenlerin dereceleri ve kantitatif ilişkilerinin ortaya çıkarılmasının güç olduğu anlaşılmıştır.

Magmatik ve metamorfik evrimde yoğun magnezit oluşumuna rastlanmaz. Birkaç hidrotermal ankeritik magnezit oluşumları hariç tutulursa magneziti, ekzojen ortamın karakteristik minerali kabul edilebilir. Hele ekonomik magnezit yataklarındaki magnezit minerallerinin tümü, ekzojen ortamda oluşmakta ve bazen metamorfizma yoluyla ikincil değişikliklere uğramaktadır.

Ekonomik önem taşıyan magnezit yataklarını iki ana grupta toplayabiliriz (M.M.O., 1975).

#### 2.4.1. Kriptokristalen magnezit veya jelmagnezit yatakları

Bu magnezit yatağı tipinin oluşumu literatürde yoğun tartışmalara konu teşkil etmiştir. Bunları iki grupta toplamak mümkündür.

Daha çok eski araştırmacılar tarafından(Krusch, 1912; Kraft, 1915) kabul edilen dessandan(yukarıdan aşağıya doğru oluşum) ile çoğunlukla yeni araştırmacılar tarafından benimsenen asendan(aşağıdan yukarıya) olmak üzere iki grupta toplamak mümkündür. Birinci teoride, serpantin yüzey suları, atmosfer ve biyosferin etkisi ile alterasyonu ve bu alterasyon esnasında mobilize olan Mg iyonlarının çatlak sistemleri boyunca ayrışması temel kabul edilmektedir. İkinci ve çoğunlukla Avusturyalı araştırmacılar tarafından(Hiessleitner, Donat ve Petrascheck) benimsenen teoriye göre ise magnezit, serpantin kütlelerinin derinlerde CO<sub>2</sub> ihtiva eden termal sular etkisi ile ayrışması ve açığa çıkan Mg<sup>+2</sup> iyonlarının bu sular vasıtasıyla serpantin içindeki çatlak sistemleri boyunca yataklanması esas alınmaktadır. (M.M.O., 1975)

Son yapılan arazi gözlemleri ve deneysel araştırmaları göz önüne alıp gerçek bir değerlendirme yapılacak olursa, birinci teorinin gerçeğe daha yakın bir olasılık taşıdığı anlaşılır (M.M.O., 1975).

#### 2.4.2. İri kristalli veya spatik magnezit yatakları

Bu tip magnezit yataklarının oluşumu da uzun tartışmalara yol açmıştır. Bu tartışmalar halen devam etmekte olup iki önemli grupta toplanmaktadır.

##### **Replasman veya metasomatoz teorisi:**

Clar(1931), Friedrich(1969) tarafından ileri sürülen bu teoriye göre, iri kristalli magnezit yatakları, kireçtaşı veya dolomit gibi karbonat kayaçlarının Mg metasomatozu sonucu oluşmuştur. Bu yatakların magnezit oluşumunu gerçekleştiren Mg eriyiklerinin derinlerdeki basınç ve sıcaklık artış nedeniyle Mg'un mobilize olması ve daha yukarılara taşınması sonucunda oluştuğu ileri sürülmektedir.

##### **Sedimanter teori:**



Daha çok Leitmeier(1953), Leitmeier ve Siegl(1959), De Llarena(1959 ve 1965), Siegl(1969) ve Lesko(1972) gibi araştırmacılar tarafından benimsenen bu teoriye göre spatik magnezit yatakları, kireçtaşı, dolamit veya kayatuzu oluşumlarında olduğu gibi primer bir tortudan başka bir Őey değildir. Kimyasal verilerin yanında yataklardaki tabakalı yapı bu teoriye kanıt olarak ileri sürülmektedir. Ancak araştırmacılar magnezit oluşumunun bir sulu hidromagnezit ana safhasından sonra gerçekleştiğini de kabul etmektedir (M.M.O., 1975).

## **2.5. Prospeksiyon ve Arama Metotları**

Her tip magnezit yatağının araştırılmasında muhtemel magnezit yatağının orijini rehberlik eder. Kristalin magnezit, kireçtaşı ve dolamitli faylanmaya veya mağmatik aktiviteye maruz kalmış bölgelerde bulunur. Manyezit araştırmaları dinamik jeolojik aktivitesi olan sahalarda yapılır.

Manyezit formasyonu genel olarak beraber bulunduğu formasyonlara nazaran aşınmaya karşı daha dayanıklıdır. Bunun sonucu olarak sarp mostralara manyezit zuhurlarını karakterize eder.

Ticari olan veya olmayan zuhurlar soğuk, sulu hidroklorik asidi testi ile anlaşılır. Kireçtaşı hidroklorik asitle kprrken, magnezit kprmez. Ticari olarak kabul edilen magnezit %95'ten az  $MgCO_3$  kapsamamalıdır ki %90-94 MgO kapsayan sinter ürün elde edilebilsin (M.T.A., 1982).

## **2.6. Türkiye Magnezit Yataklarının zellikleri, Rezervleri ve Magnezit retimi**

Türkiye magnezit yatakları jenetik yönden iki tiptir. Birincisi Denizli doğusundaki Hırsızdere-ambaşıky'deki sedimanter oluşumdur. Burada manyezit horizonları, kilden konglomeraya kadar uzanan tortul kayaçlar serisi içine yerleşmiştir.

Brennich'in(1962) verdiği bilgiye göre, magnezit horizonu içinde sepiyolit oluşunları mevcuttur ve bu horizon üstten ve alttan dolomit horizonu ile sınırlanmıştır. Bu nedenle cevherde nispeten silis ve CaO bulunur. Bunun yanında Eskişehir doğusundaki sepiyolit oluşunları içinde de dağınık halde magnezit yumrularına rastlanır.

Diğer yatak tipi Türkiye'nin geri kalan tüm magnezit zuhurlarını içine alır. Zuhurlar serpantinleşmiş ultrabazik kayalar da çatlak, fay ve ağsal dolgusu şeklinde bulunur. Magnezit yer yer serpantinler üzerinde alternasyon zonları içinde yumrular şeklinde de bulunabilir. Damar kalınlıklarının artışı ile kalitenin de arttığı genellemesi yapılabilir. Türkiye magnezit yataklarının en önemlileri Balıkesir, Bursa, Bilecik, Ayaş, Polatlı, Kütahya ile sınırlanmış bir saha içinde bulunur. Bunun haricinde Erzincan ilinin kuzeybatısında, Fethiye-Gek yakınında, Afyon'un doğusunda, Mersin, Manisa ve Konya'da birer zuhur mevcuttur. Sümerbank tarafından işletilmekte olan Konya-Meram yatağı ve Erzincan hariç, işletilen tüm magnezit yatakları yukarıda sınırlanan saha içinde bulunur.

Türkiye yatakları jel magnezit tipi yatakların tüm özelliklerini taşımaktadır. Fe, silis, CaO oranı yataktan yatağa değişmekle beraber genellikle düşüktür. Çizelge 2.4'te Türkiye'deki bazı magnezitlerin kimyasal bileşimleri verilmiştir (KAYA, 1992; M.T.A., 1982).

Çizelge 2.4. Kimyasal kompozisyon

Bölge	Kütahya (Yaylacık)	Eskişehir (Kümbet)	Bursa (Topak)	Konya (Argıt)
<u>Element</u>	<u>(%)</u>	<u>(%)</u>	<u>(%)</u>	<u>(%)</u>
SiO <sub>2</sub>	4.50	1.79	4.82	0.40
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.03	0.03	0.03	0.42
CaO	0.48	0.41	1.04	2.93
MgO	45.03	46.20	44.68	45.74
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.02	1.78	0.87	0.08

Yararlanılan kaynak: Magnezit Teknolojisi 1992. Eskişehir

Magnezit yatağının işletme şekli cevherin dağılımına, şekline, tipine ve yatağın boyutuna göre değişir. Büyük masif yataklar genellikle açık işletme, dar ve derin yataklar, yarmalar ve yeraltı işletmesi şeklinde işletilirler. Çıkarılan cevher refrakter veya kostik kalsine üretimi için tesislere yollanır.

Türkiye magnezit üretimi toplam dünya üretiminin %7,13'ünü kapsar. Çizelge 2.5'de Türkiye'deki tüvenan, kalsine ve sinter magnezit üretimiyle ilgili bazı bilgiler vermektedir (KAYA, 1992).

Çizelge 2.5 Türkiye'de Magnezit Üretim Değerleri

		<u>1981</u>	<u>1984</u>	<u>1988</u>
İşletme sayısı	A	28	41	41
	B	1	6	10
	C	27	35	31
Üretim(tüvenan) (ton)	A	783966	723268	1125844
	B	74898	135024	356394
	C	709068	588244	764450
Kalsine(ton)	A	5971	13840	21296
	B	---	---	---
	C	5971	13840	21296
Sinter(ton)	A	70995	126823	126820
	B	---	22107	81429
	C	70995	104716	45391
Satış Tüvenan(ton)	A	104477	113474	75911

<b>Satış Değer(x000 TL)</b>	<b>A</b>	400345	1349611	5157534
<b>Satış Kal+Sint (ton)</b>	<b>A</b>	72053	126414	141058
<b>Satış Değer(x000 TL)</b>	<b>A</b>	2486692	10478863	38964037

A: Toplam

B: Kamu kesimi

C: Özel kesim

Yararlanılan kaynak: Magnezit teknolojisi 1992. Eskişehir

Türkiye'de işlenmiş magnezit konusunda faaliyet gösteren önemli kuruluşlar çizelge 2.6'da verilmiştir.

Çizelge 2.6. Türkiye'de magnezit işleyen kuruluşlar ve kapasiteleri

<u>Firma adı</u>	<u>Yeri</u>	<u>Kapasitesi</u>	<u>Bağlı olduğu kuruluş</u>
Konya Krom Mag.	Konya	50.000 ton (tuğla+monolitik)	ÇİTOSAN
Kümaş	Kütahya	144000 ton sinter	ÇİTOSAN
M.A.Ş	Eskişehir	60.000 ton sinter	Veitscher Magnezitwerke
COMAG Eskişehir ve 40.000 ton kostik	Tavşanlı	kalsine	Çukurova Holding

Yararlanılan Kaynak: Bazik refrakter hammaddeleri, 1990. Konya

## 2.7. Dünyada Magnezit

Dünya ham magnezit üretimi, yıllık 20 milyon tona yaklaşmaktadır. Bu üretimin yaklaşık 13,5 Mt/yıllık miktarı Doğu Bloku Ülkeleri tarafından gerçekleştirilmektedir (S.S.C.B, Çekoslovakya, Çin, K.Kore). Doğu Bloku'nun kalsine magnezit üretimi ise 4,5 milyon ton/yıl civarında olduğu kaydedilmektedir.

Batı Bloku'nda önemli üreticiler, Avusturya, Yunanistan, Türkiye, Brezilya, İspanya, Hindistan ve Yugoslavya'dır. Bu ülkelerin toplam ham magnezit üretimleri 6 Mt/yıl, kalsine magnezit üretimleri 2 Mt/yıl, kostik kalsine üretimleri ise 500.000 t/yıldır. Ayrıca dünya deniz sularından magnezya üretimi yılda 2 Mt/yıldır (Madencilik,1989).

S.S.C.B'nde Urallar'da 400 milyon tonluk, Doğu Sibirya'da ise 2000 milyon tonluk kristalin magnezit rezervleri bulunmaktadır. En önemli yatakları Urallardaki Ufa eyaletindeki Satka ve Sibirya'daki Savinsk'tir ve üretimin büyük bir kısmı buralardan sağlanmaktadır. Satka yatakları 250 milyon ton rezerve sahip olup %46 MgO içerir. Demir oranı azdır.

Kuzey Kore'nin iri kristalli spatik magnezit yatakları Konko eyaletinde bulunur. MgO oranı %45,5'tir.

Çin dünyanın en büyük magnezit yataklarına sahiptir. Spatik magnezit tipindeki dev yataklar, Güney Mançurya'daki Shenking eyaletinde bulunur.

Çekoslavakya'dakii yataklar Slovakya'daki Jesenek ve Kosice arasındaki alanda bulunmaktadır. Cevher iri kristalli magnezit olup %8'den fazla Fe içerir.

Çizelge 2.7'de verilen dünya magnezit rezervleri incelendiğinde Türkiye'nin 14. sırada yer aldığı görülür

Çizelge 2.7. Dünya Magnezit Rezervleri (milyon ton)

	<b>Mining Annual</b>		<b>Minerals Facts and</b>	
	<b><u>Review (1974)</u></b>		<b><u>problems (1975)</u></b>	
	<b><u>Rezerv</u></b>	<b><u>%</u></b>	<b><u>Rezerv</u></b>	<b><u>%</u></b>
A.B.D.	65.00	0.51	41.3	0.41
KANADA	100.00	0.78	78.0	0.77
MEKSİKA	1.00	0.01	- - -	- - -
BREZİLYA	300.00	2.33	413.0	4.06
ÇEKOSLAVAKYA	100.00	0.78	82.6	0.81
AVUSTURYA	75.00	0.58	55.0	0.54
S.S.C.B.	3.035.00	23.61	2.250.0	22.15
YUNANİSTAN	60.00	0.47	82.0	0.81
YUGOSLAVYA	50.00	0.39	27.4	0.27
İSPANYA	1.00	0.01	- - -	- - -
TÜRKİYE	36.00	0.28	41.0	0.41
SUDAN	240.00	1.87	- - -	- - -
MISIR	1.00	0.01	- - -	- - -
GÜNEY AFR. CUM.	1.00	0.01	- - -	- - -
ÇİN HALK CUM.	5.000.00	38.90	3.750.0	36.91
KUZEY KORE	3.000.00	23.34	2.200.0	21.65
İRAN	1.00	0.01	- - -	- - -
PAKİSTAN	1.00	0.01	- - -	- - -
HİNDİSTAN	185.00	1.44	137.0	1.35
FİLİPİNLER	1.00	0.01	- - -	- - -
AVUSTRALYA	1.00	0.01	- - -	- - -
YENİ ZELANDA	600.00	4.67	453.0	4.46
DİĞERLERİ	- - -	- - -	550.0	5.41
<hr/>				
TOPLAM	12.854.0	100.0	10.160.0	100.00

Yararlanılan kaynak: Bitirme tezi, UÇAR, A., 1986, Eskişehir.

Yugoslavya magnezit yatakları Serbia ve Bosna bölgelerinde bulunur. Belastena yataklarından çıkarılan cevher en az %45 MgO en çok %1 SiO<sub>2</sub>, %1,8 CaO ve %1,4 R<sub>2</sub>O<sub>3</sub> içerir. Avusturya'da %6 demir oksit kapsayan en önemli yatakları Semmering, Veitsch, Breitenaw, Radentheim ve Dientin'de bulunur. Yunanistan büyük kriptokristalin magnezit yataklarına sahiptir. Kalkidik yarımadasındaki zuhurlar Kreatase kalkerleri içindeki serpantinleşmiş peridotitlere bağlı olarak bulunurlar. Brezilya'nın iki büyük kristalin magnezit yataklarından biri Alencar bölgesinde diğeri Bahia'da bulunur. İspanya'nın kristalin magnezit yatakları Navarro bölgesinde ve Kuzey batı İspanya'da bulunur. Hindistan magnezit üretiminin büyük bir kısmını Selani bölgesindeki Madras şehri civarından sağlar. Cevher %4 SiO<sub>2</sub> kapsar, beyaz kompakt ve konkoidal kırınımlıdır. Almora bölgesinden üretilen magnezit iri kristalli beyaz ve sarımsıdır. Güney Afrika Cumhuriyeti'nin yataklarının büyük kısmı Transvaal'de Lydenburg bölgesindedir (UÇAR, 1986).

