

**MAGNEZİTİN KOLON FLOTASYONUyla  
ZENGİNLEŞTİRİLMESİ**

**SELAADDİN ÖNÇEK**

**DOKTORA TEZİ  
MADEN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI  
CEVHER HAZIRLAMA BİLİM DALI  
OCAK 1993**

**MAGNEZİTİN KOLON FLOTASYONUyla ZENGİNLEŞTİRİLMESİ**

**Selaaddin ÖNÇEK**

**Anadolu Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Lisansüstü Yönetmeliği Uyarınca  
Maden Mühendisliği Anabilim Dalında  
DOKTORA TEZİ  
Olarak Hazırlanmıştır**

**Danışman: Yrd. Doç. Dr. Muammer KAYA**

**Ocak 1993**

**Anadolu Üniversitesi  
Kütüphane**

Selaaddin ÖNÇEK'in DOKTORA tezi olarak hazırladığı "Magnezitin kolon flotasyonu ile zenginleştirilmesi" başlıklı bu çalışma, jürimizce lisansüstü yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

22/1/1993

Üye : Prof. Dr. Rifat BOZKURT

Üye : Prof. Dr. Güven ÖNAL

Üye : Yrd. Doç. Dr. Muammer KAYA

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 26. Ocak 1993  
gün ve 338-6 sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. Rüstem KAYA  
Enstitü Müdürü

## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET.....	iiv
SUMMARY.....	v
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	ivv
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	ixx
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	iix
1. GİRİŞ.....	1
2. KOLON FLOTASYONU.....	2
2.1. Dünya'da ve Türkiye'de Kolon Flotasyonunun Tarihsel Gelişimi.....	2
2.2. Kolon Flotasyonu.....	6
2.2.1. Flotasyon kolonunun tanıtılması.....	6
2.2.2. Flotasyon kolonunun çalışma yöntemi...	6
2.3. Flotasyon Kolonundaki Parametreler.....	9
2.3.1. Hacimsel gaz akış hızı.....	9
2.3.2. % Gaz miktarı.....	11
2.3.3. Hacimsel kabarcık yüzey alanı oranı...	15
2.3.4. Bir gram katı için gerekli kabarcık yüzey alanı.....	16
2.3.5. Yüzdürülmüş parçaların akış hızı oranı	17
2.3.6. Konsantredeki katının kütlece akış hızı oranı.....	18
2.4. Hava Kabarcık Üreteçleri.....	19
2.4.1. Kolon içi kabarcık üreteçleri.....	19
2.4.2. Kolon dışı kabarcık üreteçleri.....	22

## İÇİNDEKİLER (devam)

### Sayfa

2.5.	Toplama Bölgesinde, Parçaların Toplanma Prosesi.....	24
2.5.1.	Toplama oranı sabiti.....	24
2.5.2.	Toplama için optimum gaz oranı.....	25
2.5.3.	Maksimum toplama hız sabiti.....	25
2.6.	Kalma Süresi.....	25
2.7.	Yıkama Suyu ve Köpüğün Yapısı.....	28
2.8.	Köpük Yüksekliği.....	29
2.9.	Kolon Yüksekliği.....	31
2.10.	Bias ve Kontrol.....	31

### 3. MAGNEZİT

3.1.	Magnezit Yatakları.....	35
3.1.1.	İrikristalli yataklar.....	37
3.1.2.	Kriptokristalen-Jel magnezit yatakları	37
3.1.3.	Sedimanter magnezit yatakları.....	38
3.2.	Dünya'da ve Türkiye'de Magnezit Rezervleri...	38
3.3.	Dünya'da Ham Magnezit ve Magnezya Üretimi....	41
3.4.	Türkiye'de Ham Magnezit ve Magnezya Üretimi..	42
3.5.	Magnezit ve Magnezyum Bileşiklerinin Kullanım Alanları.....	44
3.6.	Magnezitteki Safsızlıkların Etkisi.....	45
3.6.1.	Demir(III)oksidin etkisi.....	45
3.6.2.	Silis'in etkisi.....	46
3.6.3.	Kalsiyumoksidin etkisi.....	46
3.7.	Magnezit Cevherlerinin Zenginleştirilmesi....	47
3.7.1.	Elle ve optik cihazlar ile ayırmayla zenginleştirme.....	47
3.7.2.	Boyut küçültme ile zenginleştirme.....	47
3.7.3.	Ağır ortam ayırması ile zenginleştirme	47

## İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
3.7.4. Elektrostatik ayırma ile zenginleştirme.....	48
3.7.5. Magnetik ayırma ile zenginleştirme....	48
3.7.6. Hidratasyon yoluyla ayırma ile zenginleştirme.....	48
3.7.7. Dereceli kalsinasyonla ayırma ile zenginleştirme.....	49
3.7.8. Kalsinasyon ve gravite ayırması ile zenginleştirme.....	49
3.7.9. Flotasyonla zenginleştirme.....	49
4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	58
4.1. Mini Flotasyon Kolonu.....	58
4.1.1. Mini flotasyon kolonundaki çalışmalar	59
4.2. Laboratuvar Kolonu.....	74
4.2.1. Laboratuvar kolonunun kurulması.....	74
4.2.2. Laboratuvar kolonunun çalışması.....	76
4.2.3. Laboratuvar kolonunda kullanılan numune.....	77
4.2.4. Pülpte katı oranının belirlenmesi.....	80
4.2.5. Toplayıcı miktarının belirlenmesi.....	81
4.2.6. Bastırıcı miktarının belirlenmesi.....	83
4.2.7. Kalsinasyon ve laboratuvar kolonunda zenginleştirme.....	85
4.3. Pilot Kolon.....	87
5. SONUÇLAR VE TARTIŞMA.....	92
KAYNAKLAR DİZİNİ.....	99

## İÇİNDEKİLER (devam)

### EKLER

#### 1. Magnezitin Kimyasal Analizi

## ÖZET

Bu çalışmada, tasarlanan üç tip flotasyon kolonuyla magnezitten dolomiti seçimli ayırmak için optimum (en iyi) şartları belirleme çalışmaları yapılmıştır.

Mini kolonda saf magnezit, saf dolomit, %75 saf magnezit + %25 saf dolomit ve %50 saf magnezit + %50 saf dolomit içeren karışımlar ile deneyler yapılmıştır. Deneylerde pH 10 - 10.5 olduğunda, toplayıcı reaktif olarak 400 gr./ton Na-Ol. kullanılırsa  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ , kalgon ve quebreacanin bastırıcı reaktif olarak kullanılabileceği sonucuna varılmıştır. 400 gr./ton  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  kullanılırsa %75 magnezit içeren karışımda %77.35'lik MgO verimi elde edilirken, konsantredeki MgO %41.24' ten, %42.06' ya (% 2 artış) çıkmakta ve CaO %7.37' den, %5.72'ye (% 22 azalış) düşmektedir.

Laboratuvar kolonundaki çalışmalar, Konya Krom Magnezit Tuğla Sanayii İşletmesi sahalarından olan Argıt yöresi magneziti ile yapılmıştır. Deneylerden, pH = 10.5'da pülpteki katı miktarının %10-15 katı olması gerektiği, 900 gr./ton Na-Ol. kullanıldığında konsantrenin % 46.13 MgO ve %2.20 CaO içerdiği anlaşılmaktadır. Bastırıcı reaktif olarak  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  eklenirse (300 gr/ton) konsantredeki MgO %44.69'dan, %46.04' e (% 2.5 artış) çıkmakta ve CaO %2.93'den, % 1.47' ye düşer (% 50 azalış). CaO'deki önemli düşüşe rağmen MgO randımanının % 40'larda kalması, randımanı arttırıcı tedbirler alınmasını gerektirmektedir. Bunun için 2 kolon seri çalışabilir, kolonda kalış süresi arttırılabilir v.b.. Ayrıca Argıt magneziti 450°C - 500°C sıcaklıklarda kavrularak, laboratuvar kolonunda flotasyon deneyleri yapılmıştır. Ancak başarılı sonuçlar elde edilememiştir.

Pilot kolonda ise Argıt magneziti ile optimum şartlar olarak belirlenen; pH=10.0'da, 900 gr./ton Na-Ol. kullanılarak en iyi bastırıcı cinsi ve miktarı belirlenmiye çalışılmıştır. 300 gr./ton kalgon bastırıcı reaktif olarak kullanı-



lırsa, konsantredeki MgO %46.81 ve CaO %1.19 olmaktadır. Kalgon 600 gr./ton'a çıkartıldığında en düşük CaO (%0.86) içeren konsantre elde edilmektedir. Ancak MgO verimi çok düşmektedir.

Saf magnezit ve dolomit, tek tek kolon flotasyonuna iyi bir şekilde karşılık verirken, seçimli olarak birbirinden ayrılmaları sentetik veya doğal karışımlarda çok zorlaşmaktadır. Belli saflıklarda nihai ürün düşük randımanlarda elde edilmektedir. Bu kalitede ürün istenildiğinde, kolon randımanını arttırıcı tedbirlerin düşünülmesi kaçınılmazdır. Test edilen bastırıcılardan  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  ve Kalgon belli derecelere kadar seçimli ayırmayı başarabilmektedir. Magnezit - dolomit ayırmasında pH = 10 - 10.5 arasında olmalıdır.

## SUMMARY

The objective of this study was to find out the best conditions for selective magnesite-dolomite separation using three different flotation columns.

Micro-flotation column tests were carried out with pure magnesite, pure dolomite, 75% magnesite + 25% dolomite and 50% magnesite + 50% dolomite samples. It was found that 400 g/ton Na-oleat as collector;  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ , galcon and quebreaco as depressant at pH between 10 and 10.5 could be used.