## 2.8. Deniz Suyundan Magnezit Üretimi

Deniz suyundan magnezit üretimi 1930 yılından beri bilinmesine karşılık toplam magnezit içerisindeki payı %20 civarındadır. Uygulanan yöntem basit olup öncelikle magnezyum hidroksit veya klorit elde edilir. Daha sonra ısıl işlemle MgO haline dönüştürülür.

Birinci Dünya Savaşında Avusturya'dan refrakter malzeme alamayan A.B.D. ve İngiltere İkinci Dünya Savaşı sırasında bu tesisleri kurmuşlardır. Şu anda A.B.D., Japonya, Kanada , İsrail, İngiltere, İrlanda, Hollanda, İtalya, Meksika ve S.S.C.B'de üretim yapılmaktadır (KAYA, 1992; M.M.O., 1975).

## 2.9. Magnezit Cevherinin Zenginleştirilmesi

Yataktan çıkarılan cevher genel olarak zenginleştirme işlemine tabi tutulur. Ancak iri kristalli spatik magnezitin zenginleştirme işlemi kriptokristalin magnezitten oldukça farklıdır. İri kristalli magnezit %8'e kadar Fe içerirken, jel magnezitin demir oranı çok düşüktür ve tane irilikleride bazen mikron mertebesi ile ölçülemeyecek kadar ince olabilmektedir.

Magnezit cevherleri genellikle magnezite ilaveten dolomit, kalsit, tremolit, forsterit, burisit, hidromagnezit, serpantin, talk, biyotit, gröna, opal, kuvars, alümina bileşikleri ve çözülebilir tuzları içerir.

Dünya magnezit cevherlerine ait zenginleştirme tesisleri sayıca oldukça azdır. Bu tesislerde zenginleştirme yöntemi olarak başlıca elle ayırma, otomatik optik ayırma, ağır ortam ile ayırma, elektrostatik ayırma, magnetik ayırma ve flotasyon kullanıldığı bilinmektedir (UÇAR, 1986).

### **2.9.1. Elle ve otomatik optik cihazlarla ayırma ile zenginleştirme**

Bu yöntem magnezit ile gang mineralleri arasındaki renk ve yapı farkından yararlanarak uygulanır.

Bunun yanı sıra optik prensiple çalışan otomatik ayırma makinaları vardır. Bu makinalarla daha küçük boyutlarda ayırma yapmak mümkündür (UÇAR, 1986).

### **2.9.2 Boyut küçültme ile zenginleştirme**

Bazı magnezit cevherlerinde gang mineralleri saf magnezit kadar sert olmadıklarından öğütme sırasında daha fazla ufalanarak inceye geçerler. Bu özellikten magnezitin kaba olarak temizlenmesinde yararlanır (UÇAR, 1986)

### **2.9.3. Ağır ortam ayırması ile zenginleştirme**

Magnezit ile gang mineralleri arasındaki yoğunluk farkından yararlanarak yapılan zenginleştirme işlemidir.

Ağır ortam ayırması ile zenginleştirme yönteminin uygulanabilmesi için, ayrılacak mineraller arasında en az  $0,1 \text{ gr/cm}^3$  yoğunluk farkı olması ve ayırmayı etkileyecek ölçüde gözeneklilik olmaması gerekir (ATEŞKOK, 1986). Endüstriyel uygulama 4 işlem kademesi içermektedir.



- Beslenecek cevherin uygun şekilde hazırlanması,
- Ağır ortam içeren ayırıcı aygıtta yüzen ve batan ürünlerin ayrılması,
- Yüzen ve batan ürünlerin ayrı ayrı alınması ve ürünlerle birlikte gelen ağır ortamın uzaklaştırılması,
- Temizleme, ayarlama ve ayarlanmış ağır ortamın tekrar ayırıcı aygıtta döndürülmesi (ÖNAL, 1979).

İnce ve boşluklu magnezit cevherlerinin ağır ortam ayırmasında; süsyansiyon vizkositesinde artışlar, flokülasyon ve mineral parçacıklarının yığılma olayı, magnezit ve gang mineralleri arasındaki yoğunluk farkında azalma nedeniyle güçlüklerle karşılaşmaktadır.

#### **2.9.4. Elektrostatik ayırma ile zenginleştirme**

Magnezit ve gang mineralleri arasında az da olsa bir dielektrik katsayısı farkı vardır. Teorik olarak özel ayırıcı yardımıyla bu özellikten faydalanmak mümkündür. Ancak pratikte pahalı olduğu için nadiren uygulanır (M.M.O.,1975).

#### **2.9.5. Manyetik ayırma ile zenginleştirme**

Özellikle gang olarak içinde çeşitli şekillerde magnetit bulunan, serpantin içeren jel magnezitlerde uygulanmaktadır. Uygun tane iriliklerinde serpantin ile manyetik olmayan magnezit birbirinden ayrılmaktadır. Ancak gang olarak bulunan serpantin az altere olmuş olması gerekir.

Bunun yanında demir tenörü yüksek olan kristalen magnezitlerde de bu yöntemin uygulanma olasılığı sözkonusudur (M.M.O., 1975).

#### **2.9.6. Hidratasyon yoluyla ayırma ile zenginleştirme**

Kalsine magnezit su veya su buharı ile ıslatıldıktan ve bir kaç gün bu durumda bekletildikten sonra tromel elekten geçirilmek suretiyle kısmen temizlenebilir. Magnezitin içerdiği CaO hidratlaşarak toz haline gelir ve tromel elekten elenerek daha

iri taneli olan sinterleşmiş magnezitten ayrılır ve magnezit kolayca zenginleştirilmiş olur (UÇAR, 1986).

### **2.9.7. Dereceli kalsinasyon yoluyla ayırma ile zenginleştirme**

Magnezit, kalsit ve dolamitten daha aşağı sıcaklık derecelerinde kalsine olur. Cevher magnezitin kalsine olduğu sıcaklıkta kalsine edilir. Bu sırada magnezit sertliğini kaybeder ve daha sert bir durumda olan kalsit, dolamit ve silikatlardan öğütülmek ve klasifiye edilmek suretiyle ayrılmış olur (UÇAR, 1986).

### **2.9.8. Kalsinasyon ve gravite yoluyla ayırma ile zenginleştirme**

Magnezit ve silisli gang içeren cevher konsantrasyon öncesi safhada 600-900°C arasındaki sıcaklık derecelerinde kalsine edilir. Bu işlem esnasında magnezit kısmen veya tamamen ayrışarak 1,3-1,9 gr/cm<sup>3</sup> görünür özgül ağırlık kazanır. Gang ise yalnız toplam suyunu kaybeder ve 2,2-2,3 gr/cm<sup>3</sup> görünür özgül ağırlık kazanır. Böylece ayırma, uygulanan gravite konsantrasyon yöntemleri ile kolayca olur. Sulu ortamda kostik kalsine magnezitin su almasına ve görünür yoğunluğun 1,9-2,1 gr/cm<sup>3</sup> yükselmesine neden olur (UÇAR, 1986).

### **2.9.9. Flotasyon yoluyla ayırma ile zenginleştirme**

Magnezit ve dolamit tuz tipi hydrophilic minerallerdir. Benzer kristal yapısına yüzey karakterleri ve flotasyon özelliğine sahiptirler(Hanna ve Samasunduran, 1976). Seçimli flotasyon sadece kontrollu reaktifler kullanılarak başarılabılır.

Rusya'da yağ asitleri(endüstriyel yan ürünler), kalgon ve CMC kullanılarak magnezit yüzdürülür (Bugaeve ve diğerleri, 1975).

Magnezit+silika ayırımında amin tipi katyonik toplayıcılar Gambopoulos ve Nestoridis(1976) ve Emrullahoğlu(1984) tarafından Yunan ve Türk magnezitlerine uygulanmıştır. Türk magnezitlerinde doğal hydrophobic sepiolit bulunuşu ayırma zorlukları doğurmuştur.Magnezit+dolamit ayırımı daha fazla zorluklar göstermektedir. Matis ve diğerleri(1984)'de kalsiti yağ asitleri ile yüzdürmüştür.

Bazen uzun zincirli aminlerle gang mineralleri yüzdürülerek magnezit yüzmeyen kısımda zenginleştirilebilir. Bu yöntem bilhassa çok kolay yüzebilen mika, talk gibi silikatları içeren magnezit cevherlerine uygulanır.

1989'da Matis ve Gallions, magnezitin anyonik flotasyonunda;  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ , Na-florasilikat, kalgon tipi bastırıcıları saf, tek ve suni karışım için test etmiştir.

Flotasyonla zenginleştirme iki şekilde yapılır. Birinci tipte magnezitler yüzdürülürken dolomit ve kalsit gibi karbonitik yabancı mineraller, silikatlar gibi gang mineralleri bastırılır. Buna **DÜZ FLOTASYON** denir. Burada toplayıcı olarak yağ asitleri(Na-Oleat 200 gr/ton, Lipol 1,5 kg/ton) ve sabunlar, bastırıcı olarak soda, kalgon(0,5 kg/ton) ve  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ (5 kg/ton). Flotasyon hafif alkali ortamda pH 8-9 civarında olmalıdır. İkinci tip flotasyon yönteminde(**TERS FLOTASYON**) ise gang mineralleri uzun zincirli aminlerle yüzdürülürken magnezit bastırılır (KAYA, 1991, 1992; M.M.O., 1975).

## 2.10. Magnezitin Kullanım Alanları

### 2.10.1. Magnezyum bileşiklerinin kullanım alanları

Teknikte kullanılan toplam magnezyumun %90'ından fazlası, magnezyum bileşikleri şeklinde gerçekleşmektedir. Bu alan içinde en büyük bölümü sinter magnezit ile sinter dolomit teşkil etmektedir. Bu iki önemli ara maddenin en önemli tüketicileri demir ve çelik endüstrisidir. Sinter magnezit, demir-çelik ve diğer metalurjik tesislerdeki fırın kaplamalarının en önemli hammaddesini meydana getirmektedir.

Magnezyum bileşiklerinin en önemli kullanım alanları çizelge 2.8'de derlenmiştir.

Çizelge 2.8. Magnezyum bileşiklerinin kullanım alanları

### **Magnezyum Oksit (Magnezya)**

**Refrakter (sinter) magnezit:** Bazik refrakter malzemeler

**Kostik kalsine magnezya:** Çimento, suni ipek, suni gübre, izolasyon, metalik magnezyum, refrakter malzemeler, kimya endüstrisi, uranyum elde edilimi, kağıt endüstrisi.

**Özel kostik kalsine magnezit:** Kauçuk, abrasif, dolgu malzemesi, ilaç, refrakter malzemeler, gübre, elektrik izolasyonu, neopren bileşikler, çimento.

**Çökelti magnezyum karbonat:** İzolasyon, abrasifler, pigment ve boyalarda, cam, mürekkep, seramik malzemelerde, kimya ve gübre sanayiinde.

**Magnezyum Hidroksit:** Şeker rafinasyonu, ilaç endüstrisi, magnezyum oksit elde edilimi.

**Magnezyum Klorür:** Metalik magnezyum elde edilimi, çimento, seramik malzemeler, tekstil, kağıt ve kimya endüstrisi.

**Magnezyum Sülfat:** İlaç, boya, gübre endüstrisi ile patlayıcı madde ve kiprit elde edilimi.

---

Yararlanılan kaynak: Magnezit. M.M.O. yayını, 1975, Ankara

### **2.10.2. Metalik magnezyum kullanım alanları.**

Düşük özgül ağırlığı, kolay işlenebilmesi, dökümde kolay şekil verilebilmesi, yüksek mukavemeti ve olumlu anodik davranışı nedeniyle metalik magnezyum endüstrinin önemli ve kıymetli bir malzemesi haline gelmiştir. Magnezyum metali hem aliminyum hem magnezyum alaşımlarında uçak, makina, alet v.b. yapımında kullanılır.

Magnezyum; titanyum, zirkon, hafniyum, uranyum ve berilyum üretiminde redüktan olarak kullanılır. Kimyasal özelliklerinden dolayı kuru pil yapımında koruyucu anot olarak önemli oranda tüketilir. Ayrıca matbaacılıkta, piroteknikte alaşım elementi olarak da kullanılır (M.T.A., 1982).

## 2.11. Magnezit Pazarlaması ve Satış Şartları

Hammadde olarak magnezit piyasaya şu ticari şekillerde sunulur:

1. Ham parça magnezit
2. Öğütülmüş kostik kalsine magnezit
3. Normal sinter magnezit tozu
4. Refrakter sinter magnezit(peletlenmiş, biriketlenmiş veya çift sinterlenmiş şekilde)
5. Refrakter malzeme halinde.

Magnezit ve magnezit ürünlerinin kalite ve fiyatları arasında büyük bir ilişki vardır. Jel magnezitte  $\text{SiO}_2$  oranı %3,  $\text{CaO}$  %3 ve  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  %1'dir. Kristalin magnezitte ise  $\text{SiO}_2$  %6,  $\text{CaO}$  %5,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  %11 olarak bilinmektedir. Görüldüğü gibi jel magnezitte konulan spesifikasyonlar gerçekleştirilmesi daha zor nitelik taşımaktadır.

Refrakter malzeme üretiminin  $\text{CaO}/\text{SiO}_2$  oranınının 2/1 olması ile daha kolaylaştığı ve herşeyden önce B oranının etkisini daha az gösterdiği göstermiştir. Bu nedenle bu oran fiatlarda önemli bir etken olmaktadır.

Cevherin özgül ağırlığı elde edilecek refrakter malzemelerinin fiziksel dayanıklılığı için önemli bir faktördür. Özgül ağırlığı 3,0'dan yüksek olması şartı arandığı gibi, bu değerden her  $0,1 \text{ gr/cm}^3$  artış için prim verilir.

Refrakter malzeme üretimine uygun magnezit için bor oranı önemli bir etkidir. Resmi olmayan kayıtlara göre %0,17'den fazla bor kapsayan magnezitlerden refrakter cevher üretiminde kullanılmazlar.

Ham magnezitte  $\text{MgO}$  oranı %42-43, kalsine cevherde ise %93,5 olarak belirlenmiştir. Artış veya düşüş için prim veya ceza verilir.

Cevherin kristalliği de özelliğini etkileyen bir faktördür. Refrakter amaçlı sinter magnezitlerde, kristallerin mümkün olduğu kadar büyük fakat düzensiz bir dağılım içinde olması, dayanıklılığı arttırıcı bir etkidir ve fiyatlandırmada gözönüne alınır.

Refrakter malzemede bu faktörlere ek olarak, porozite, yüksek sıcaklığa dayanıklılık, torsiyondaki akıcılığın düşük olması, cürufa karşı kimyasal dayanıklılık ve yüksek sıcaklıktaki hacim duyarlılığı kalite ve fiatlandırmada etkendirler (KAYA, 1992; M.M.O., 1975).

### 3. DENEYSEL ÇALIŞMA VE SONUÇLAR

#### 3.1. Kalsinasyon ve Öğütme İle Zenginleştirme Deneyleri

Çitosan Konya Krom Magnezit Tuğla Sanayii Müessesesi Argıt ocağından 100 kg. civarında magnezit numunesi alınmıştır. Numune boyutu yaklaşık -2 cm. civarındadır.

İlk önce tüm numune laboratuvar çeneli kırıcısıyla -0,5 cm. altına geçirilmiştir. Numune hazırlama akım şeması şekil 3.1'de verilmektedir.

Kalsinasyon ve öğütme ile zenginleştirme akım şeması şekil 3.2'de verilmektedir.

Dereceli kalsinasyon 500, 600, 700, 800 ve 900°C'de MF 120 NÜVE marka laboratuvar fırınında yapılmıştır. Kalsinasyon için 200 gr. numune porselen kaplarda fırına oda sıcaklığından itibaren konmuştur. Fırın ısı istenilen dereceye geldikten sonra numuneler fırında 2 saat bırakılmıştır. Her yarım saatte bir karıştırılmıştır. Fırına beslenen örneğin miktarı CO<sub>2</sub>(g) uçmasından dolayı azalmıştır.

Fırından çıkan malzeme konileme-dörtleme yöntemiyle azaltılıp 0,5 mm.(30 meş) elekten kuru olarak elle elenmiştir. Elek altı analiz için ayrılmıştır. Elek üstü 12x30 cm. boyutlarındaki plastik bir değirmende seramik+çelik bilyalarla yaş olarak 30 dakika öğütülmüştür. Ortam ağırlığı 1,2 kg'dır. Değirmene 250 ml. saf su ilave edilmiştir.

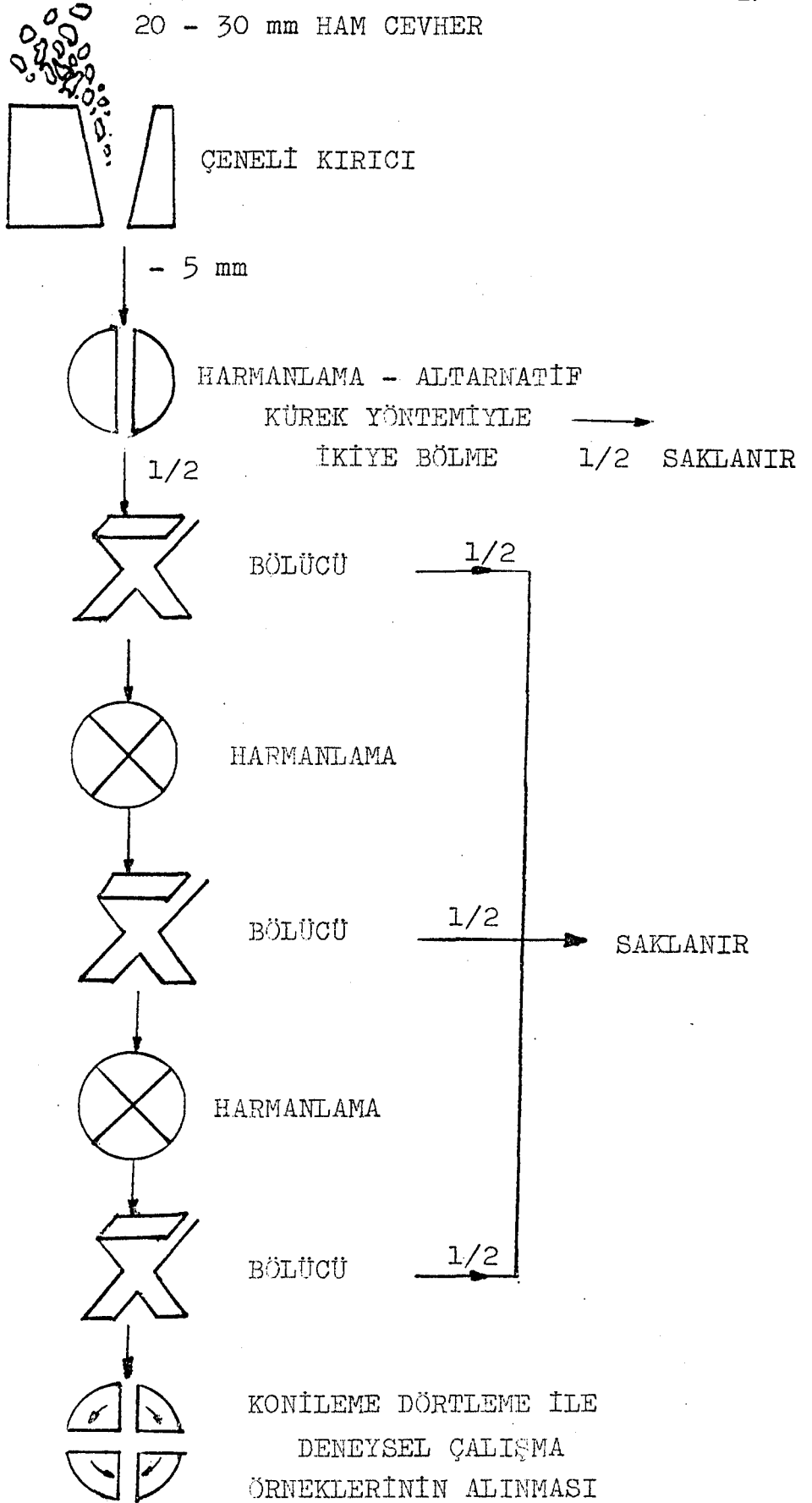
Değirmen çıkışı tekrar 0,5 mm(30 meş) elekten yaş elenmiştir. Elek altı ve elek üstü etüvde 110°C'de kimyasal analiz için kurutulmuştur.

Analiz için numune alınan 4 nokta şekil 3.2'deki akım şemasında görülmektedir.

Değirmene beslenen(C) ve değirmenden çıkan(D) malzemelerden numune alınamamıştır. Bunların tenörleri hesaplama yoluyla bulunmuştur.

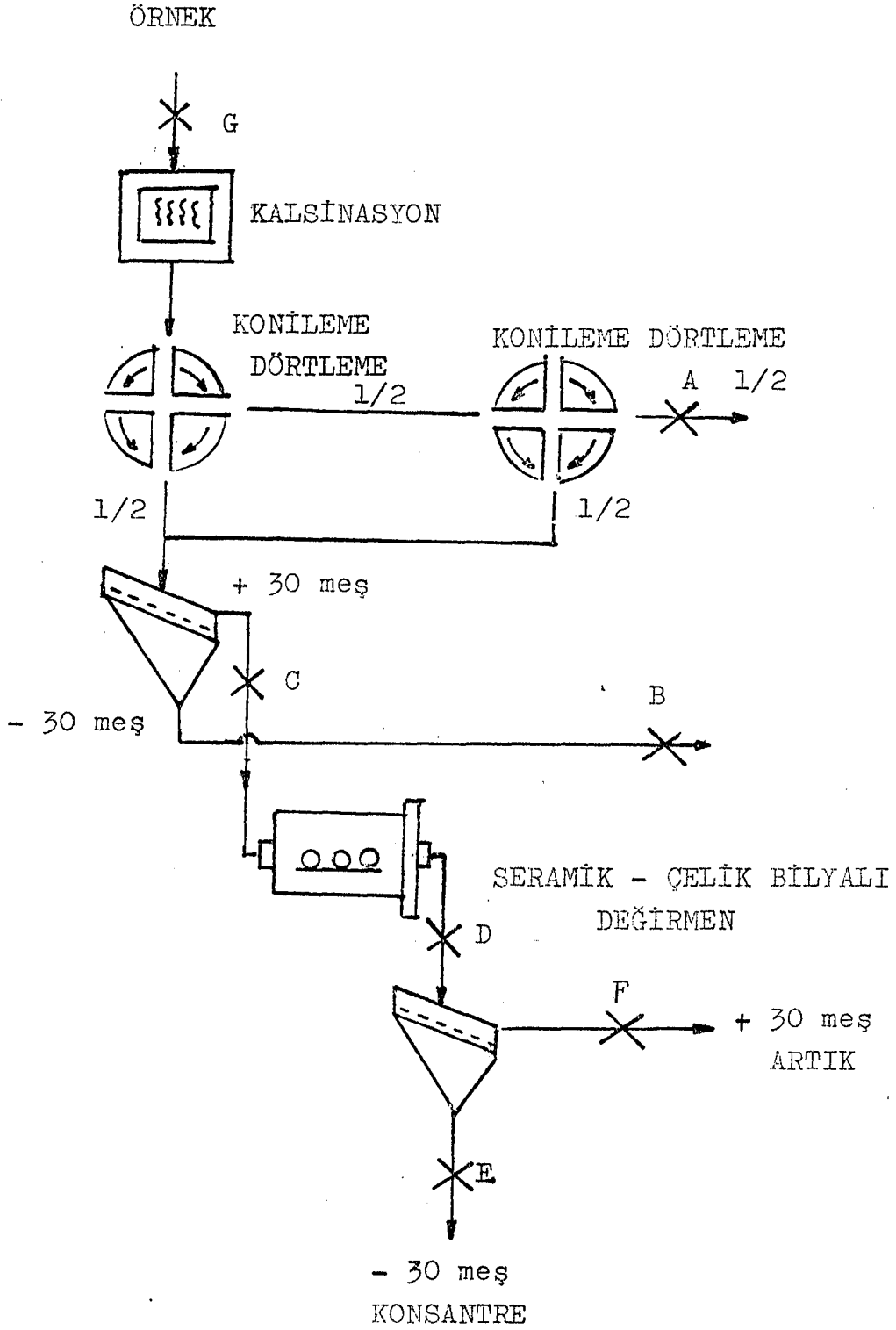
Bir test numune kalsine edilmeden aynı akım şeması kullanılarak zenginleştirilmeye çalışılmıştır. Bu test için kalsinasyonun gerekli olup olmadığı temel olarak düşünülmüştür.

Bilyalı değirmende seçimli bir boyut küçültme yapılamamaktadır. Çekiçli(şoklu) laboratuvar kırıcısı, yukarıdaki en iyi kalsinasyon deney sonuçlarından, değirmen yerine, daha seçimli bir kırma yaptığı için kullanılmıştır. Çekiçli kırma kuru olarak yapılmıştır. Bu test için 6 noktadan(C ve D dahil) numune alınmış ve analiz edilmiştir.



Şekil 3.1. Numune hazırlama akım şeması.





Şekil 3.2. Kalsinasyon ve öğütme ile zenginleştirme akım şeması.

### 3.1.1. Kalsinasyon+öğütme ile zenginleştirme deney sonuçları

Kalsinasyonsuz, 500°C, 600°C, 700°C, 800°C ve 900°C'de kalsinasyon+öğütme ile zenginleştirme sonuçları çizelgeler halinde verilmiştir.

Numune yerleri şekil 3.2'de verilmiştir. Çizelgelerde %Ağırlık, %MgO, %CaO tenör ve randımanları verilmektedir.

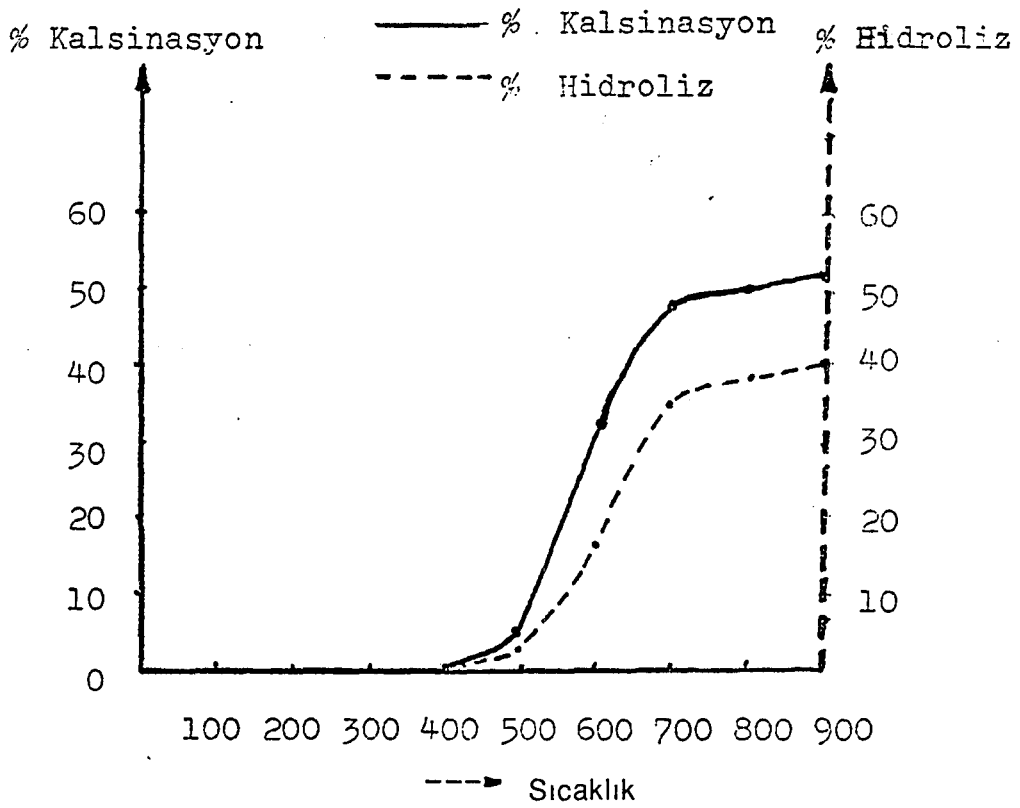
Argit magnezit numunesinin geldiği gibi(G) yapılan analiz sonuçları şöyledir: %45 MgO, %3,34 CaO ve %0,39 SiO<sub>2</sub>'dir.

Değirmene beslenen kalsine edilmiş malzeme miktarı, yaş öğütmeden sonra MgO'in su alarak Mg(OH)<sub>2</sub>'e dönüşmesi sonucu, değirmen çıkışında artmaktadır. Çizelgedeki %Hidroliz(H) değirmenden çıkan malzeme ile besleme arasındaki farkın beslemeye oranı olarak hesaplanmıştır.