For a 75% magnesite + 25% dolomite artificial mixture, 42.06% MgO (corresponds to 2% increase) and 5.75% CaO (corresponds to 22% decrease) grades at a MgO recovery of 77.35% were achieved at 400 g/ton  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  concentration.

Laboratory column flotation tests were performed with the Konya Chrome-Magnesite and Brick Works' Argit magnesite. It was found that a concentrate with MgO grade of 46.13% and 2.2% CaO could be obtained at pH 10.5, 10-15% solid and 900 g/ton Na-oleat. It was possible to decrease the CaO grade down to 1.47% (50% decrease) at a 46% MgO grade using 300 g/ton  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  as a depressant. According to these results, the magnesite recovery is low; therefore, some precautions to push-up the recovery have to be considered (such as two-columns in series, increased retention time etc.). In addition, column flotation results after partial magnesite calcination at 450 and 500°C column flotation results were not successful.

In pilot-column, the best depressant type and concentration were surged using the Argit magnesite with 900 g/ton Na-oleat at pH=10. It was possible to decrease the concentrate CaO grade to 1.19% at 46.81% MgO with 300 g/ton calgon. Increasing the calgon dosage to 600 g/ton, CaO

grade was lowered down to 0.86%. However, the MgO grades were significantly low.

In conclusion, it was possible to float easily pure magnesite and dolomite in column flotation; but, the selective separation of artificial and natural mixtures was difficult. An increase in concentrate purity was achieved at the expense of recovery. Thus, additional precautions for recovery increase must be considered.  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  and calgon could achieve selective separation to a certain degree. The best pH seems to be between 10 and 10.5.

## TEŞEKKÜR

Doktora çalışmalarımın yönetimini kabul ederek, bu tezi hazırlamama olanak sağlayan, çalışmalarımın her aşamasında yakın destek ve yardımlarını gördüğüm Sayın Hocalarım Yrd. Doç. Dr. Muammer KAYA'ya ve Prof. Dr. Rifat BOZKURT'a, öneri ve fikirlerinden yararlandığım Doç. Dr. Hüseyin ÖZDAĞ'a, Kimya laboratuvarında çalışmama olanak sağlayan Sayın Hocam Prof.Dr. Musa ŞENEL'e sonsuz şükranlarımı sunarım.

Ayrıca benim için hiçbir fedakarlıktan kaçınmayan ve beni sabırla destekleyen babama, anneme, eşime ve diğer aile fertlerine, sonsuz şükranlarımı ifade etmeyi bir borç bilirim.

## ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
2.1. 1960'dan, günümüze kadar kolon flotasyonundaki gelişmeler.....	4
2.2. Flotasyon Kolonu.....	8
2.3. % Gaz miktarının ölçülmesi için yöntemler.....	11
2.4. (b), basınç farkına göre % gaz miktarı ölçüm yöntemi.....	12
2.5. % Gaz miktarı ile hacimsel gaz akış hızı arasındaki ilişki.....	13
2.6. Aşağı doğru olan sıvı akış hızının, % gaz miktarına etkisi.....	14
2.7. % Gaz miktarının, köpürtücü konsantrasyonuna etkisi.....	14
2.8. Hacimsel kabarcık yüzey alanı oranı ile kabarcık çapının değişimi.....	15
2.9. Bir gram katı için gereken kabarcık yüzey alanının, tanecik çapına bağlı olarak değişimi...	17
2.10. Yüzebilen parçaların oranı.....	18
2.11. Esnek kabarcık üretici kullanıldığında hava akış hızına bağlı olarak % gaz miktarı.....	20
2.12. Sert kabarcık üretici kullanıldığında hava akış hızına bağlı olarak % gaz miktarı.....	20
2.13. Kolon içi kabarcık üretici.....	23
2.14. Kolon dışı kabarcık üretici.....	23
2.15. Kabarcık çapına bağlı olarak maksimum toplama oranı sabitinin değişimi.....	26
2.16. Değişik pulp hızlarında $T_1$ ve $T_p$ oranı.....	27
2.17. Yıkama suyunun tahmin edilmesi.....	30
2.18. Flotasyon kolonunun kontrol şeması.....	32
3.1. Magnezitin çözünmesine bağlı olarak pH değişimi..	52
3.2. Dolomitin çözünmesine bağlı olarak pH değişimi...	53
3.3. Sodyum oleat derişiminin magnezit verimine etkisi	54
3.4. Sodyum oleat derişiminin dolomit verimine etkisi.	54

**ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)**

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
3.5. Magnezit ve dolomit verimlerinin pH'a etkisi.....	55
3.6. Sert suyun magnezit verimine ve soyum oleat miktarına etkisi.....	56
4.1. Mini flotasyon kolonu.....	58
4.2. Saf magnezitin boyut dağılım eğrisi.....	61
4.3. Saf dolomitin boyut dağılım eğrisi.....	63
4.4. % 10 Magnezit içeren pülpün pH değişimi.....	65
4.5. % 10 Dolomit içeren pülpün pH değişimi.....	65
4.6. Sodyum oleat konsantrasyonunun, magnezitin flotasyon verimine etkisi.....	66
4.7. Sodyum oleat konsantrasyonunun, dolomitin flotasyon verimine etkisi.....	67
4.8. pH'ın magnezit ve dolomit flotasyon verimlerine etkisi.....	67
4.9. Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub> 'ün magnezit ve dolomit flotasyon verimlerine etkisi.....	68
4.10. Kalgon'un magnezit ve dolomit flotasyon verimlerine etkisi.....	69
4.11. CMC'un magnezit ve dolomit flotasyon verimlerine etkisi.....	69
4.12. Quebreaca'nın magnezit ve dolomit flotasyon verimlerine etkisi.....	70
4.13. Alizerin-Red S'in magnezit ve dolomit verimlerine etkisi.....	71
4.14. Laboratuvar kolonu.....	76
4.15. Laboratuvar kolon seti.....	78
4.16. Argıt magnezitinin boyut dağılım eğrisi.....	80
4.17. Pilot kolon.....	89

## ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
2.1. Dünyada flotasyon kolonlarının uygulandığı işletmeler.....	5
2.2. Flotasyon kolonundaki bazı özellikler.....	10
2.3. Kolonlarda kullanılan kabarcık üreteçleri.....	21
3.1. CaO/SiO <sub>2</sub> oranına göre, sinterleşme anında oluşan mineraller ve özellikleri.....	36
3.2. Dünya magnezit rezervleri.....	39
3.3. Türkiye'de magnezit rezervleri.....	40
3.4. Dünya'da ham magnezit ve magnezya üretimi.....	41
3.5. Magnezitten magnezya üreten ülkeler.....	42
3.6. Deniz ve göl sularından magnezya üreten ülkeler..	43
3.7. Türkiye ham magnezit üretimi.....	43
3.8. Türkiye'de sinter ve kalsine magnezya üretimi yapan firmalar ve yıllık kapasiteleri.....	44
4.1. Deneylerde kullanılan saf magnezitin boyut dağılımı.....	60
4.2. Deneylerde kullanılan saf magnezitin kimyasal analizi.....	61
4.3. Deneylerde kullanılan saf magnezitin boyut dağılımı.....	62
4.4. Deneylerde kullanılan saf dolomitin kimyasal analizi.....	63
4.5. %75 Magnezit + %25 Dolomit içeren suni karışımın kimyasal analizi.....	64
4.6. %50 Magnezit + %50 Dolomit içeren suni karışımın kimyasal analizi.....	64
4.7. Suni karışımlarda bastırıcı cinsi ve miktarlarının etkisi (%25 Magnezit + %75 Dolomit)	72
4.8. Suni karışımlarda bastırıcı cinsi ve miktarlarının etkisi (%50 Magnezit + %50 Dolomit)	73
4.9. Deneylerde kullanılan Argıt ocağı magnezitinin... boyut dağılımı.....	79

**ÇİZELGELER DİZİNİ (devam)**

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
4.10. Argıt magnezitinin komple kimyasal analizi.....	79
4.11. Pülpte katı oranını belirlemek amacıyla yapılan.. deneylerin sonuçları.....	81
4.12. Na-Oleat miktarının belirlenmesine yönelik..... deneylerin sonuçları.....	82
4.13. Bastırıcı miktarını belirlemek amacıyla yapılan.. deneyler.....	84
4.14. Argıt ocağı magnezitinin dekarbonizasyonu.....	85
4.15. 450°C'de kavrulmuş magnezitin flotasyonu.....	86
4.16. 500°C'de kavrulmuş magnezitin flotasyonu.....	87
4.17. Optimum şartlarda pilot kolonda yapılan deney sonuçları.....	90
4.18. Optimum şartlarda artık alınma hızının magnezit tenörüne ve verimine etkisi.....	91



## SİMGELER VE KISALTMALAR

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
$A_C$	Kolon kesit alanı (column cross-sectional area).
B	Bias; aşağı doğru olan net sıvı akımı.
BR	Bias oranı.
$d_b$	Hava kabarcığının çapı (bubble diameter).
$d_p$	Parçacıkların çapı (particle diameter).
$d_{80}$	Parçacıkların %80'nin geçtiği boyut.
$d_c$	Kolon çapı.
$E_k$	Çarpışma etkisi yada verimi (collection efficiency).
$\epsilon_g$	% Gaz miktarı; kolonun içinde sıvı ile yer değiştiren gaz fraksiyonu (hacimce)(Gas hold up).
$H_c$	Toplanma bölgesi yüksekliği.
$H_f$	Köpük bölgesi yüksekliği.
H	Kolon yüksekliği.
J	Yüzeysel hız (superficial rate or velocity)
$J_g$	Hacimsel gaz akış hızı; kolonun birim kesitinden geçen gaz miktarı (hacimce)(superficial gas rate or velocity).
$J_s$	Kabarcık yüzey alanı oranı (hacimce) (superficial bubble surface rate).
$J_{SE}$	Etkili kabarcık yüzey alanı oranı (effective superficial surface rate available).
$J_{PF}$	Yüzdürülmüş parçaların akış hızı oranı (superficial floted particle rate).
$J_w$	Yıkama suyu akış hızı; kolonun birim kesitinden geçen yıkama suyu miktarı (hacimce) (superficial wash water rate).
L	Kolonun hava girişi ile ara yüzey arasındaki uzak-

lık.

- $S_r$  Bir gram katı için gerekli kabarcık yüzey alanı (bubble surface required per gram of solid).
- $U_p$  Engelli çökme hızı (particle settling velocity).
- $\tau_p$  Parçacıkların flotasyonda kalma süresi (particle residence time).
- $\tau_1$  Pülpün yada sıvının flotasyonda kalma süresi.
- T Artığın hacimsel akış hızı.

## 1.GİRİŞ

Dünyada endüstriyel flotasyon kolonları Cu-Mo, Pb-Zn, Sn,  $CuFeS_2 - FeS_2$  temizleme devrelerinde, altın mineralini sülfürlerden ayırmada ve kömür, grafit, fosfat flotasyonlarında kullanılmaktadır.

Metalurji sanayiindeki fırınlarda oluşan curufun, kimyasal yapısına en uygun refrakter malzemesi olarak bazik refrakterler kullanılmaktadır. Bazik refrakterlerin hammaddesi ise sinter magnezyadır (MgO). Sinter magnezya ateşe çok dayanıklı ve ergime noktası yüksek bir maddedir. Magnezit içindeki dolomitten gelen CaO refrakter direncini azaltır ve ufalanmaya neden olur.

Magnezit cevheri içinde olan dolomitin flotasyonla ayrılması güçtür. Flotasyon kolonunun, mekanik hücrelere göre avantajları: laminer akış sağlanması, türbülansın az olması, ince tanelere uygulanabilmesi, daha küçük alan kaplanması, yatırım ve bakım masraflarının düşük olması ve otomatik kontrole uygunluğudur. Bu çalışmada, yukarıdaki avantajlarından dolayı dolomiti magnezitten ayırmada ilk kez yeni geliştirilen kolon flotasyon teknolojisi seçilmiştir.

Konya Krom Magnezit Tuğla Sanayii İşletme sahalarından olan Argıt yöresi magneziti yüksek dolomit içermektedir. Bu yüzden işletme, Argıt ocağından çıkarılan magnezit cevherini bazik refrakter malzemesi yapımında kullanamamaktadır.

Bu çalışmada ilk kez Argıt yöresi magnezitinin kolon flotasyonu testleri, tasarlanan mini, laboratuvar ve pilot ölçekteki farklı kolonlarda yapılmıştır.

## 2. KOLON FLOTASYONU

### 2.1 Dünyada ve Türkiye'de Kolon Flotasyonunun Tarihsel Gelişimi

Flotasyon kolonuyla ilgili ilk patent 1960'da, Kanada'da Bautin ve Trembley tarafından alındı (Kanada Patentleri 547, 576, 680 ve 694). İlk olarak flotasyon kolonu, demir cevherlerindeki silisin, ters flotasyon ile yüzdürülmesinde, süpürme devresinde kullanıldı. Test sonuçları mükemmeldi. Bu flotasyon kolonuna Kanada Kolonu adı verildi. 5.08 cm. çapındaki bu kolon, çok kısa sürede Iron Company of Canada tarafından pilot ölçekli olarak 30.40 cm. çapında, yarı otomatik kontrollü olmak üzere geliştirildi (Wheeler, 1988). Daha sonraki yıllarda Bautin ve Wheeler sülfürlü cevherlerde kolonu denediler. Wheeler, endüstriyel ölçekte bir flotasyon kolonunu sülfürlü bakır cevherlerin flotasyonunda, nihai temizleme devresinde ve atığın temizlenmesinde kolonu test ettiğinde sonuçlar çok başarılıydı (Wheeler, 1966; Bautin, et al., 1967).

Araştırmacılar, flotasyon kolonlarını kullandıkları amaca uygun isimler verdi. Örneğin; Kurşun kolonu (Dell, et al., 1976), Toplama kolonu (Yang, 1988), Flotair kolonu (Zipperian, et al., 1988), Hydrochem kolonu (Schneider, et al., 1988), Verimli değerlendirme kolonu (Tyurnikova, et al., 1981) gibi.

Kanada kolonu, diğer kolonlar arasında daha önemli bir yer oluşturdu. Deneyler daha çok bu kolonda yapıldı. Endüstriyel flotasyon kolonları bu çalışmalar sonucunda kuruldu (Wheeler, 1986).

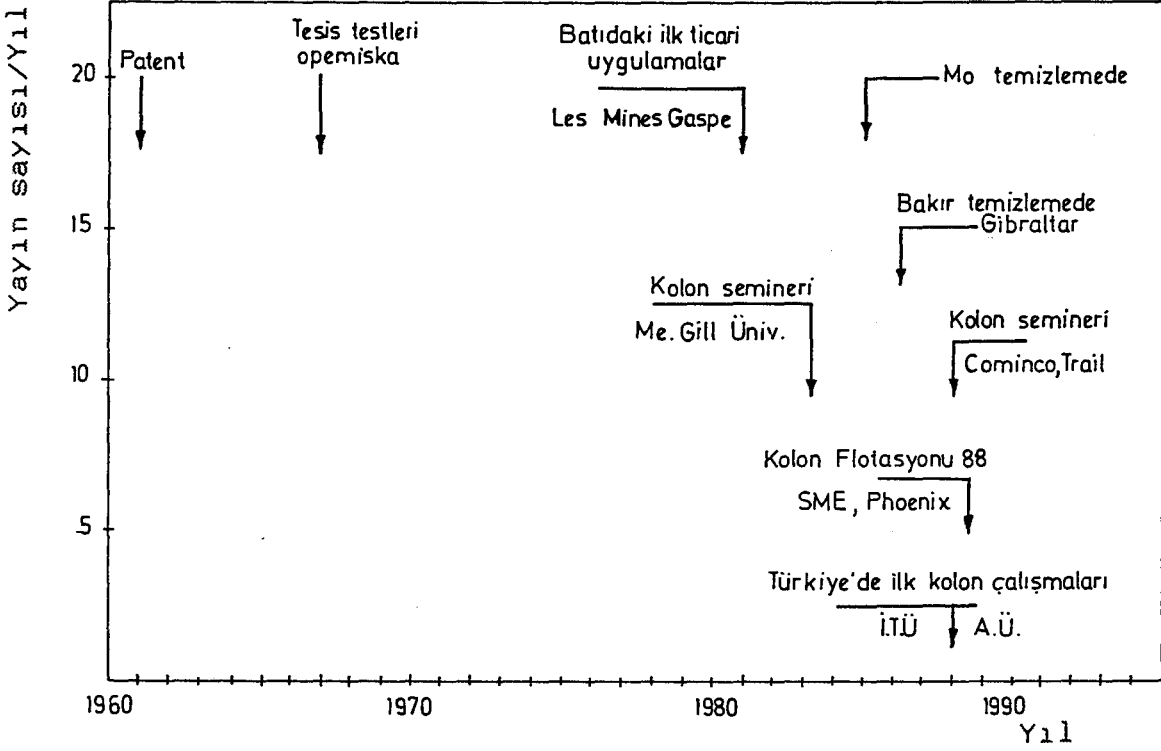
İlk endüstriyel flotasyon kolonu 1980 sonunda Mines Gaspé tarafından sipariş edildi. 45.72 cm. ve 91.44 cm.

çapındaki bu kolonlar molibden temizleme devresinde kullanıldı. Bu kolonlara ilave olarak 182.88 cm. çapında bir kolon daha eklenince, temizleme devresindeki 13 tane mekanik flotasyon hücresi kaldırıldı. Çünkü 3 tane kolon, 13 tane flotasyon hücrelerinden daha yüksek tenörle ve iki kat verimle konsantre elde etmekteydi. Bu kolonların kurulması için ön test çalışmalarını Dobby ve Yianatos yapmıştır (Dobby, 1984; Yianatos, 1987). 1986'da Gibraltar Mines Cu/Mo temizlemesinde üç kolonu, temizleme devresindeki mekanik flotasyon hücrelerinin yerine koymuş tenörü ve verimi yüksek ürünler elde etmiştir. INCO'nun Matte devresindeki uzun kolonda ayırma çalışmalarına devam edilmektedir (Feeley, et al., 1987), Mt Isa Mines Pb-Zn flotasyonunda ara ürünü temizlemede, Cominco Polaris kurşun temizlemede (Kosick, et al., 1988) flotasyon kolonlarını kullanmaktadır. Endüstriyel flotasyon kolonları günümüzde bakır, molibden, kurşun, çinko, kalay temizleme devrelerinde, altın cevherini sülfürlerden ayırmak için, kömür, grafit, fosfat flotasyonlarında kullanılmaktadır. Çizelge 2.1 Dünyada flotasyon kolonlarının uygulandığı bazı işletmeleri göstermektedir.

Türkiye'de ilk kolon çalışmaları İTÜ Maden Fak. Maden Müh. Bölümü laboratuvarlarında 1988 yılında laboratuvar ölçekte başlatılmış, daha sonra 13\*13 cm<sup>2</sup>. kesitli 250 cm. yükseklikte, üç adet kolon kurularak, pilot ölçekte ince boyutlu kromitin zenginleştirilmesi için testler yapılmıştır.