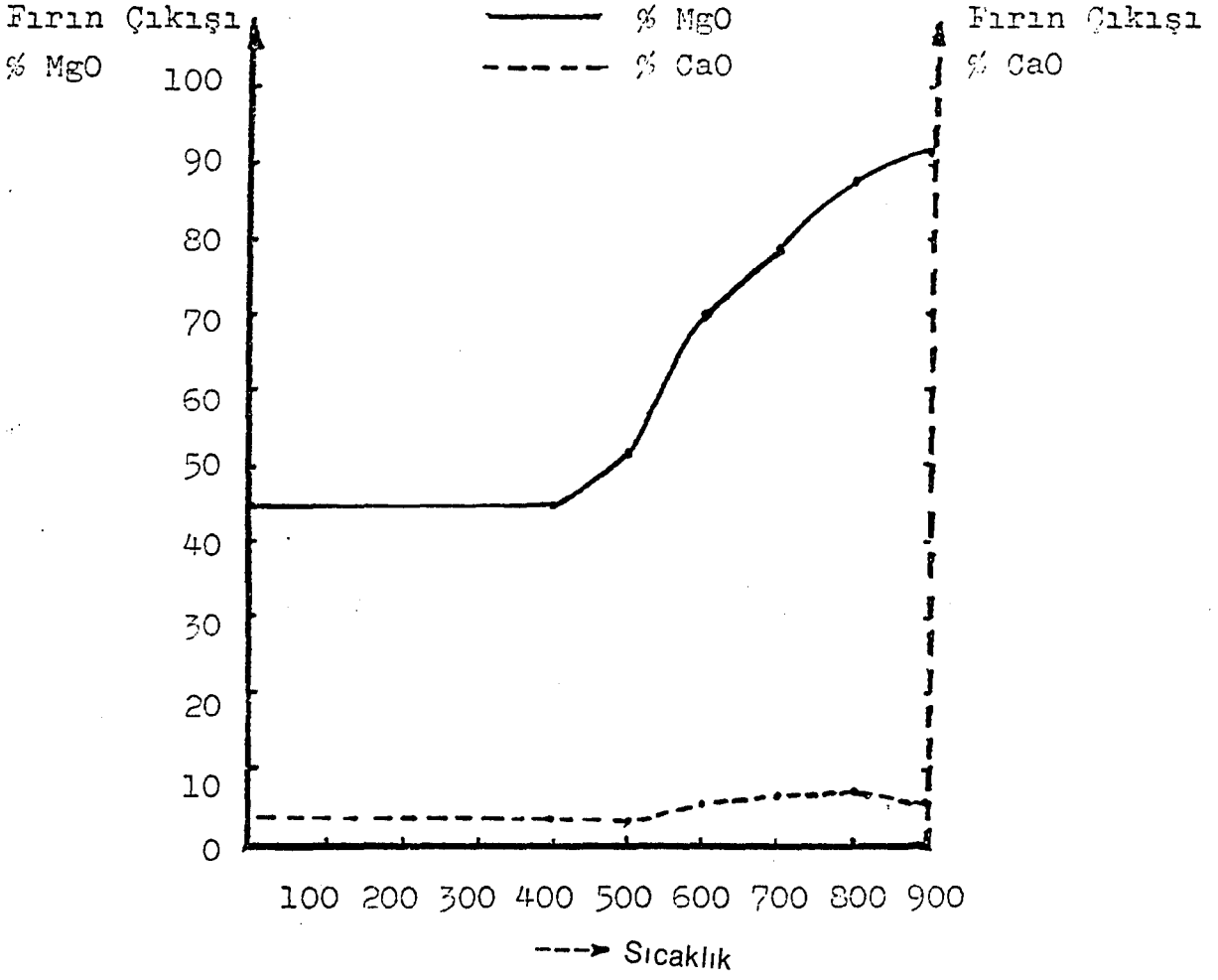
%Kalsinasyon(K) ise fırına giren ve fırından çıkan malzeme miktarları arasındaki farkın, fırına giren malzemeye oranı olarak hesaplanmıştır.

Şekil 3.3 fırın sıcaklığının %kalsinasyon ve %hidroliz üzerine etkilerini göstermektedir. MgCO<sub>3</sub> 400°C'den itibaren bozuşmaya başlar ve 680°C'de bozuşmayı tamamlar. MgCa(CO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> ise 730°C'de başlar ve 1000°C'de biter. %Kalsinasyon ve %hidroliz fırın sıcaklığı arttıkça başlangıçta hızlı bir şekilde artar 700°C'den itibaren artış hızı azalır.

Şekil 3.4'de fırın sıcaklığının numunenin MgO ve CaO tenörlerine olan etkilerini göstermektedir. Numunenin MgO ve CaO tenörü kalsinasyon sıcaklığı arttıkça artmaktadır.



Şekil 3.3. Fırın sıcaklığının %kalsinasyon ve %hidroliz üzerine etkisi.



Şekil 3.4. Fırın sıcaklığının MgO ve CaO tenörlerine etkisi.

### **3.1.1.1. 500°C'de kalsinasyon+öğütme:**

500°C'de %4,85 kalsinasyon, %3,33 hidroliz sağlanmıştır.

Gelen numunenin(G) 500°C'de kalsinasyonu sonucunda numunenin MgO'i %45'ten %51'e çıkmıştır. Kalsinasyon sonrası eleme sonunda elek altına geçen malzemenin CaO tenörü %3,19'dan %3,09'a düşmüştür. Elek altında CaO tenörü %5,18'e çıkmıştır. MgO ve CaO randımanları elek altında %16 civarındadır.

Öğütme sonrası elemelerde elek altında CaO %3,25 ve elek üstünde %6,52'dir. Elek altı MgO randımanı %20 ve CaO randımanı %14 civarındadır. Bu sonuçlardan görüldüğü gibi 500°C'de başarılı sonuç elde edilememiştir.

Deney sonuçları Çizelge 3.1'de verilmektedir.

### **3.1.1.2. 600°C'de kalsinasyon+öğütme:**

600°C'de %33,4 kalsinasyon ve %17 hidroliz gerçekleşmiştir. Fırından çıkan malzemenin MgO'i %71 ve CaO'i %5,6 civarındadır. Öğütme öncesi elek altında CaO tenörü %4,35 ve MgO %73 civarındadır. Elek altı MgO randımanı %23 ve CaO randımanı %17 civarındadır. Öğütme sonrası elek altında %4 CaO ve %65 MgO'lik bir malzeme elde edilmiştir. MgO randımanı %76 ve CaO randımanı %57'dir. Bu derecede kalsinasyon ve öğütme CaO'i %28 azaltmıştır.

Deney sonuçları çizelge 3.2'de verilmektedir.

Çizelge 3.1 500 C'de Kalsinasyon ve Öğütme Deney Sonuçları

Kalsinasyona Giren Kütle: 200 gr.

Kalsinasyondan Çıkan Kütle: 190.3 gr.

% Kalsinasyon: 4.85

AKIŞ KOLU	AĞIRLIK		TENÖRLER(%)		BİRİM(%)		DAĞILIM (%)	
	(gr)	(%)	MgO	CaO	MgO	CaO	MgO	CaO
A	140.50	100.00	51.33	3.19	5133.00	319.00	100.00	100.00
B	23.40	16.65	49.85	3.09	830.24	51.46	16.17	16.13
C	117.10	83.35	51.63	5.18	4302.76	267.54	83.83	83.87
D	121.00	100.00	60.60	5.76	6060.26	576.06	100.00	100.00
E	28.10	23.22	50.66	3.25	1176.48	75.48	19.41	13.10
F	92.90	76.78	63.61	6.52	4883.78	500.59	80.59	86.90
H	3.90	3.33						

Çizelge 3.2 600 C'de Kalsinasyon ve Öğütme Deney Sonuçları

Kalsinasyona Giren Kütle: 150 gr.

Kalsinasyondan Çıkan

Kütle: 101 gr.

% Kalsinasyon: 32.67

AKIŞ KOLU	AĞIRLIK		TENÖRLER(%)		BİRİM(%)		DAĞILIM (%) <sub>1</sub>	
	(gr)	(%)	MgO	CaO	MgO	CaO	MgO	CaO
A	76.20	100.00	70.75	5.64	7075.00	564.00	100.00	100.00
B	17.00	22.31	72.70	4.35	1621.92	97.05	22.92	17.21
C	59.20	77.69	70.19	6.01	5453.08	466.95	77.08	82.79
D	69.20	100.00	61.03	5.14	6102.91	514.34	100.00	100.00
E	49.70	71.82	64.76	4.05	4651.12	290.87	76.21	56.55
F	19.50	28.18	51.52	7.93	1451.79	223.46	23.79	43.45
H	10.00	16.89						

### **3.1.1.3. 700°C'de kalsinasyon+öğütme:**

700°C'de %49 kalsinasyon ve %35 hidroliz gerçekleşmiştir. Fırından çıkan malzemenin MgO'i %79 ve CaO'i %7 civarındadır. Kalsinasyon ısı arttıkça fırından çıkan malzemenin MgO ve CaO tenörlerinde artış kalsinasyon derecesindeki artışın dolayı artmaktadır. Öğütme öncesi sadece eleme ile elek altına geçen malzemenin CaO'i %5,30'a %16 randımanla düşmüştür. MgO'de ise %79'dan %85'e artma olmuş, fakat randıman oldukça düşüktür (%22).

Öğütme sonrası elemelerde, elek altına geçen malzemede %5,82 CaO ve %74 MgO vardır. MgO randımanı %94'dir, fakat CaO'in %22'si atılabilmektedir.

Deney sonuçları çizelge 3.3'de verilmektedir.

### **3.1.1.4. 800°C'de kalsinasyon+öğütme:**

800°C'de %50 kalsinasyon ve %38 hidroliz gerçekleşmiştir. Dolomit'te bu ısıda bozuşmaya başlamıştır. Kalsinasyon derecesinde 700°C'den 800°C'ye olan artış çok azdır. Bu magnezitin bozuşmasının 700°C'de aşağı yukarı tamamlamasından olabilir.

Fırın çıkışı malzemede MgO %88 ve CaO %7 civarındadır. Sadece elemeyele elek altına geçen malzemede daha önceki testlere zıt olarak CaO oranı artmıştır. Elek üstünün CaO oranı beslemeye nazaran düşmüştür.

Öğütme sonrası malzemenin hemen hemen tamamı elek altına geçmiştir. Elek üstünde analiz yapılacak miktarda dahi numune kalmamıştır. Elek altına geçen tüm malzemede CaO tenörü %7'den %5,4'e düşmüştür.

Deney sonuçları çizelge 3.4'de verilmektedir.



Çizelge 3.3 700 C'de Kalsinasyon ve Öğütme Deney Sonuçları

Kalsinasyona Giren Kütle: 200 gr.

Kalsinasyondan Çıkan Kütle: 102.9 gr.

% Kalsinasyon: 48.55

AKIŞ KOLU	AĞIRLIK		TENÖRLER(%)		BİRİM(%)		DAĞILIM (%)	
	(gr)	(%)	MgO	CaO	MgO	CaO	MgO	CaO
A	102.90	100.00	78.93	6.96	7893.00	696.00	100.00	100.00
B	21.00	20.41	84.83	5.30	1731.22	108.16	21.93	15.54
C	81.90	79.59	77.42	7.39	6161.78	587.84	78.07	84.46
D	110.90	100.00	71.64	6.93	7164.29	693.24	100.00	100.00
E	102.80	92.70	73.81	5.82	6841.90	539.49	95.50	77.82
F	8.10	7.30	44.14	21.05	322.39	153.75	4.50	22.18
H	29.00	35.41						

Çizelge 3.4 800 C'de Kalsinasyon ve Öğütme Deney Sonuçları

Kalsinasyona Giren Kütle: 200 gr.

Kalsinasyondan Çıkan Kütle: 100.6 gr.

% Kalsinasyon: 49.70

AKIŞ KOLU	AĞIRLIK		TENÖRLER(%)		BİRİM(%)		DAĞILIM (%)	
	(gr)	(%)	MgO	CaO	MgO	CaO	MgO	CaO
A	75.90	100.00	88.13	7.03	8813.00	703.00	100.00	100.00
B	17.60	23.19	88.70	11.22	2056.81	260.17	23.34	37.01
C	58.30	76.81	87.96	5.77	6756.19	442.83	76.66	62.99
D	80.35	100.00	---	---	---	---	100.00	100.00
E	80.10	99.69	73.66	5.37	7343.08	535.33	---	---
F	0.25	0.31	---	---	---	---	---	---
H	22.05	37.82	---	---	---	---	---	---

### **3.1.1.5. 900°C'de kalsinasyon+öğütme:**

900°C'de, %51 kalsinasyon ve %41 hidroliz sağlanmıştır. Fırın çıkışı malzemede MgO %91 ve CaO %5,7 civarındadır.

900°C'de magnezit ve dolomit bozuştüğundan 800°C'dekine paralel sonuçlar bulunmuştur.

Deney sonuçları çizelge 3.5'de verilmektedir.

### **3.1.1.6. 700°C'de kalsinasyon ve çekiçli kırıcıyla öğüterek zenginleştirme:**

Çizelge 3.6'da görüldüğü gibi 700°C'de %48,6 kalsinasyon sağlanmıştır. Bu bir önceki 700°C ile hemen hemen aynıdır. Fırın çıkışı malzemenin MgO'i %75 ve CaO'i %6 civarındadır. Öğütme öncesi eleme CaO tenörünü %5,28'e %79 kayıpla düşürebilmiştir. C ve D noktasındaki numunelerin analizlerin MgO için %1 analiz hatası ve CaO için %10'un üzerinde analiz hatası göstermektedir. Öğütme sonrası elek altına giden üründeki CaO tenörü %6,24'den %4,95'e düşmüştür.

### **3.1.1.7. Kalsinasyonsuz öğütme ile zenginleştirme:**

Bir test numune kalsine edilmeden aynı akım şeması kullanılarak zenginleştirilmeye çalışılmıştır. Başarılı bir sonuç elde edilememiştir.

Deney sonuçları çizelge 3.7'de görülmektedir.

## **3.1.2. Kalsinasyon+öğütme sonuçlarının genel değerlendirmesi**

Kalsinasyon+eleme veya kalsinasyon+öğütme(değirmen/çekiçli kırıcıyla) ile seçimli magnezit-dolomit ayrımı sağlanamamıştır. Dolomitin magnezit içinde ince dağılım şeklinde bulunması aradaki sertlik farkının gizlenmesine sebep olabilir.

Çizelge 3.5 900 C'de Kalsinasyon ve Öğütme Deney Sonuçları

Kalsinasyona Giren Kütle: 200 gr.

Kalsinasyondan Çıkan Kütle: 97.6 gr.

% Kalsinasyon: 51.20

AKIŞ KOLU	AĞIRLIK		TENÖRLER(%)		BİRİM(%)		DAĞILIM (%)	
	(gr)	(%)	MgO	CaO	MgO	CaO	MgO	CaO
A	73.70	100.00	91.25	5.65	9125.00	565.00	100.00	100.00
B	15.60	21.17	88.19	7.11	1866.71	150.50	20.46	26.64
C	58.10	78.83	92.07	5.26	7258.29	414.50	79.54	73.36
D	81.65	100.00	---	---	---	---	100.00	100.00
E	81.10	99.33	77.31	5.53	7678.92	546.27	---	---
F	0.55	0.67	---	---	---	---	---	---
H	23.55	40.53						

Çizelge 3.6 700 C'de Kalsinasyon ve Çekiçli Kırıcıyla Öğütme Deney Sonuçları  
 Kalsinasyona Giren Kütle: 250 gr. Kalsinasyondan Çıkan Kütle: 128.5 gr.  
 % Kalsinasyon: 48.60

AKIŞ KOLU	AĞIRLIK		TENÖRLER(%)		BİRİM(%)		DAĞILIM (%)	
	(gr)	(%)	MgO	CaO	MgO	CaO	MgO	CaO
A	99.68	100.00	75.18	6.24	7518.00	624.00	100.00	100.00
B	25.14	25.22	73.31	5.28	1848.93	133.17	24.59	21.34
C	74.54	74.58	73.22	6.65	5669.07	490.83	75.41	78.66
D	64.50	100.00	72.06	5.86	7483.43	573.47	100.00	100.00
E	57.30	88.84	76.06	4.95	6756.96	439.74	90.26	76.68
F	7.20	11.16	65.08	11.98	726.47	133.73	9.71	23.32
H	HİDROLİZ YOK							

Çizelge 3.7

Kalsine Edilmeden Öğütmeye Zenginleştirme Deney Sonuçları

AKIŞ KOLU	AĞIRLIK		TENÖRLER(%)		BİRİM(%)		DAĞILIM (%)	
	(gr)	(%)	MgO	CaO	MgO	CaO	MgO	CaO
A	200.00	100.00	45.44	3.34	4544.00	334.00	100.00	100.00
B	36.00	18.00	45.62	3.64	821.16	65.52	18.07	19.62
C	164.00	82.00	45.44	3.52	3726.08	288.64	81.93	80.38
D	164.00	100.00	42.04	4.38	4204.00	438.00	100.00	100.00
E	59.00	35.98	46.80	2.32	1683.86	83.47	40.05	19.06
F	105.00	64.02	39.23	5.60	2511.50	358.51	59.95	80.94
H	HİDROLİZ YOK							

Deneysel sistemin yapısından gelen problemler analizlerin sapmalarını arttırdığı çalışma sonunda gözlenmiştir. Örneğin, kalsine edilen numunenin yaş olarak öğütülüp, elenmesi numunenin hidrolizine(su alma) neden olmuştur. Bu da MgO'in Mg(OH)<sub>2</sub>'ye dönüşmesine sebep olmuştur. Su ile temas eden numunelerin analizlerinde, analiz değerleri gerçek değere göre küçük çıkmıştır. Ayrıca genel numunede CaO oranının %3-7 arasında olması ve analizlerin titrasyonla yapılması, yapılacak en küçük bir hatayı çok fazla büyütülmektedir.