1990 yılından günümüze kadar, A.Ü. Maden Müh. Laboratuvarlarında laboratuvar ve pilot ölçekte kolonlar tarafımızdan kurulmuş ve bu kolonlarda magnezitin zenginleştirilmesi için testler yapılmıştır.

Şekil 2.1'de günümüze kadar kolon flotasyonunda yapılan çalışmalar görülmektedir.



Şekil 2.1. 1960'dan, günümüze kadar kolon flotasyonundaki gelişmeler.

**Çizelge 2.1. Dünyada flotasyon kolonlarının uygulandığı işletmeler.**

İşletmeler	Boyut (m)	Kabarcık Üretici	$J_g$ (cm/s)	$J_w$ (cm/s)	$H_f$ (m)	$\tau$ (dak)	Beslemede katı % ve $d_{80}$ ( $\mu\text{m}$ )
Mines							
Gaspe, Kanada	S=0.91 $H_{fc}=12$	Lastik	1.3	0.4	1.2	17	5/45
Gibraltar Mines, Kanada	$d_c=2.1$ $H_{fc}=12$	Kumaş	3	0.5	1.1	8	15/-
Disputuda, Şili	S=1.75*3.9 $H_{fc}=13$	Kumaş	2	0.35	0.8	30	-/40
İnco, Kanada	$d_c=1.8$ $H_{fc}=11$	Kumaş	2	0.35	1.3	40	50/44
Mt.İsa Mines, Avustralya	$d_c=2.5$ $H_{fc}=15$	Kumaş	0.8	0.3	1.5	40	40/30
Cominco Polaris, Kanada	S=0.76 $H_{fc}=9$	Kumaş	2.4	0.3	0.6	20	40/74
Magma Copper, A.B.D.	$d_c=1.8$ $H_{fc}=12$	Kumaş	3.5	0.2	0.8	8	-/-
Harbour Lights, Avustralya	$d_c=2.5$ $H_{fc}=12$	Kumaş	1.7	-	1.2	11	35/60
Cominco Sullivan, Kanada	$d_c=2.4$ $H_{fc}=13$	USBM	1.5	0.3	0.9	11	45/50
Falconbridge, Kanada	$d_c=0.9$ $H_{fc}=13$	Kumaş	1.7	0.4	1.0	25	30/50

## **2.2 Kolon Flotasyonu**

### **2.2.1. Flotasyon kolonunun tanıtılması**

Şekil 2.2'de flotasyon kolonunun şematik çizimi görülmektedir. Endüstriyel ölçekli kolonlar genelde, 9-15 m. yükseklikte ve 0.5 - 3.0 m. çapında silindir veya kare kesitli prizma şeklinde olabilir.

Flotasyon kolonlarını, diğer flotasyon makinalarından ayıran en önemli özellikler: hava kabarcıklarını oluşturan bir kabarcık üreticinin olması, yıkama suyunun kullanılması, boyutlarının farklılığı ve mekanik parçasının olmamasıdır.

Kabarcık üreteçleri (sparger), kolonun içinde ya da dışında olabilmektedir. Kolon içindeki kabarcık üreteçleri: delikli çelik boru, poroz filtre taşları ve delikli lastik olabilir. Kolon dışındaki kabarcık üreteçleri ise U.S. Bureau of Mines (USBM) tarafından geliştirilmiştir (M.C.Kay, et al., 1988). Dışsal üreteçler tıkanmalardan meydana gelecek aksaklıkları önlemektedir.

Yıkama suyu, köpüğün üstünden damlalar halinde, delikli helezon şeklinde kıvrılmış bakır borudan yada uygun bir sistemle duş şeklinde kolona verilir.

### **2.2.2. Flotasyon kolonunun çalışma yöntemi**

Şekil 2.2'de görüldüğü gibi kolon, toplama ve temizleme bölgeleri olmak üzere iki farklı bölgeden oluşmaktadır:

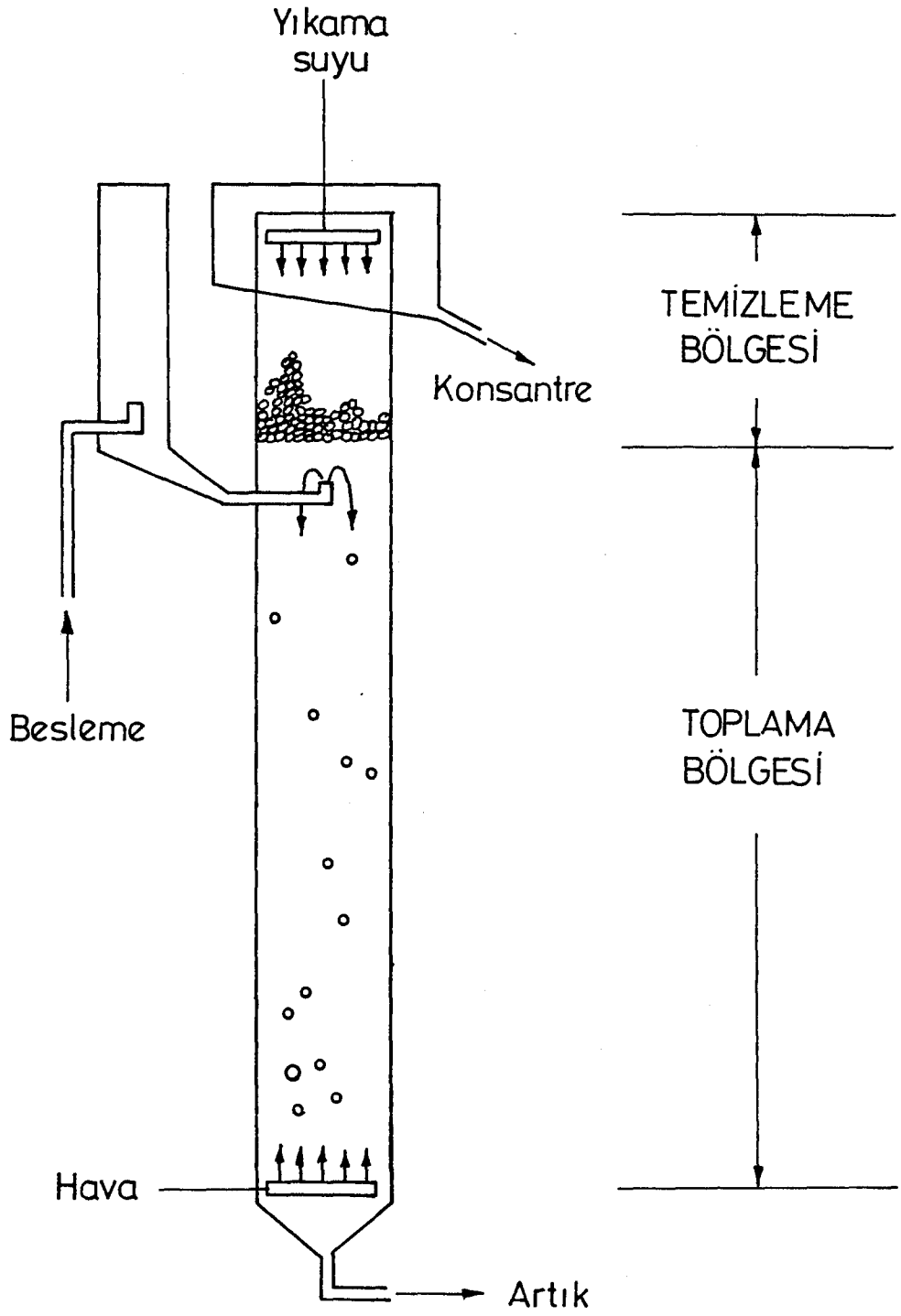
**Toplama bölgesi:** Bu bölge mekanik flotasyon hücrelerindeki pülp (toplama) bölgesine karşılıktır. Ara yüzeyin altındaki veya pülpün kolona beslendiği nokta ile atığın alındığı nokta arasında kalan bölgedir. Besleme, genelde kolonun üstüne yakın bir yerden ( $h/3$ ) yapılır. Besleme pülpün-



deki katı tanecikler kolonun içinde aşağıya doğru inerken kolonun dibinde kabarcık üreticisinden üretilen hava kabarcıkları ile ters akım prensibine göre karşılaşır. Daha önceden uygun reaktiflerle hidrofobik (suyu sevmiyen) özellik kazandırılan, beslemedeki katı tanecikler kabarcıklara çarparak yapışır. Yapışan bu taneler yukarıya doğru çıkmakta olan kabarcıklar ile ara yüzeyin üstüne yani köpük bölgesine taşınır. Hidrofilik (suyu seven) ve daha az hidrofobik olan taneler kolonun dibinden alınarak kolondan uzaklaştırılır (Wheeler, 1983; Yu, 1985).

Temizleme (Köpük) bölgesi: Ara yüzeyin veya pülpün kolona beslendiği noktanın üstünde kalan bölgedir. Temizleme bölgesinin en üstünden kolona yıkama suyu ilave edilir. Yıkama suyu, kararlı bir köpük oluşmasını ve aynı zamanda, hidrofobik taneler arasına sıkışarak köpük bölgesine taşınan hidrofilik tanelerin (entrainment/ entrapment) yıkanarak toplama zonuna geri dönmesini sağlar. Dolayısıyla daha yüksek tenörlü temiz ürün elde edilir (Yianatos, et al., 1987). Yıkama suyunun aşağıya doğru, dağılarak inmesi temizleme işlevini ve seçimli ayırmayı olumlu etkiler. Aşağı doğru olan bu yıkama suyu akışına pozitif bias denir. Pozitif bias'ın varlığı, ince tanelerin ve hidrofilik tanelerin köpüğe gelmesini önler. Atığın akış hızı, beslemenin akış hızından daha büyük olduğunda pozitif bias oluşur (Espinaso-Gomez, et al., 1988; Nicol, et al., 1988).

Toplama ve temizleme bölgeleri arasındaki etkileşim, kolon randımanını direkt etkiler. Dikkat edilmesi gereken, köpük bölgesine taşınan gang taneciklerinin tekrar toplama bölgesine geri çevrilmesidir. Bu iyi bir ayırma sağlar, fakat kolonun hacim kapasitesinin azalmasına neden olur (Espinaso-Gomez, 1989).



Şekil 2.2 Flotasyon kolonu.

## 2.3 Flotasyon Kolonundaki Parametreler

### 2.3.1. Hacimsel gaz akış hızı

Hidrofobik mineraller toplanma bölgesinde seçimli olarak toplanırlar. Parçaların toplanma mekanizmasının esası, hidrofobik parçaların hava kabarcığı yüzeyine çarparak yapışmasından ibarettir. Sonuçta yüzebilen tanelerin üst akıma transfer olabilmeleri için hava kabarcığı gerekir.

Hacimsel hava akış hızı (superficial gas rate) yada kolon kesitinden geçen hava miktarı ( $J_g$ ), aşağıdaki bağıntı ile bulunur:

$$J_g = \frac{Q_g}{A_c}$$

$Q_g$ : Birim zamanda, kolon kesitinden geçen hava miktarı:  $\text{cm}^3/\text{s}..$

$A_c$ : Kolon kesit alanı:  $\text{cm}^2..$

$J_g$ : Hacimsel hava akış hızı:  $\text{cm}^3 . / \text{s} . / \text{cm}^2 ..$ , veya  $\text{cm} . / \text{s} ..$

Hacimsel hava akış hızı, değişik kolonlar için karşılaştırma yapılarak bulunabilir. Çizelge 2.2'de bazı kolonlar için hacimsel hava akış hızları verilmiştir. Genelde  $J_g = 1-2 \text{ cm} . / \text{s} .$  arasındadır.

Kolonlardaki, gerçek hacimsel hava akış hızını ölçmek için, aşağıdaki denklem kullanılabilir (Yianatos, et al., 1988a):

$$J_g = \frac{P_c^* J_g^* \ln(P_t / P_c)}{P_t - P_c}$$

Çizelge 2.2. Flotasyon kolonundaki bazı özellikler.

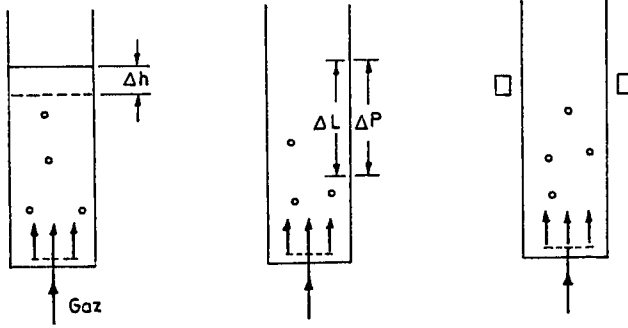
Kesit	Boyut (cm)	Jg (cm/s)	Jw (cm/s)	Hf (cm)	Kabarcık Üretici	Kabarcık Çapı,(mm)	Tesis
TESİS KOLONLARI							
Kare	S=45.7 H=1200	0.5- 1.0	0.3	110- 130	Lastik	1.0	Molib. Temiz.
Kare	S=91.4 H=1200	1.3	0.4	110- 130	Lastik	1.0	Molib. Temiz.
Daire	d=91.4 H=945	0.5- 2.5	0.2- 0.8	70- 130	Kumaş	1.2- 1.6	Bakır Temiz.
LABORATUVAR KOLONLARI							
Daire	d=6.4 H=549	-	-	90	USBM	0.5- 3.0	Kromit Florit Süpürme
Daire	d=3.8 H=184	0.2- 0.8	-	0	Poroz Çelik	0.8- 1.3	Galen, Sfalerit
Daire	d=2.5 H=128	0.4	1.9- 2.6	0- 36	Poroz Seramik	0.9	Hematit Sfalerit
Daire	d=3.8 H=200	0.7	0.6	20	Poroz Seramik	0.9	Piroklor

- $J_g^*$ : Standart şartlarda yani kolonun en üst taşma kesitindeki hacimsel hava akış hızı.
- $P_c$ : Toplama ve temizleme bölgelerinin arasındaki kolon basıncı.
- $P_t$ : Kolondan atığın alındığı yerdeki basınç.

10 m. yükseklikteki bir kolon için;  $P_t = 2P_c$  ve  $J_g = 0.69J_g^*$  olur.

### 2.3.2. % Gaz miktarı (Gas holdup)

Kolon içindeki sıvı, hava ile yer değiştirdiğinde, yer değiştiren hacimsel hava fraksiyonu % gaz miktarı olarak tanımlanır ( $\epsilon_g$ ). Sıvının yakaladığı yada hapsettiği gaz miktarı ( $1-\epsilon_g$ ) olur. % gaz miktarı değişik yöntemler ile ölçülebilir.

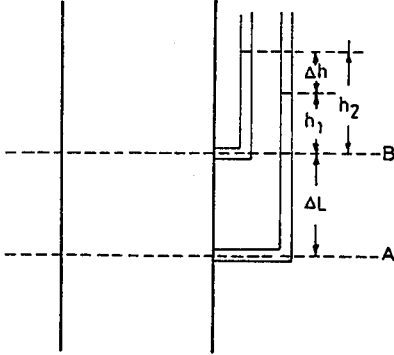


- a) Yatay artış, b) Basınç farkı, c) Algılayıcılar  
kabarış (X-ray, iletkenlik)

### Şekil 2.3. % Gaz miktarının ölçülmesi için yöntemler.

- a) Kolona hava verildiğinde sıvının kabarma seviyesi ölçülür.
- b) İki nokta arasında basınç farkı ölçülür.
- c) Kolonun iki yanındaki elektrotlarla sıvı iletkenliği ölçülür.

(a) yöntemi tüm kolonun (overall holdup), (b) ve (c) metodları bölgesel (local holdup) % gaz miktarlarını verir. (b) ve (c) yöntemleriyle dikey % gaz miktarı profilleri belirlenir. (c) yöntemiyle tek bir noktada ölçüm yapılabilir. (a) metodu köpüksüz ortamlara uygulanan bir yöntemdir. (c) yöntemi kalibrasyon gerektirir.



Şekil 2.4. (b), basınç farkına göre % gaz miktarı ölçüm yöntemi.

$$\epsilon_g = 1 - \frac{\Delta P}{\rho_{sl} * g * \Delta L} \quad \text{veya} \quad \rho_{sl} = \rho_{su} \quad \text{ise;}$$

$$\epsilon_g = \Delta h / \Delta L \quad \text{olur.}$$

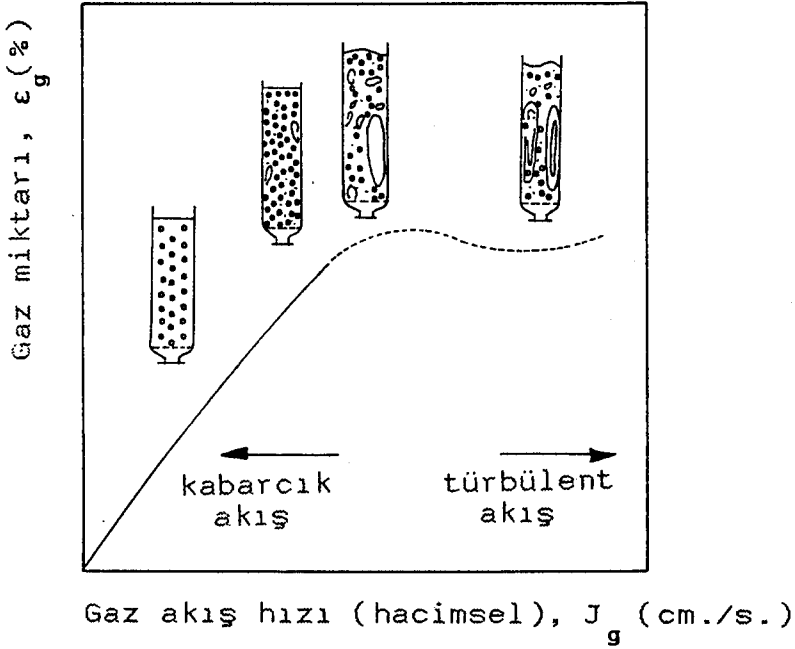
$\rho_{sl}$  : Kolon içindeki pülpün yoğunluğu.

$\rho_{su}$  : Suyun yoğunluğu.

$g$  : Yerçekim ivmesi.

Ölçümle bulunan  $\epsilon_g$  değeri, hesapla bulunan  $\epsilon_g$  değerinden yaklaşık %4 daha küçüktür. Gaz yakalanması ile gaz akış hızı arasındaki ilişki şekil 2.5'de görülmektedir (Shah, et al., 1982).