### 3.2. Dereceli Kalsinasyon ve Ağır Ortam İle Zenginleştirme

Magnezit ve dolomitik+silisik gangı farklı ısılarda kalsine ederek yoğunluk farkı yaratmak buradaki amaçtır. Magnezitin kısmen veya tamamen kalsine olarak 1.3-1.9 gr/cm<sup>3</sup> yoğunluk kazanırken, gang 2.2-2.7 gr/cm<sup>3</sup> yoğunluk kazanır. Böylece magneziti gangından yoğunluk farkından yararlanarak ayırmak ağır ortam ayırmasıyla mümkün olabilir. Magnezit 600,700 ve 800°C'de kalsine edilmiştir.

Fırından çıkan kalsine ürün kuru olarak 4; 1,7; 0,6 mm(4, 10, 25 meş) elek serisinden elenerek; +4 mm, -4+1,7 mm, -1,7+0,6 mm ve -0,6 mm boyut aralıklarına sınıflandırılmıştır.

Ağır ortam oluşturmak için elimizde bulunan ZnSO<sub>4</sub> ve ZnCl<sub>2</sub> denenmiştir. ZnSO<sub>4</sub> ile 1,89 gr/cm<sup>3</sup>'den daha yüksek yoğunluğa çıkılamadığından ZnCl<sub>2</sub> kullanımı tercih edilmiştir.

Her boyut aralığındaki ürün ZnCl<sub>2</sub>'den yapılan ortam yoğunlukları 1,9; 2,0; 2,1 gr/cm<sup>3</sup> olan, 250 ml'lik beherlerde yüzme-batma deneylerine tabi tutulmuştur. Soğuk suda ZnCl<sub>2</sub>'den elde edilebilecek en yüksek yoğunluk 1,92 gr/cm<sup>3</sup>'tür. Daha yüksek özgül ağırlık ZnCl<sub>2</sub>'nin sıcak suda çözülmesiyle sağlanmıştır.

İstenilen yoğunluktaki ZnCl<sub>2</sub> çözeltisi ısıtıcı üzerinde beherde hazırlandı. Daha sonra beher ısıtıcıdan alındı soğumaya bırakıldı. Malzeme ortama elle beslendi. Tüm parçalar cam bagetle karıştırıldı. 2 dakika beklemeden sonra yüzen parçacıklar tel elekle toplandı, batan parçalar çözeltiden ayrıldıktan sonra, parçalar saf suyla yıkandı.

Yüzen ve batan malzeme fırında  $110^{\circ}\text{C}$ 'de kuruyuncaya kadar bekletildi ve daha sonra analiz edildi.

Kalsinasyon+gravite(ağır ortam) zenginleştirme akım şeması şekil3.5'de verilmiştir.

### 3.2.1. Dereceli kalsinasyon+ağır ortam zenginleştirme deney sonuçları

Tüm ağır ortam ile zenginleştirme sonuçları LOTUS 123 paket programıyla hesaplanmıştır. Her boyut, ortam yoğunluğu ve kalsinasyon derecesi için ayrı ayrı hesap yapılmıştır. Her fraksiyonda beslenen malzemenin tenörü yüzen ve batanın miktar ve tenörlerinden hesaplanmıştır.

Tenör farkları  $600$  ve  $700^{\circ}\text{C}$ 'de  $((\text{yüzen-besleme})/\text{besleme})\times 100$ ,  $800^{\circ}\text{C}$ 'de  $((\text{batan-besleme})/\text{besleme})\times 100$  şeklinde hesaplanmıştır. MgO'deki pozitif işareti MgO tenörünün artırıldığını gösterir. CaO'deki negatif işareti, CaO tenöründeki % düşmeyi göstermektedir.

Randıman farkları MgO ile CaO arasındaki seçimliliği göstermek için(MgO-CaO olarak) dağılımdan hesaplanmıştır.

$600,700$  ve  $800^{\circ}\text{C}$ 'deki kalsine olan örneğin  $+4$  mm,  $-4+1,7$  mm, $-1,7+0,6$  mm ve  $-0,6$  mm boyut fraksiyonlarındaki ağırlıklarının, %kümülatif elek üstüne göre grafiği şekil 3.5'te görülmektedir.

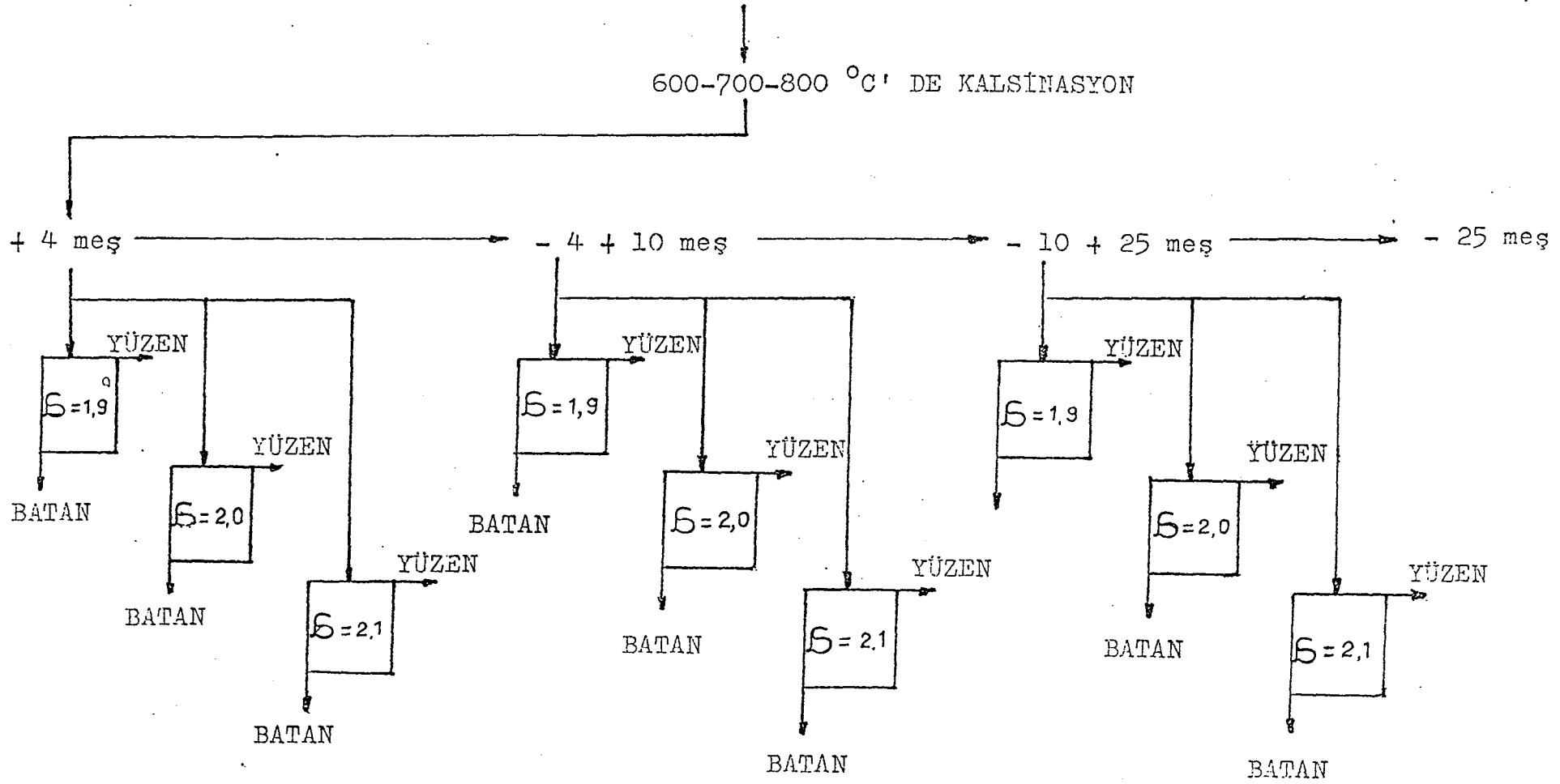
#### 3.2.1.1. $600^{\circ}\text{C}$ 'de kalsinasyon+ağır ortam

$600^{\circ}\text{C}$ 'de kalsine edilen numunenin boyut dağılımı çizelge 3.8'teki gibidir.

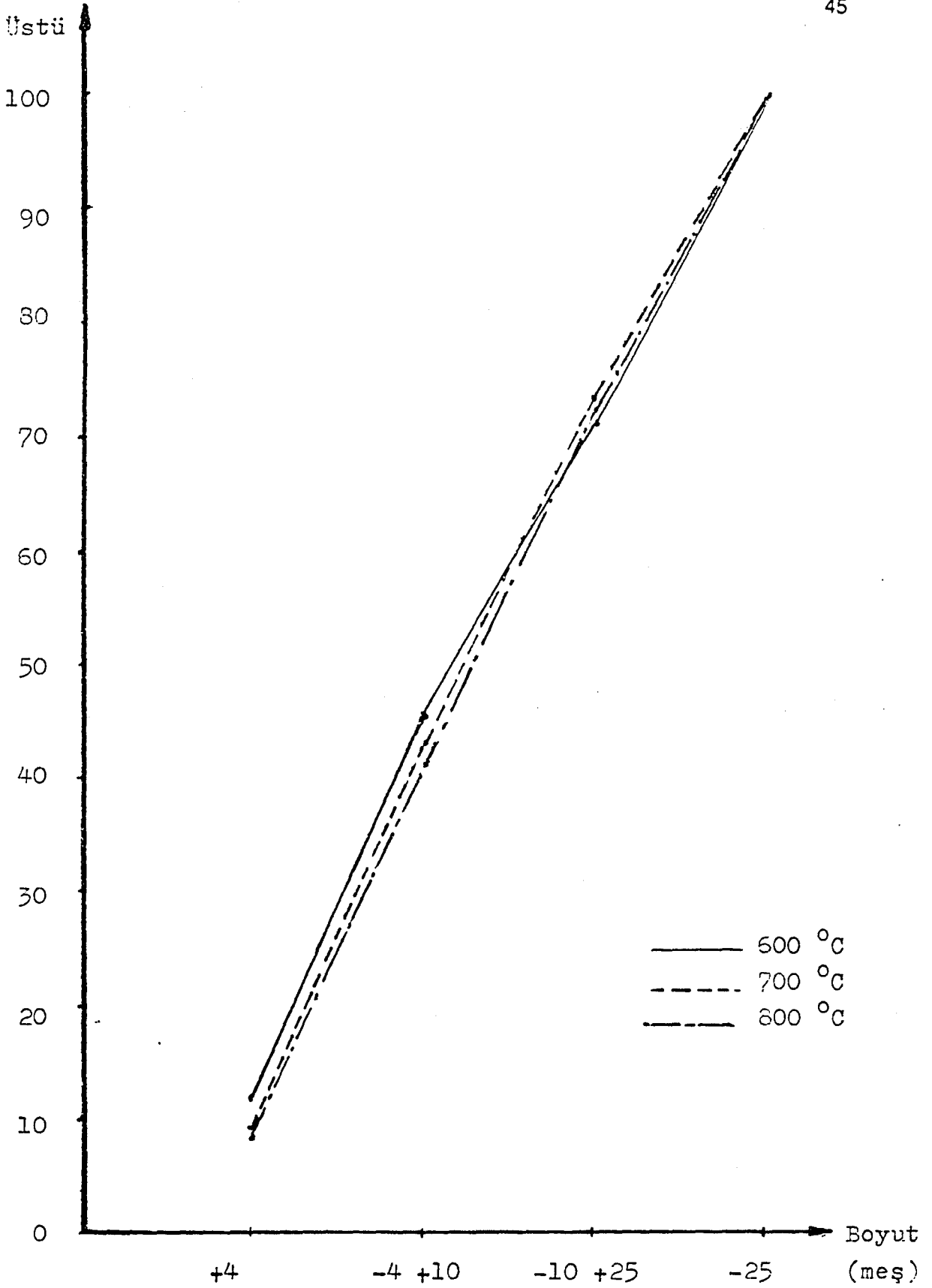


ÖRNEK

600-700-800 °C' DE KALSİNASYON



Şekil 3.5 Kalsinasyon+gravite(ağır ortam) zenginleştirme akım şeması



Şekil 3.6. Farklı sıcaklıkta kalsine olan örneğin, farklı boyut fraksiyonlarındaki ağırlıklarının, kümülatif elek üstüne göre grafiği.

Çizelge 3.8. 600°C'de kalsine edilen numunenin boyut dağılımı.

<b>Boyut (meş)</b>	<b>Ağırlık (gr)</b>	<b>Ağırlık (%)</b>	<b>Kümülatif elek üstü (%)</b>
+ 4	16.40	12.42	12.42
- 4 + 10	43.70	33.11	45.53
- 10 + 25	33.70	25.53	71.06
- 25	38.20	28.94	100.00
TOPLAM	132.00	100.00	- - - -

Çizelge 3.9'da 600°C'de kalsinasyon+ağır ortam ayırması zenginleştirme deney sonuçları verilmektedir.

Şekil 3.7'de 600°C'de kalsinasyon sonucunda her boyut fraksiyonunda randıman farkının yoğunluğa göre değişiminin grafiği görülmektedir.

#### **+4 mm fraksiyonu**

$\rho = 1,9 \text{ gr/cm}^3$ 'te CaO tenörü %4,5'den %2,3'ye düşürülmüş ve MgO tenörü ise %59'dan %67'ye çıkarılmıştır. Fakat batanda CaO randımanı %74 iken Mg randımanı %43'dür.