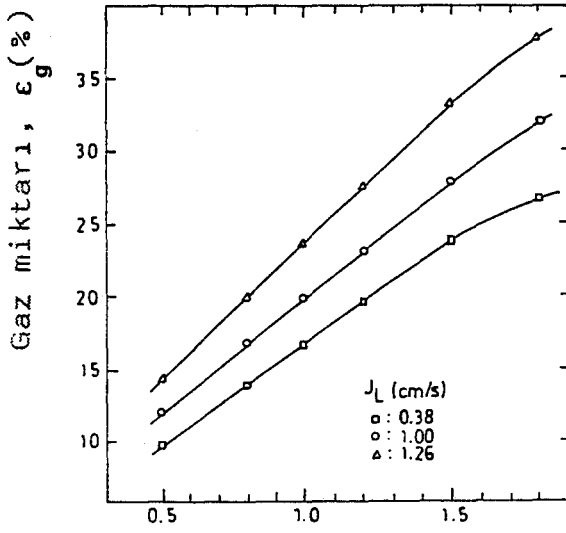
Düşük gaz akış hızlarında, gaz yakalanması arasında doğrusal bir ilişki vardır. Hava kabarcıkları kolonda



**Şekil 2.5. % Gaz miktarı ile hacimsel gaz akış hızı arasındaki ilişki.**

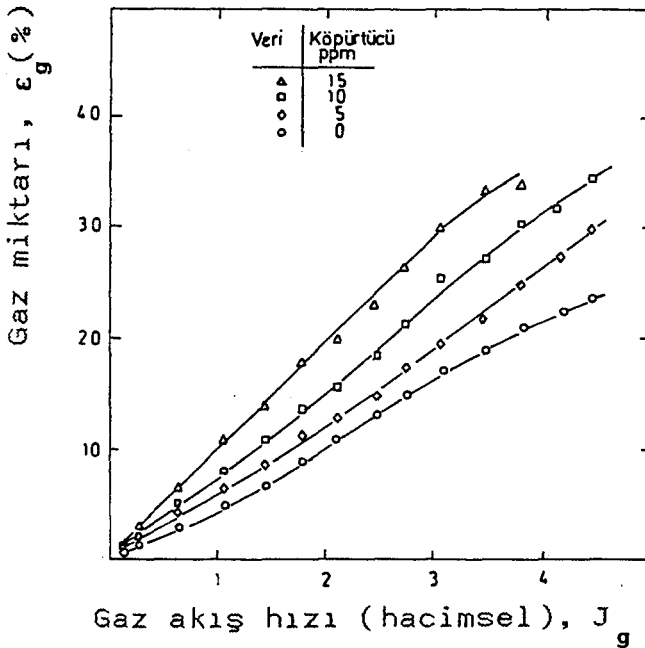
düzenli bir şekilde yükselir. Bu kabarcık akım rejimi olarak adlandırılır. Ancak gaz akış hızı arttığında küçük kabarcıklar birbiriyle birleşerek daha büyük kabarcıklar oluşturur. Bu duruma da türbülant akım rejimi denir. Kolon çapı 0.1 m.' den daha küçük olduğunda küçük kabarcıkların birleşmesi daha çok olur. Şekil 2.5, çapı 2.5 m. olan bir kolonda saptanmıştır.

Aşağı doğru olan hacimsel sıvı akış hızı ( $J_1$ ) ile köpürtücünün konsantrasyonu da, gaz yakalanması ve hacimsel gaz akış hızını etkiler. Şekil 2.6 bu etkiyi göstermektedir. Şekil 2.7 ise sabit hacimsel sıvı akış hızında, köpürtücü konsantrasyonu arttıkça, gaz tutulması ile gaz akış hızı arasındaki ilişkiyi gösterir.



Gaz akış hızı (hacimsel),  $J_g$  (cm./s.)

Şekil 2.6. Aşağı doğru olan sıvı akış hızının, % gaz miktarına etkisi (15 ppm Dowfroth 250-C).



Gaz akış hızı (hacimsel),  $J_g$  (cm./s.)

Şekil 2.7. % Gaz miktarının, köpürtücü konsantrasyonuna etkisi (Dowfroth 250-C ve  $J_1 = 0.5$  cm./s.).



Köpürtücü konsantrasyonu arttıkça kabarcık çapı küçülmeğe, dolayısıyla gaz yakalanmasını arttırmaktadır (Klassen, et al., 1963).

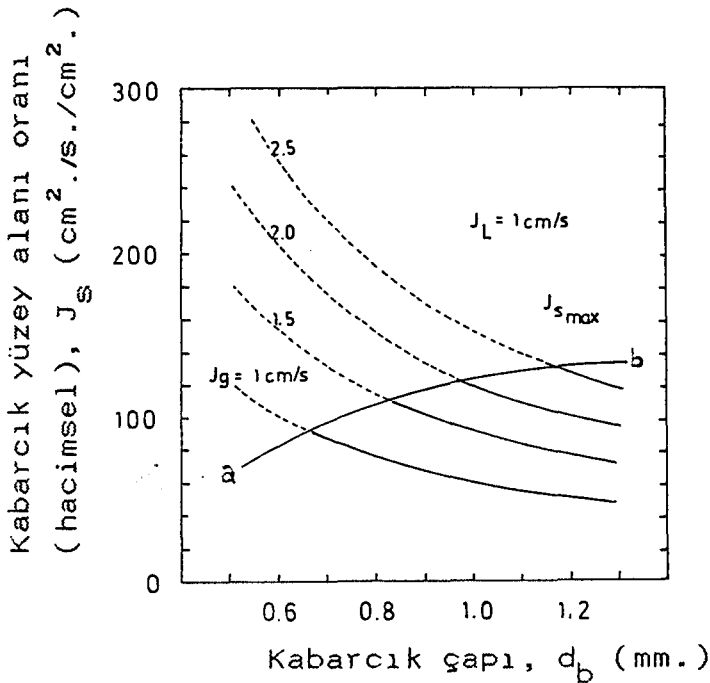
### 2.3.3. Hacimsel kabarcık yüzey alanı oranı

Hacimsel kabarcık yüzey alanı oranı aşağıdaki bağıntı ile hesaplanır:

$$J_s = \frac{6J_g^*}{d_b^*} \quad \frac{\text{cm}^2 \text{ kabarcık alanı/s}}{\text{cm}^2 \text{ kolon kesit alanı}}$$

$J_s$ : Hacimsel kabarcık yüzey alanı oranı,

$d_b^*$ : Kolonun en üst noktasındaki, kabarcık çapı.



Şekil 2.8. Hacimsel kabarcık yüzey alanı oranı ile kabarcık çapının değişimi

Kabarcık çapının en büyük olduğu yerde, yani köpüğün en üst noktasında  $J_s$  limite ulaşır. Şekil 2.8'de görüldüğü gibi  $J_s$  limiti a-b çizgisiyle sınırlıdır. Şekil 2.8'deki a-b çizgisi, aşağıdaki bağıntıdan bulunur:

$$J_{s \max} = \frac{6J_{g \max}}{d_{b \min}}$$

$d_b^*$ , toplama bölgesindeki kabarcık boyutlarından tahmin edilebilir. Mineraller kabarcıklara yapıştığında kabarcık yüzeyinde %50'lik kayıp olduğu kabul edilir.  $d_b^* = 2d_b$  Kabarcık çapı, kabarcık üreticisine, köpürtücünün konsantrasyonuna, hacimsel hava akış hızına ve pulpteki katı %'sine bağlıdır. Genelde  $d_b = 0.1-0.16$  cm. arasında verilmiştir (Yianatos, et al., 1988c).

#### 2.3.4. Bir gram katı için gerekli kabarcık yüzey alanı

Bütün parçaların küresel olduklarını ve kabarcık yüzeyinde  $d_p^2$  kadar yer kapladıklarını ve de kabarcığın tamamen yüklü olduğu kabul edilirse (Szatkowski, et al., 1985);

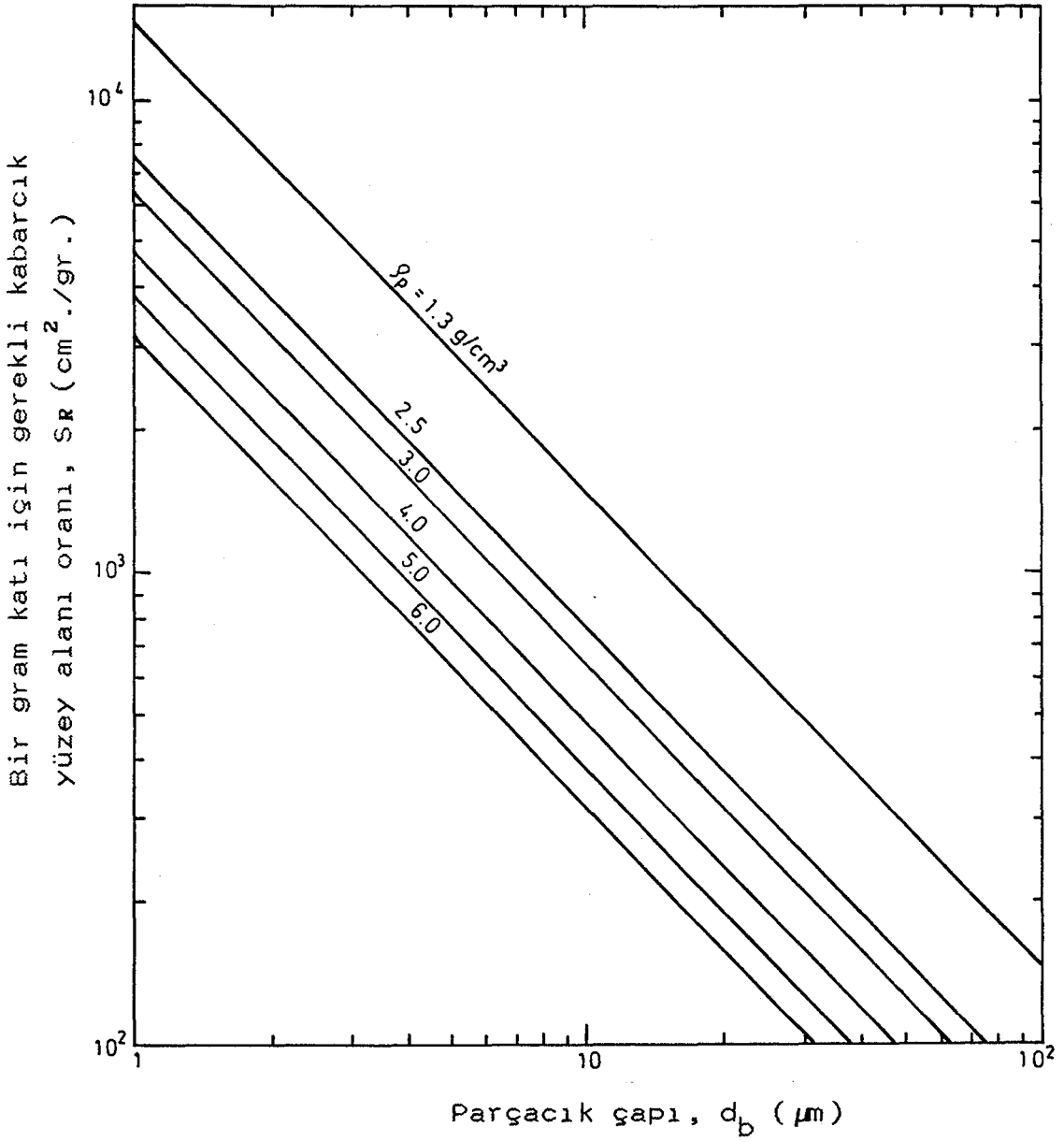
$$S_r = \frac{6}{\Pi d_p \rho_p} \quad \text{olur.}$$