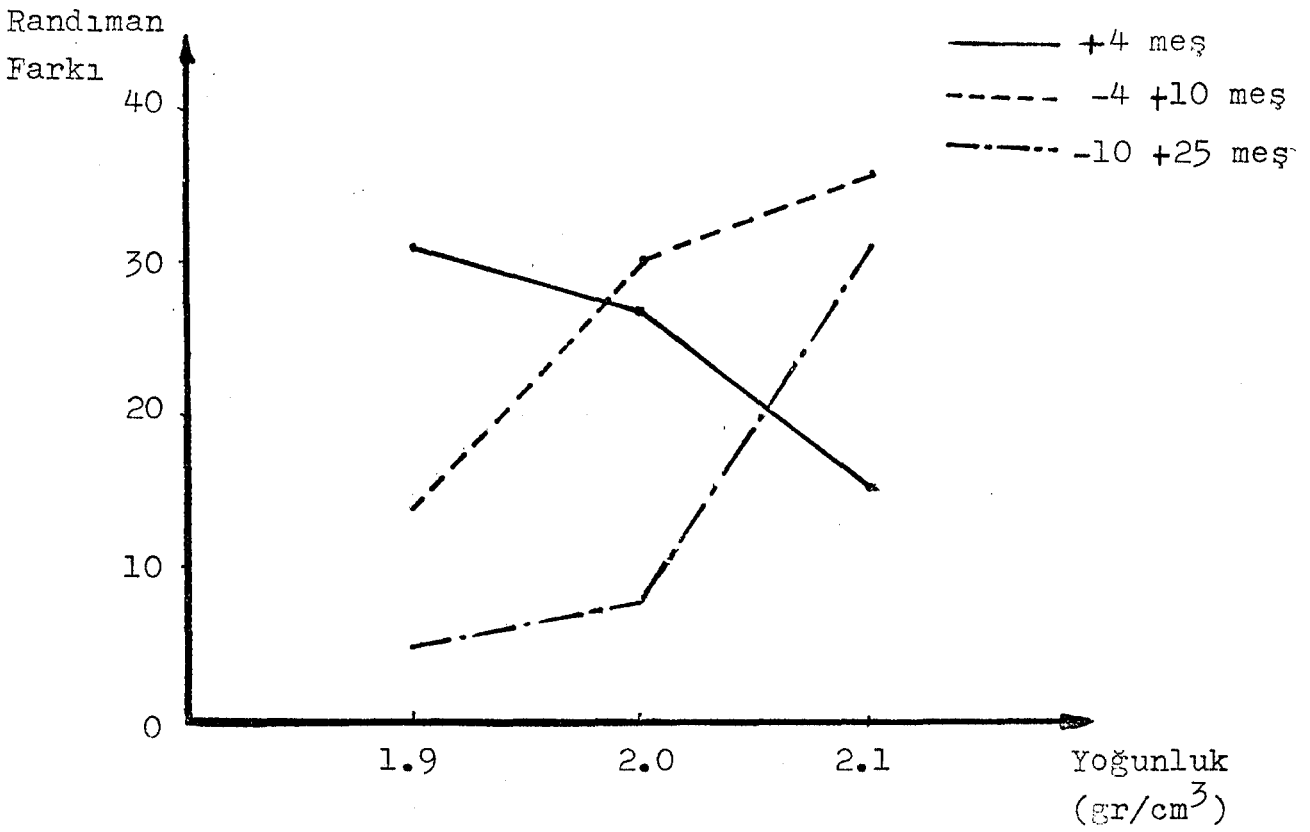
$\rho = 2 \text{ gr/cm}^3$ 'de CaO randımanı %5,2'den %2,14'e düşürülmüştür. Yüzendeki MgO randımanı %71 ve CaO randımanı %43'tür.

$\rho = 2,1 \text{ gr/cm}^3$ 'de CaO tenörü %4,16'dan %3,07'ye düşürülmüştür. Yüzende MgO tenörü %5 oranında artmıştır. Yüzendeki MgO randımanı %63 ve CaO randımanı %42'dir.

+4 mm(4 meş ) fraksiyonunda en iyi ortam yoğunluğu  $1,9 \text{ gr/cm}^3$ 'tür. Çünkü tenör farkı MgO için +%14 iken, CaO'den %48'lik bir düşme sağlanmıştır. Randıman farkı %31'dir.

Çizelge 3.9 600 °C'de Kalsinasyon ve Ağır Ortam Ayırması Deney Sonuçları

Yoğunluk (gr/cm <sup>3</sup> )	Boyut (meş)	Ürünler	Miktar (%)	TENÖRLER(%)		DAĞILIM (%)		TENÖR FARKLARI		RANDIMAN FARKI (MgO-CaO)
				MgO	CaO	MgO	CaO	MgO	CaO	
		Yüzen	50.00	67.10	2.32	56.95	25.81	13.90	-48.39	
1.9	+ 4	Batan	50.00	50.72	6.67	43.05	74.19	-13.90	48.39	31.14
		Besleme	100.00	58.91	4.50	100.00	100.00			
		Yüzen	64.55	64.54	2.14	70.61	43.22	9.39	-33.05	
2	+ 4	Batan	35.45	48.91	5.12	29.39	56.78	-17.10	60.18	27.4
		Besleme	100.00	59.00	3.20	100.00	100.00			
		Yüzen	57.17	59.59	3.07	62.59	42.17	9.48	-26.24	
2.1	+ 4	Batan	42.83	47.54	5.62	37.41	57.83	-12.66	35.03	20.42
		Besleme	100.00	54.43	4.16	100.00	100.00			
		Ort. Besl.	100.00	57.45	3.95					
		Yüzen	30.36	64.94	2.43	31.43	17.17	3.53	-43.44	
1.9	- 4 + 10	Batan	69.64	61.76	5.11	68.57	82.83	- 1.54	18.94	14.26
		Besleme	100.00	62.73	4.30	100.00	100.00			
		Yüzen	44.34	62.62	2.13	50.58	20.33	14.06	-54.15	
2	- 4 + 10	Batan	55.66	48.75	6.65	49.42	79.67	-11.20	43.14	30.25
		Besleme	100.00	54.90	4.65	100.00	100.00			
		Yüzen	70.62	58.73	2.02	75.71	39.62	7.21	-43.90	
2.1	- 4 + 10	Batan	29.38	45.29	7.40	24.29	60.38	-17.33	105.52	36.09
		Besleme	100.00	54.78	3.60	100.00	100.00			
		Ort. Besl.	100.00	57.47	4.18					
		Yüzen	6.25	64.96	1.71	7.28	2.27	16.55	-63.62	
1.9	-10 + 25	Batan	93.75	55.12	4.90	92.72	97.73	- 1.10	4.24	5.01
		Besleme	100.00	55.74	4.70	100.00	100.00			
		Yüzen	13.24	62.99	1.78	13.51	5.33	2.07	-59.71	
2	- 10 + 25	Batan	86.76	61.52	4.82	86.49	94.67	- 0.32	9.1	8.18
		Besleme	100.00	61.71	4.42	100.00	100.00			
		Yüzen	59.84	59.34	2.45	65.39	33.64	9.28	-43.78	
2.1	- 10 + 25	Batan	40.16	46.79	7.20	34.61	66.36	-13.83	65.23	31.75
		Besleme	100.00	54.30	4.36	100.00	100.00			
		Ort. Besl.	100.00	57.25	4.49					



Şekil 3.7. 600°C'de kalsinasyon sonucunda her boyut fraksiyonunda randıman farkının yoğunluğa göre değişimi.

**-4+10 meş fraksiyonu:**

$\xi = 1,9 \text{ gr/cm}^3$ 'te yüzende CaO %4,3'den %2,4'e düşürülmüştür. MgO'te ise %2,2'lik bir artış olmuştur. Fakat yüzende CaO randımanı oldukça düşüktür (%17).

$\xi = 2,0 \text{ gr/cm}^3$ 'te, yüzende CaO %4,65'den %2,13'e düşürülmüş ve MgO tenörü de %55'den %63'e çıkmıştır. Yüzendeki CaO randımanı oldukça düşükken(%20) MgO randımanı %51 oranındadır.

$\xi = 2,1 \text{ gr/cm}^3$ 'de, yüzende CaO tenörü %3,64'den %2,0'ye düşmüştür. CaO randımanı %40 civarındayken MgO randımanı %76 civarındadır.

-4+10 meş fraksiyonunda en iyi ortam yoğunluğu  $2,1 \text{ gr/cm}^3$ 'tür. Bu şartlarda yüzende CaO tenörü %44'e düşürülmüş ve MgO tenöründe %7'lik bir artış sağlanmıştır. Randıman farkı ise %36 civarındadır.

**-10+25 meş fraksiyonu:**

$\xi = 1,9 \text{ gr/cm}^3$ 'de yüzende CaO tenörü %4,70'den %1,71'e düşmüş ve MgO tenörü %56'dan %65'e çıkmıştır. Fakat yüzende MgO randımanı %7'dir.

$\xi = 2,0 \text{ gr/cm}^3$ 'de yüzende CaO tenörü %4,42'den %1,78'e düşürülmüştür. Fakat MgO randımanı çok düşüktür (%14).

$\xi = 2,1 \text{ gr/cm}^3$ 'de yüzende CaO tenörü %4,36'dan %2,45'e düşmüştür. MgO tenörü ise %54'den %62'ye çıkmıştır. Yüzende MgO randımanı %65 ve CaO randımanı %34'dür.

-10+25 meş fraksiyonunda en iyi ortam yoğunluğu  $2,1 \text{ gr/cm}^3$ 'tür. Bu şartlarda CaO yüzde tenörü %44 azaltılmış ve MgO tenörü %10 arttırılmıştır. Randıman farkı ise %32 civarındadır.

Her üç boyut fraksiyonunda yüzende yakın miktarlarda CaO reddi sağlanmıştır.

### 3.2.1.2. 700°C'de kalsinasyon+ağır ortam

700°C'de kalsine edilen numunenin boyut dağılımları çizelge 3.10'da verilmektedir.

Çizelge 3.10. 700°C'de kalsine edilen numunenin boyut dağılımları

<u>Boyut</u> <u>(meş)</u>	<u>Ağırlık</u> <u>(gr)</u>	<u>Ağırlık</u> <u>(%)</u>	<u>Kümülatif elek üstü</u> <u>(%)</u>
+ 4	9.5	9.27	9.27
- 4 + 10	35.0	34.15	43.42
- 10 + 25	30.5	29.76	73.42
- 25	27.5	26.82	100.00
TOPLAM	102.5	100.00	- - - -

Çizelge 3.11'de 700°C'de kalsinasyon+ağır ortam ayırması zenginleştirme deney sonuçları verilmektedir.

Şekil 3.8'de 700°C'de kalsinasyon sonucunda, her boyut fraksiyonunda randıman farkının yoğunluğa göre değişiminin grafiği görölmektedir.

#### **+4 meş fraksiyonu:**

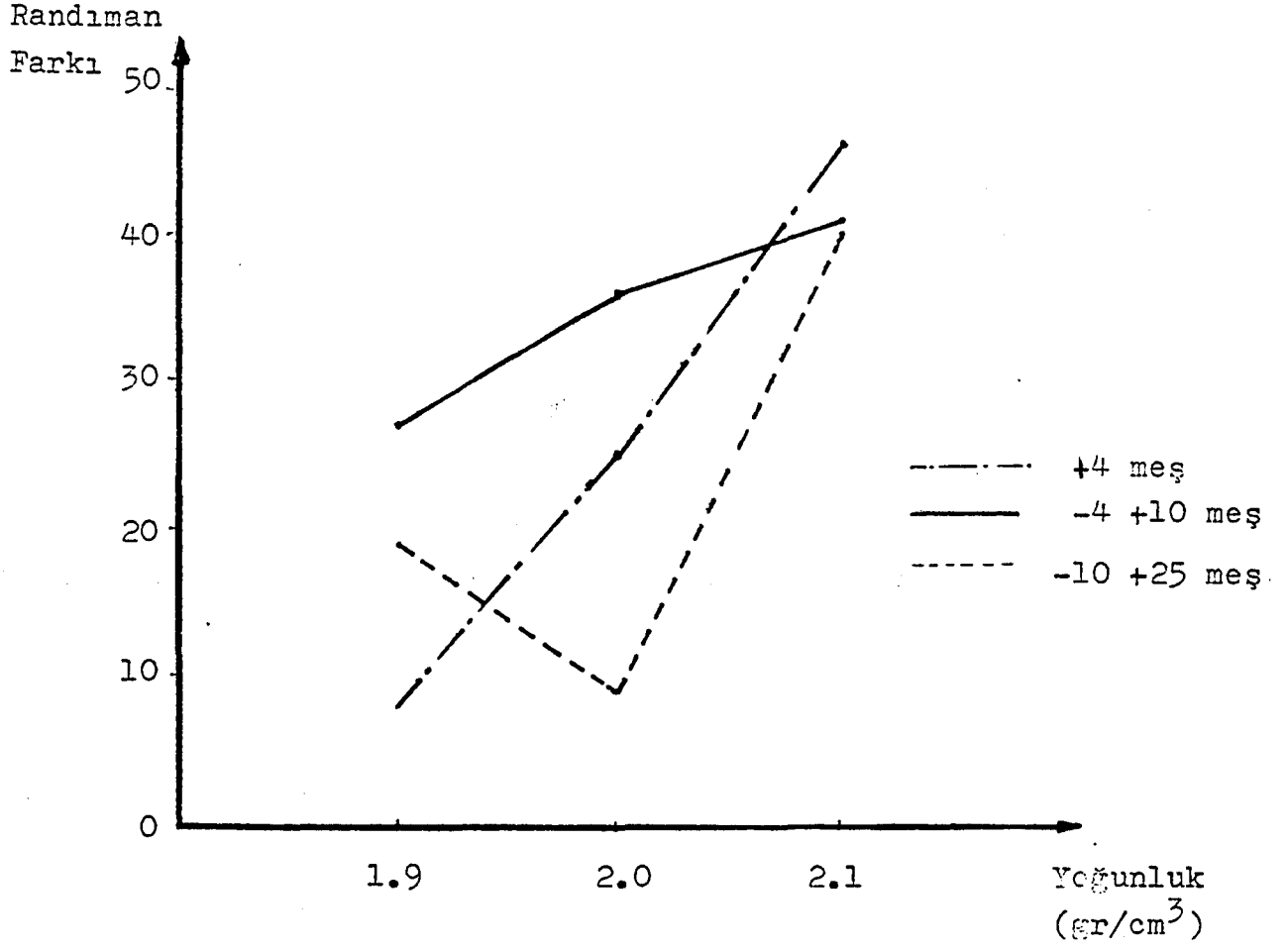
$\epsilon = 1,9 \text{ gr/cm}^3$ 'te, yüzende CaO tenörü %5'den %1,23'e düşmüş ve MgO %61'den %67'ye çıkmıştır. Fakat MgO randımanı %11 ve CaO randımanı %2,5 civarındadır.

$\epsilon = 2,0 \text{ gr/cm}^3$ 'te yüzende CaO %6,1'den %1,7'ye düşürölmüş ve MgO %58,7'den %63'e çıkarılmıştır. Fakat MgO randımanı %35 civarında kalmıştır.

$\epsilon = 2,1 \text{ gr/cm}^3$ 'te, yüzende CaO tenörü %6,8'den %3,3'e düşürölmüştür. MgO randımanı %57'den %62'ye çıkmıştır. MgO randımanı %85 ve CaO randımanı %38'dir.

Yoğunluk (gr/cm <sup>3</sup> )	Boyut (meş)	Ürünler	Miktar (%)	TENÖRLER(%)		DAĞILIM(%)		TENÖR FARKLARI		RANDIMAN FARKI (MgO-CaO)
				MgO	CaO	MgO	CaO	MgO	CaO	
		Yüzen	10.00	67.31	1.23	10.97	2.46	9.73	-75.45	
1.9	+4	Batan	90.00	60.68	5.43	89.03	97.54	-1.08	8.38	8.52
		Besleme	100.00	61.34	5.01	100.00	100.00			
		Yüzen	31.55	63.18	1.68	34.56	8.71	9.54	-72.41	
2	+4	Batan	68.45	55.14	8.12	65.44	91.29	-4.40	33.37	25.85
		Besleme	100.00	57.68	6.09	100.00	100.00			
		Yüzen	78.57	61.50	3.32	85.17	38.47	8.40	-51.04	
2.1	+4	Batan	21.43	39.27	19.47	14.83	61.53	-30.78	187.13	46.7
		Besleme	100.00	56.74	6.78	100.00	100.00			
		Ort. Besl.	100.00	58.59	5.96					
		Yüzen	40.78	84.70	2.63	48.59	20.51	18.18	-49.71	
1.9	-4 + 10	Batan	59.22	62.70	7.02	51.81	79.49	-12.52	34.23	27.69
		Besleme	100.00	71.67	5.23	100.00	100.00			
		Yüzen	50.31	61.70	1.55	54.60	18.14	8.53	-63.94	
2	-4 + 10	Batan	49.69	51.94	7.08	45.40	81.86	-8.64	64.73	36.46
		Besleme	100.00	56.85	4.30	100.00	100.00			
		Yüzen	71.56	80.80	3.14	79.89	38.58	11.63	-46.09	
2.1	-4 + 10	Batan	28.44	51.19	12.58	20.11	61.42	-29.27	115.98	41.31
		Besleme	100.00	72.38	5.82	100.00	100.00			
		Ort. Besl.	100.00	66.97	5.12					
		Yüzen	25.19	90.35	3.06	34.08	14.27	35.30	-43.35	
1.9	-10 + 25	Batan	74.81	58.84	6.19	65.92	85.73	-11.89	14.60	19.81
		Besleme	100.00	66.78	5.40	100.00	100.00			
		Yüzen	11.80	63.65	1.45	13.15	3.58	11.44	-69.69	
2	-10 + 25	Batan	88.20	56.24	5.23	86.85	96.42	-1.53	9.32	9.57
		Besleme	100.00	57.11	4.78	100.00	100.00			
		Yüzen	62.60	59.14	1.55	65.48	24.42	4.60	-60.99	
2.1	-10 + 25	Batan	37.40	52.18	8.03	34.52	75.58	-7.71	102.09	41.06
		Besleme	100.00	56.54	3.97	100.00	100.00			
		Ort. Besl.	100.00	60.14	4.72					





Şekil 3.8. 700°C'de kalsinasyon sonucunda, her boyut fraksiyonunda randıman farkının yoğunluğa göre değişimi.

+4 meşh fraksiyonunda en iyi ortam yoğunluğu  $2,1 \text{ gr/cm}^3$ 'tür. CaO tenöründe %51'lik bir düşme sağlanmıştır. MgO tenörü %8,4 artmıştır. Randıman farkı %47 civarındadır.

**-4+10 meşh fraksiyonu:**

$\bar{S} = 1,9 \text{ gr/cm}^3$ 'te, yüzende CaO tenörü %5,2'den %2,6'ya düşürülmüştür. MgO tenörü %72'den %85'e çıkmıştır. CaO'in %80'i batana gitmesine rağmen MgO randımanı %48'lerde kalmıştır.

$\bar{S} = 2,0 \text{ gr/cm}^3$ 'de, CaO tenörü %4,3'den %1,6'ya düşmüştür. MgO tenörü %57'den %62'ye çıkmıştır. Batana %82 CaO giderken %55 MgO randımanı elde edilmiştir.

$\bar{S} = 2,1 \text{ gr/cm}^3$ 'de yüzende CaO tenörü %5,82'den %3,14'e düşmüş ve MgO tenörü %72'den %85'e çıkmıştır. MgO randımanı %80 CaO reddi %62 civarındadır.

-4+10 meşh fraksiyonunda  $2,0$  ve  $2,1 \text{ gr/cm}^3$ 'lik ortam yoğunlukları en iyi olarak kabul edilebilir.  $2,0 \text{ gr/cm}^3$ 'de yüzende CaO tenörü %64 düşürülürken, MgO %8,5 arttırılmıştır. Randıman farkı %37 olmuştur.  $2,1 \text{ gr/cm}^3$ 'de yüzende CaO tenörü %46 düşürülmüş ve MgO tenörü %11,6 arttırılmıştır. Randıman artışı %41 civarındadır. Düşük CaO'li ürün  $\bar{S} = 2,0 \text{ gr/cm}^3$ 'de randımandan feragat edilirse edilebilir.

**-10+25 meşh fraksiyonu:**

$\bar{S} = 1,9$  ve  $2,0 \text{ gr/cm}^3$ 'de CaO tenörlerinde önemli düşüş ve MgO tenöründe önemli artışlar gözlenmesine rağmen yüzende MgO randımanı oldukça düşüktür.

$\bar{S} = 2,1 \text{ gr/cm}^3$ 'te yüzende CaO tenörü %3,97'den %1,55'e düşürülmüş ve MgO tenörü biraz artmıştır. Yüzende MgO randımanı %65 ve CaO reddi %76 civarındadır.

-10+25 meşh fraksiyonunda en iyi ortam yoğunluğu  $2,1 \text{ gr/cm}^3$ 'tür. Yüzende

CaO tenörü %61 düşürülmüş ve MgO %5 arttırılmıştır. Randıman farkı %41 civarındadır.

### 3.2.1.3. 800°C'de kalsinasyon+ağır ortam

800°C'de kalsine edilen numunenin boyut dağılımı çizelge 3.12'deki gibidir.

Çizelge 3.12. 800°C'de kalsine edilen numunenin boyut dağılımı

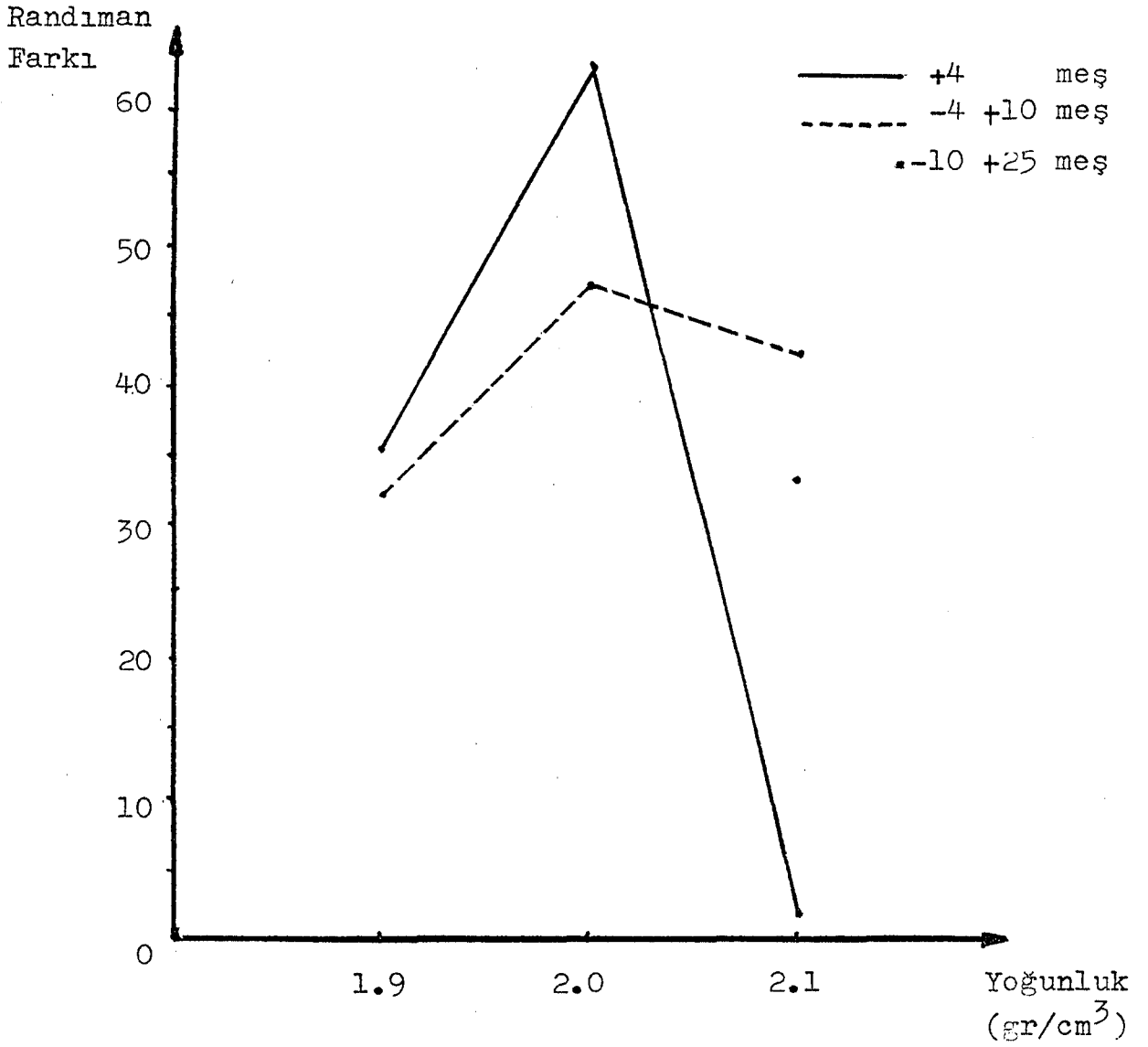
<u>Boyut</u> <u>(meş)</u>	<u>Ağırlık</u> <u>(gr)</u>	<u>Ağırlık</u> <u>(%)</u>	<u>Kümülatif elek üstü</u> <u>(%)</u>
+ 4	9.3	9.28	9.28
-4+10	32.4	32.34	41.62
-10+25	31.1	31.04	72.66
-25	27.4	27.34	100.00
TOPLAM	100.2	100.00	-----

Çizelge 3.13'de 800°C'de kalsinasyon+ağır ortam ayırması zenginleştirme deney sonuçları verilmektedir.

Şekil3.9'da 800°C'de kalsinasyon sonucunda, her boyut fraksiyonunda randıman farkının yoğunluğa göre değişiminin grafiği görülmektedir.

800°C'de kalsine olan örnekte gang yüzmüş ve magnezit batmıştır. -1,7+0,6 mm fraksiyonunda 1,9 ve 2,0 gr/cm<sup>3</sup> ortam yoğunluğunda tüm beslenen numune batmıştır.

Yoğunluk (gr/cm <sup>3</sup> )	Boyut (meş)	Ürünler	Miktar (%)	TENÖRLER(%)		DAĞILIM (%)		TENÖR FARKLARI		RANDIMAN FARKI (MgO-CaO)
				MgO	CaO	MgO	CaO	MgO	CaO	
		Yüzen	9.29	44.69	18.54	6.90	42.30	-25.70	355.33	
1.9	+4	Batan	90.71	61.73	2.59	93.10	57.70	2.63	-36.39	35.4
		Besleme	100.00	60.15	4.07	100.00	100.00			
		Yüzen	19.23	43.86	25.16	14.78	78.10	-23.13	306.12	
2	+4	Batan	80.77	60.20	1.68	85.22	21.90	5.51	-72.88	63.32
		Besleme	100.00	57.06	6.20	100.00	100.00			
		Yüzen	26.27	61.97	2.42	25.68	27.79	- 2.26	5.80	
2.1	+4	Batan	73.73	63.91	2.24	74.32	72.21	0.80	-2.07	2.12
		Besleme	100.00	63.40	2.29	100.00	100.00			
		Ort. Besl.	100.00	60.20	4.18					
		Yüzen	6.37	53.11	15.84	5.26	37.58	-17.49	489.95	
1.9	-4 + 10	Batan	93.63	65.13	1.79	94.74	62.42	1.19	-33.33	32.32
		Besleme	100.00	64.36	2.68	100.00	100.00			
		Yüzen	14.25	53.11	15.84	11.93	59.52	-16.25	317.71	
2	-4 + 10	Batan	85.75	65.13	1.79	88.07	40.48	2.70	-52.80	47.59
		Besleme	100.00	63.42	3.79	100.00	100.00			
		Yüzen	27.02	54.17	11.46	24.76	67.53	-8.36	149.93	
2.1	-4 + 10	Batan	72.98	60.94	2.04	75.24	32.47	3.09	-55.51	42.77
		Besleme	100.00	59.11	4.59	100.00	100.00			
		Ort. Besl.	100.00	62.30	3.69					
		Yüzen	-	-	-	-	-	-	-	-
1.9	-10 + 25	Batan	100.00	-	-	-	-	-	-	-
		Besleme	100.00	-	-	-	-	-	-	-
		Yüzen	-	-	-	-	-	-	-	-
2	-10 + 25	Batan	100.00	-	-	-	-	-	-	-
		Besleme	100.00	-	-	-	-	-	-	-
		Yüzen	5.03	47.88	20.70	4.47	37.72	-11.12	649.95	
2.1	-10 + 25	Batan	94.97	54.19	1.81	95.53	62.58	0.59	-34.42	33.25
		Besleme	100.00	53.87	2.76	100.00	100.00			
		Ort. Besl.								



Şekil 3.9. 800°C'de kalsinasyon sonucunda, her boyut fraksiyonunda randıman farkının yoğunluğa göre değişimi.

**+4 meş fraksiyonu:**

$\rho = 1,9 \text{ gr/cm}^3$ 'de batanda CaO tenörü %4,07'den %2,59'a ve MgO %60'dan %62'ye çıkmıştır.

$\rho = 2,0 \text{ gr/cm}^3$ 'te batanda MgO randımanı %93 ve CaO randımanı %58 civarındadır.

$\rho = 2,1 \text{ gr/cm}^3$ 'de batanda ve yüzende fazla bir ayırım sağlanamamıştır.

+4 meş fraksiyonunda en iyi ortam yoğunluğu  $2,0 \text{ gr/cm}^3$ 'tür. Batanda CaO tenörü %73 düşürülmüş ve MgO tenörü %5,5 arttırılmıştır. Randıman farkı %63 civarındadır.

**-4+10 meş fraksiyonu:**

$\rho = 1,9 \text{ gr/cm}^3$  ortam yoğunluğunda, batanda CaO tenörü %2,68'den %1,8'e düşmüştür. MgO tenörü %64'den %65'e çıkmıştır.

$\rho = 2,0 \text{ gr/cm}^3$ 'de batanda CaO tenörü %3,70'den %1,79'a ve MgO %63'den %65'e çıkmıştır. MgO randımanı %88 ve CaO reddi %60'dır.

$\rho = 2,1 \text{ gr/cm}^3$ 'de, batanda CaO tenörü %4,6'dan %2'ye düşürülmüş ve MgO'de çok az bir artış sağlanmıştır. MgO randımanı %75 ve CaO reddi %68'dir.