Şekilde görüldüğü gibi küçük boyutlarda ve düşük yoğunluklardaki parçacıklar daha fazla kabarcık yüzeyine gereksinim duymaktadır.

Bir boyut dağılımında  $d_p$ 'nin tahmini zordur. Bunun için  $d_p$  aşağıdaki gibi alınabilir:

$$d_p = 0.3 d_{80}$$

$d_{80}$ : Parçaların %80'nin geçtiği boyuttur.



**Şekil 2.9. Bir gram katı için gereken kabarcık yüzey alanının, tanecik çapına bağlı olarak değişimi.**

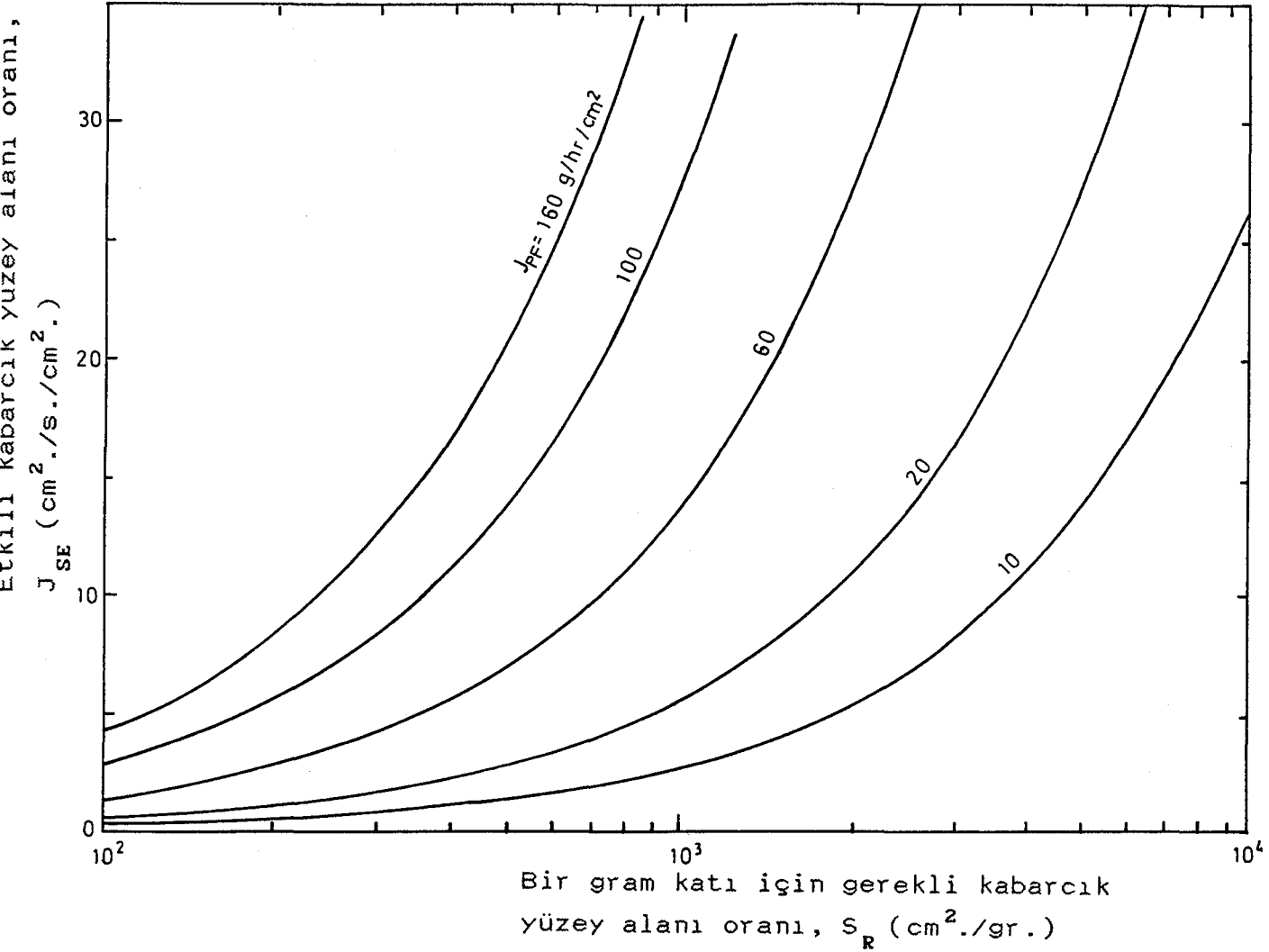
### 2.3.5. Yüzdürülmüş parçaların akış hızı oranı

Kolon üstünden çıkışta, her parçacığın iki kabarcık tarafından paylaşıldığı kabul edilir (Schulze, 1984). Bunun sonucu olarak etkili yaklaşık kabarcık yüzey alanı oranı ( $J_{SE}$ ) aşağıdaki bağıntıdan bulunur:

$$J_{SE} = 0.5 J_S \quad \text{ve}$$

$$J_{PF} = 3600 J_{SE} / S_T$$

$J_{PF}$ : Yüzdürülmüş parçaların akış hızı oranı (gr/saat/cm<sup>2</sup>).



Şekil 2.10. Yüzebilen parçaların oranı.

### 2.3.6. Konsantredeki katının kütlece akış hızı oranı

Konsantredeki katının kütlece akış hızı oranı (W), aşağıdaki bağıntı ile tanımlanır:

$$W = \frac{J_{PF} A_C}{1000} \quad W: \text{Kg./saat.}$$

Formüldeki, kolon kesit alanını aşağıdaki denklemlerle bulabiliriz.

$$A_c = \frac{1.18 \cdot 10^4 \cdot W \cdot d_b}{J_g \cdot \rho_p \cdot d_{80}}$$

$A_c$ : Kolon kesit alanı ( $\text{cm}^2$ ).

## 2.4 Hava Kabarcık Üreteçleri

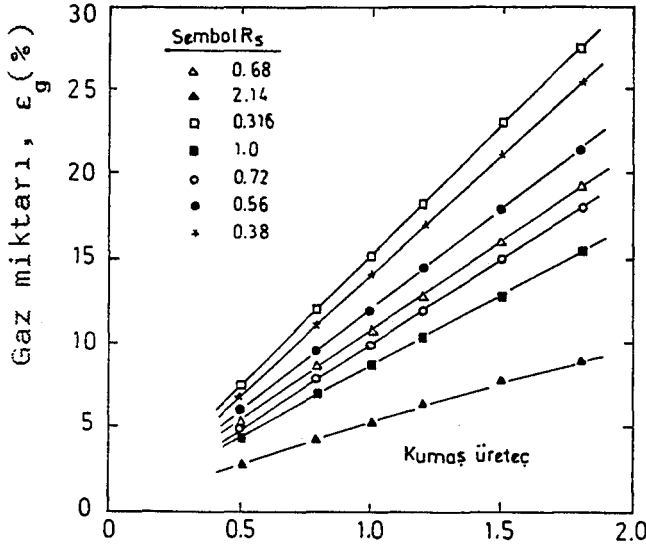
Hava kabarcığı üretme şekli flotasyon kolonunda mekanik makinalardan farklıdır. Hava veya gaz kabarcıkları kolonun içinde oluşturulabildiği gibi, kolon dışında oluşturulup kolon içine de verilebilmektedir.

### 2.4.1. Kolon içi kabarcık üreteçleri

Kolon içi kabarcık üreteçleri, sinterlenmiş camdan yapılan yada çok ince delikler delinmiş metal veya lastik borular olmak üzere ikiye ayrılır. Bütün poroz kabarcık üreteçleri benzer gaz yakalama gösterirler. Çok delikli metal kabarcık üreteçlerinde üretilen kabarcıklar daha küçük olduğundan gaz yakalanması daha yüksektir. Poroz kabarcık üreteçleri su içinde yaklaşık 2 mm. çapında kabarcıklar üretmektedir ( $J_g = 1.5 \text{ cm}^3/\text{s}$ . olduğunda). Flotasyon kolonlarında genelde poroz gaz üreteçleri kullanılmaktadır. Çizelge 2.3 bazı sistem verileriyle birlikte kullanılan kabarcık üreteçlerini göstermektedir.