-4+10 meş fraksiyonunda en iyi ortam yoğunluğu  $2,0$  veya  $2,1 \text{ gr/cm}^3$  olabilir.  $2,0 \text{ gr/cm}^3$ 'te batanda CaO tenörü %53 düşürülmüş ve MgO tenörü %2,7 arttırılmıştır. Randıman farkı %47,6'dır.  $2,1 \text{ gr/cm}^3$ 'de batanda CaO tenörü %56 düşürülmüş ve MgO %3,1 arttırılmıştır. Randıman farkı %43 civarındadır. Ortam yoğunluğu olarak  $2,0 \text{ gr/cm}^3$ 'ün seçimi yüksek randıman ve biraz düşük CaO reddi sağlar.

### **-10+25 meş fraksiyonu:**

$\rho = 1,9$  ve  $2,0 \text{ gr/cm}^3$ 'de tüm parçalar battığından bir ayırım yapılamadığı için analiz yapılamamıştır.

$\rho = 2,1 \text{ gr/cm}^3$ 'de batanda CaO tenörü %2,76'dan 1,81'e düşürülmüş ve MgO tenörü biraz artmıştır. MgO randımanı %96 ve CaO reddi %38 civarındadır. Randıman farkı %33 civarındadır.

Yukarıdaki verilerden elde edilen sonuçlardan en iyi kalsinasyon ısısının  $800^\circ\text{C}$ 'de olduğu ve yoğunluğundan  $\rho = 2,0 \text{ gr/cm}^3$  olduğu belirlendi. +4, -4+10 ve -10+25 meş fraksiyonları yüzme batma testlerine tabi tutuldu. Magnezit batma ve gang ise yüzme eğilimi gösterdi.

$800^\circ\text{C}$ 'de bir test'de kontrol için yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar çizelge 3.14'de verilmektedir.

### **3.3. Kalsinasyon+Yıkama+Eleme İle Zenginleştirme**

$800^\circ\text{C}$ 'de kalsinasyon+ağır ortam deneysel çalışmalarında ortamdan alınan örneklerin yıkanıp kurutulması sırasında bazı tanelerin parçalandığı gözlemlendi. Bunlar analiz edildiğinde dolomitli taneler olduğu anlaşıldı.

$700, 800$  ve  $900^\circ\text{C}$ 'de kalsine edilen örneklerden alınıp beherde yıkandığında sadece  $800^\circ\text{C}$ 'de kalsine olan örnekteki bazı tanelerin sudan etkilenip parçalandığı gözlemlendi. Örnek etüvde kurutulup 25 meş 'lik elekten geçirildi. Analiz sonucunda  $-0,6$  mm boyutta CaO tenörü yüksek  $+0,6$  mm boyutta CaO tenörü düşük magnezit birikimi gerçekleşti.

$800^\circ\text{C}$ 'de kalsine edilen ve +4, -4+10 ve -10+25 meş fraksiyonuna ayrılan örnekler behere alınıp üzerlerine su dökülüp dolomitli taneler hidrasyona uğratıldı. Beherdeki numuneler etüvde kurutulduktan sonra 25 meş 'lik elekten elemeye tabi tutuldu. Elek altı ve elek üstünün kimyasal analizleri yapıldı.

Çizelge 3.14 800°C'de Kalsinasyon ve Ağır Ortam Ayırması Deney Sonuçları (Tekrar)

Yoğunluk (gr/cm <sup>3</sup> )	Boyut (meş)	Ürünler	Miktar (%)	TENÖRLER(%)		DAĞILIM (%)		TENÖR FARKLARI		RANDIMAN FARKI (MgO-CaO)
				MgO	CaO	MgO	CaO	MgO	CaO	
		Yüzen	18.90	56.84	11.74	17.20	49.75	-8.36	165.06	
2	+4	Batan	81.80	63.22	2.74	82.80	50.25	1.93	-38.14	32.55
		Besleme	100.70	62.02	4.43	100.00	100.00			
		Yüzen	24.00	58.21	10.40	22.02	58.08	-8.25	142.02	
2	-4 +10	Batan	76.00	65.10	2.37	77.98	41.92	2.61	-44.85	36.07
		Besleme	100.00	63.45	4.30	100.00	100.00			
		Yüzen	42.41	58.75	9.75	36.78	73.57	-13.27	73.76	
2.1	-10 +25	Batan	57.59	74.36	2.58	63.22	26.43	9.77	-54.10	36.78
		Besleme	100.00	67.74	5.62	100.00	100.00			
		Ort. Besl.	100.00	64.40	4.78					



800°C'de kalsinasyon+yıkama+eleme ile zenginleştirme akım şeması şekil 3.10'da verilmektedir.

800°C'de kalsinasyon sonrası yıkama+eleme ile zenginleştirme deney sonuçları çizelge 3.15'de verilmektedir.

### **3.3.1. Kalsinasyon+yıkama+eleme ile zenginleştirme deney sonuçları**

Kalsinasyon+yıkama+eleme ile yıkama deney sonuçları da LOTUS 123 paket programıyla hesaplanmıştır. Beslenen malzemenin tenörü konsantre ve artığın miktar ve tenörlerinden hesaplanmıştır.

#### **+4 meş fraksiyonu:**

+4 meş boyutunda CaO %3,49'dan 1,84'e düşürülmüş ve MgO %65'den %66,6'ya çıkarılmıştır. Bu konsantrede %47'lik bir düşüşe ve MgO'de %2'lik bir artışa tekabül eder. Randıman farkı %43 civarındadır.

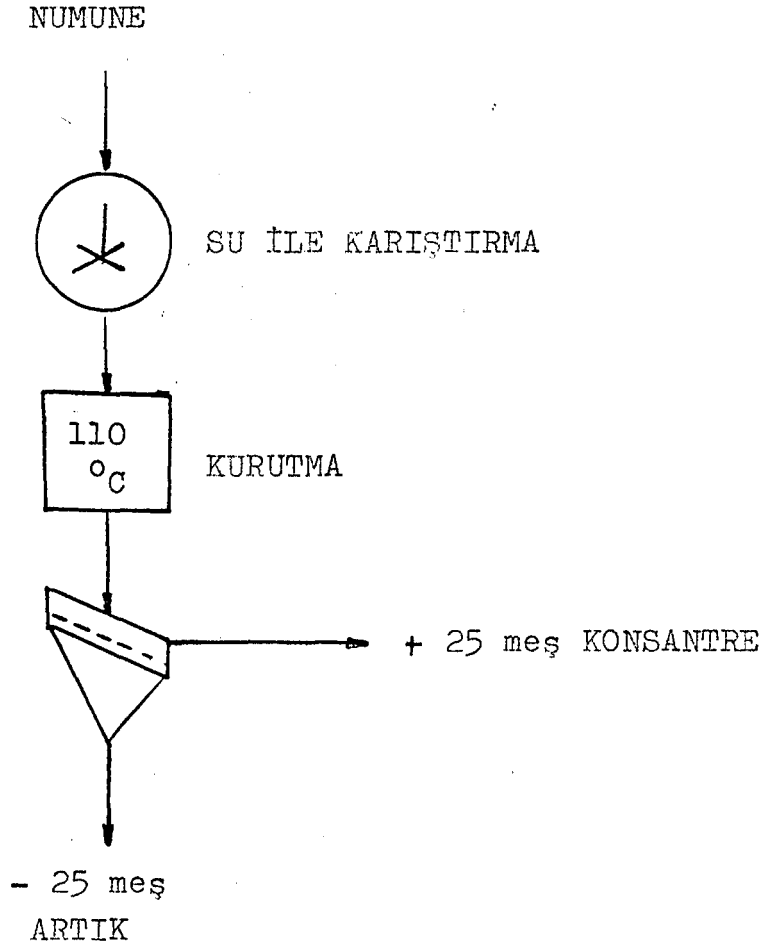
#### **-4+10 meş fraksiyonu:**

-4+10 meş boyutunda CaO %2,93'ten %1,48'e düşmüş ve MgO %66'dan %67'ye çıkmıştır. Bu konsantrede %49,5'luk bir CaO düşüşü ve %1,8'lik bir MgO artışına tekabül eder. Randıman farkı %45 civarındadır.

-4+10 meş fraksiyonunda yapılan bir tekrar testinde benzer sonuçlar elde edilmiştir.

#### **-10+25 meş fraksiyonu:**

-10+25 meş boyutunda, CaO %3,05'den %1,87'ye düşmüş ve MgO %66,6'dan %68'e çıkmıştır. Konsantrede CaO randımanı %39 azalırken MgO randımanı %2 artmıştır. Randıman farkı %35 civarındadır.



Şekil 3.10 Kalsinasyon+yıkama+eleme ile zenginleştirme akım şeması

Çizelge 3.15 800°C'de Kalsinasyon ve Yıkama Deney Sonuçları

Boyut (meş)	Ürünler	Miktar (%)	TENÖRLER(%)		DAĞILIM (%)		TENÖR FARKLARI		RANDIMAN FARKI (MgO-CaO)
			MgO	CaO	MgO	CaO	MgO	CaO	
	Konsantre	86.67	66.56	1.84	88.39	45.74	1.98	-47.22	
+ 4	Artık	13.33	56.85	14.19	11.61	54.26	-12.89	307.03	42.65
	Besleme	100.00	65.27	3.49	100.00	100.00			
	Konsantre	88.60	67.15	1.48	90.17	44.79	1.78	-49.45	
-4 +10	Artık	11.40	56.87	14.18	9.83	55.21	-13.80	384.32	45.39
	Besleme	100.00	65.98	2.93	100.00	100.00			
	Konsantre	84.31	75.67	1.21	88.08	30.20	4.47	-64.18	
-4 +10	Artık	15.69	55.02	15.03	11.92	69.80	-24.04	344.89	57.88
	Besleme	100.00	72.43	3.38	100.00	100.00			
	Konsantre	85.58	68.03	1.87	87.38	52.50	2.11	-38.65	
-10 +25	Artık	14.42	58.30	10.04	12.62	47.50	-12.50	229.38	34.88
	Besleme	100.00	66.63	3.05	100.00	100.00			
	Ort. Besl.	100.00	67.58	3.21					

Kalsinasyon ve suyla yıkama sonrası elemeye iri ve orta boyut fraksiyonlarında iyi bir seçimlilikle yüksek MgO randımanı düşük CaO içeriklerinde elde edilmiştir. Düşük boyut fraksiyonunda MgO randımanca yüksek fakat CaO randımanı da yüksek olduğundan seçimlilik azalmıştır.

Bu deneyden görüleceği üzere kalsinasyon+yıkama+elemeye çok başarılı sonuçlar elde edilmiştir.

#### 4. SONUÇ VE ÖNERİLER

##### **Kalsinasyon+eleme+öğütme:**

Tüm incelenen ısılarda kalsinasyon+kuru eleme veya yaş öğütme de seçimli bir ayırma başarılammamıştır. Cevherin hidrate olması bazı problemler yaratmıştır.

##### **Kalsinasyon+ağır ortam:**

600°C'de kalsinasyon yapıldıktan sonra ince ve orta boyuttaki taneler için en iyi ortam yoğunluğu 2,1 gr/cm<sup>3</sup>tür(Şekil 3.7). En iri boyutta ise 1,9 gr/cm<sup>3</sup>tür. Ortam yoğunluğu önce 1,9'a ayarlanarak iri taneler kazanılır ve daha sonra ince taneler ortam yoğunluğu arttırılarak kazanılabilir.

700°C'de kalsinasyon yapıldıktan sonra tüm boyutlar için en iyi ortam yoğunluğu 2,1 gr/cm<sup>3</sup>tür.

800°C'de kalsinasyon yapıldıktan sonra en iyi ortam yoğunluğu 2 gr/cm<sup>3</sup>tür.

Kalsinasyon+ağır ortam zenginleştirme alternatifinde en iyi sonuçlar 800°C'de elde edilmiştir. Burada MgO batan ürüne giderken CaO yüzende kalmıştır.Bu şartlarda;

+4 mm fraksiyonu için %60 MgO ve %1,68 CaO içeren konsantre %85 MgO verimi ve %78 CaO reddiyle elde edilmiştir.

-4+10 meş fraksiyonunda %65 MgO ve %1,79 CaO tenörlü konsantre %88 MgO verimi ve %60 CaO reddiyle elde edilmiştir.

-1,7+0,6 mm fraksiyonunda %54 MgO ve %1,8 CaO tenörlü konsantre %95,5 MgO verimi ve %38 CaO reddiyle elde edilmiştir.

Kalsinasyon+ağır ortam zenginleştirmesiyle orijinal kalsine edilmemiş numuneye nazaran %49,7'lik CaO düşüşü sağlanmıştır.

Kalsine edilmiş numuneye nazaran %76'lık  $\left(\frac{7,03-1,68}{7,03}\right) \times 100$  bir CaO düşüşü sağlanmıştır. MgO artışı hesaplamaları kütle artışı nedeniyle yapılamamıştır.

Silis tenörü çok düşük olduğundan analizleri yapılmamıştır.

#### **Kalsinasyon+yıkama+eleme:**

En iyi sonuçlar bu yöntemle elde edilmiştir. Bu yöntem özellikle -4+10 meş 'de çok iyi sonuçlar vermiştir. CaO tenörü %3,4'den %1,2'ye düşürülmüş ve MgO tenörü %72,4'den %75,7'ye çıkmıştır. Bu şartlarda MgO randımanı %88'in üzerinde ve CaO reddi %70 civarındadır.

Her ne kadar kalsinasyon+ağır ortam zenginleştirmesiyle(  $\rho = 2,0 \text{ gr/cm}^3$ ) +4 mm fraksiyonunda biraz daha iyi sonuç vermişse de, kalsinasyon+yıkama+eleme +4 mm hariç tüm fraksiyonlarda daha iyi sonuçlar vermiştir. Ayrıca bu yöntem ağır ortamdan çok daha basit ve ekonomiktir. Bu yöntemin başarısı boyut incelidikçe düşmektedir. Kalsinasyon+yıkama+eleme ile zenginleştirme 700°C ve 900°C'de kalsine örnekler de denenmiş başarılı sonuçlar elde edilememiştir.

800°C'de civarındaki farklı ısı değerleri ile 800°C'de fırında bekleme süreleri değiştirilerek daha iyi sonuçlar elde etme araştırılabilir.

## KAYNAKLAR DİZİNİ

- Ateşok, G., 1986, Kömür hazırlama, İ.T.Ü., İstanbul.
- Kaya, M., 1990, Parça mekaniği ders notları, Anadolu Üniversitesi, Eskişehir.
- Kaya, M., 1991, Flotasyon el kitabı, Anadolu Üniversitesi, Eskişehir.
- Kaya, M., 1992, Magnezit teknolojisi, Anadolu Üniversitesi, Eskişehir.
- M.M.O., 1975, Magnezit, Ankara.
- M.T.A., 1982, Türkiye magnezit envanteri, Ankara.
- Oltulu, F., 1990, Bazik refrakter hammaddeleri, Çitosan, Konya.
- Önal, G., 1980, Cevher hazırlamada flotasyon dışındaki zenginleştirme yöntemleri, İ.T.Ü., İstanbul.
- Uçar, A., 1986, Ballık magnezit yataklaşması mineralojisinin cevher hazırlama işlemlerine etkisi, Bitirme tezi. Anadolu Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Eskişehir.
- M.M.O., 1989, Dünya ve Türkiye madenciliğine toplu bakış, Madencilik dergisi, Ankara.