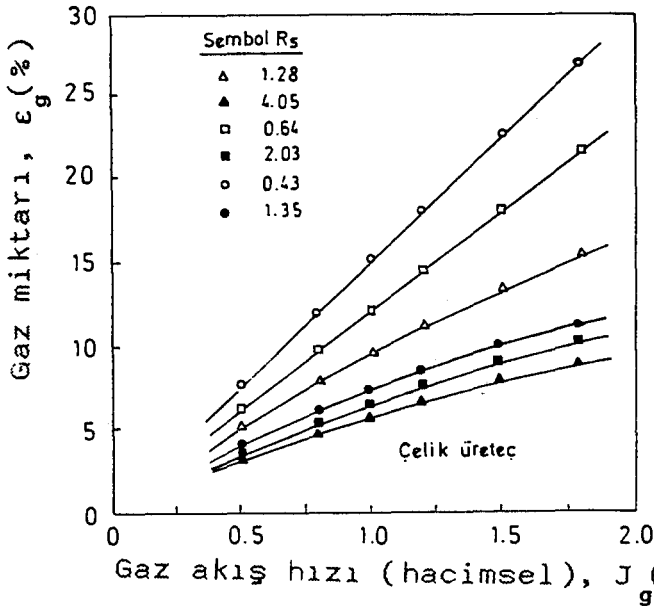
Poroz kabarcık üreteçleri sert veya esnek (delikli lastik veya süngerimsi lastik) olabilir. Daha çok esnek üreteçler tercih edilir. Genelde esnek üreteçler lastikten ya da kumaştan yapılabilir. Örneğin filtrenin üstü neopren ile kaplanabilir. Sert kabarcık üreteçleri ise çelik borulara çok küçük delikler açılması ile elde edilebilir (Rice, et al., 1981; Manqiu, 1987; Manqiu, et al., 1989). Şekil 2.11,

2.12 esnek kabarcık üreticileri ve sert kabarcık üreticileri kullanıldığında hava yada gaz yakalanması ile hacimsel gaz akış hızı arasındaki ilişkiyi göstermektedir.



Gaz akış hızı (hacimsel),  $J_g$  (cm./s.)

Şekil 2.11. Esnek kabarcık üretici kullanıldığında hava akış hızına bağlı olarak % gaz miktarı.



Gaz akış hızı (hacimsel),  $J_g$  (cm./s.)

Şekil 2.12. Sert kabarcık üretici kullanıldığında hava akış hızına bağlı olarak % gaz miktarı.

Çizelge 2.3 Kolonlarda kullanılan kabarcık üreteçleri.

Cinsi	$d_c$ (cm)	$H_c$ (cm)	$J_1$ (cm/s)	$J_g$ (cm/s)	Sistem	Kaynak
Poroz Çelik	4.7	91.5	0.4-1.6	0-6.7	$N_2-H_2O$	Argo, Cova (1965)
Poroz Levha	5	100	1.06	0-7.0	Hava- $H_2O$	Aoyama, et al (1968)
Elek Teli 500 $\mu m$ .	5	100	0.38	0-6.6	Hava- $H_2O$	Aoyama, et al (1968)
Frit Cam	3.8	152	0	0-2.4	Hava- $H_2O$	Bhaga, Webber (1972)
Sinter Metal	4.6	122	0.2-0.9	0-7.8	$N_2O$ - $H_2O$	Cova (1974)
Sinter Cam 150 $\mu m$ .	15	440	0	0-6.0	Hava- $H_2O$	Decwer, et al (1974)
Elek Teli 300 $\mu m$ .	10.3	150	0	0-5.0	Hava- $H_2O$	Tinge, Drinkenberg (1986)
Poroz Çelik Tel, 50 $\mu m$ .	2.5* 10	180	1	0-6.6	Hava- $H_2O$	Yianatos (1987)
Delikli Lastik	45.7* 45.7	1300	0	0-1.5	Hava- $H_2O$	Yianatos (1987)
Delikli Lastik	91.4* 91.4	1335	0	0-1.4	Hava- $H_2O$	Yianatos (1987)

Kolon kesit alanınının, kabarcık üreticinin yüzey alanına oranı ( $R_S$ ) aşağıdaki bağıntı ile tanımlanır:

$$R_S = \frac{A_C}{A_S}$$

$A_C$ : Kolon kesit alanı,

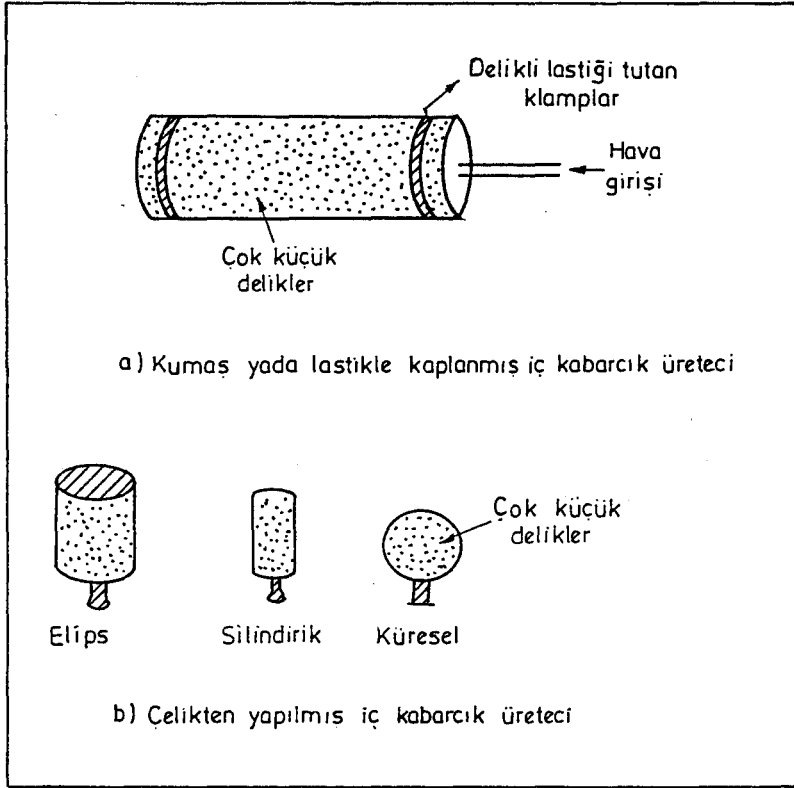
$A_S$ : Kabarcık üreticinin yüzey alanı.

#### 2.4.2. Kolon dışı kabarcık üreteçleri

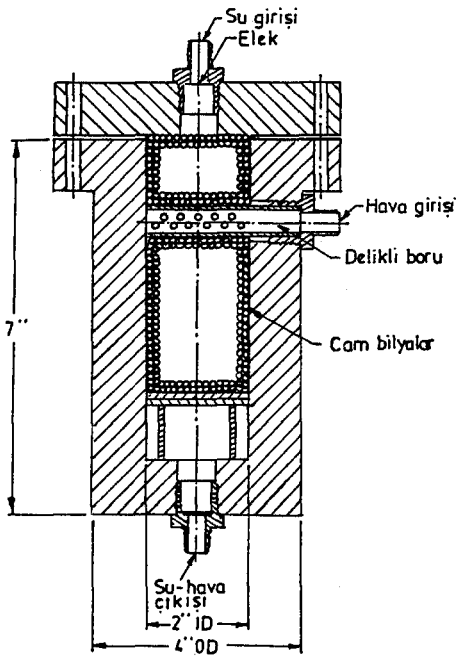
Gaz ve sıvı yada pulp kolon dışında karıştırılarak, kolonun altından beslenir. Bu yöntemi endüstriyel olarak uygulayan U.S.Bureau of Mines olmuştur (Mc.Kay, et al., 1988). Bu sistemde havanın ve suyun her ikisi de yüksek basınçta, su köpürtücü içermekte, karışım seramik ya da kuvars kürelerle dolu bir yatakta birbirleriyle temas ettirilmektedir. Daha sonra, yaklaşık 1mm. çaplı ve delikli kanallar bulunan çelik borularla bu karışım kolonun içine beslenir. Bu sistemde kabarcık çapını kontrol eden faktörler; havanın ve suyun basıncı, suyun akış hızı, köpürtücünün konsantrasyonu ve kanalların sayısı ve çapıdır. Kolon dışı kabarcık üreteçlerinin bir başka çeşidi de Cominco Ltd. tarafından yeni geliştirilmiştir. Diğer bir ticari gelişme Flotaire kolonları üzerinedir. Burada su geçişi poroz bir kol düzeneğinden oluşmakta, hava ise enjekte edilmektedir.

Kolon içi kabarcık üreteçleri ile karşılaştırıldıklarında, kolon dışı kabarcık üreteçleri daha az türbülans oluşturmaktadır ve sürekli sistemde kabarcık çapı kontrolu kolaylaşmakta ve üreticinin bakımı daha kolay olmaktadır. Dezavantajı ise kolon altından fazladan bir su girişinin olması nedeniyle sistem daha kompleks bir operasyona dönüşmektedir. Aynı zamanda, köpürtücünün kolon içindeki kütle dengesini kurmak güçleşmektedir.





Şekil 2.13. Kolon içi kabarcık üretici.



Şekil 2.14. Kolon dışı kabarcık üretici.

## 2.5. Toplama Bölgesinde, Parçaların Toplanma Prosesi

Flotasyon kolonunda, mineral parçalarının gaz kabarcıkları tarafından toplanması iki aşamada olur:

1. Parça-kabarcık çarpışması sonucunda, parça yüzeyi hidrofobik ise uygun bir yapışma olur yada,
2. Parça içinde gang minerallerinden dolayı, parça yeterince hidrofobik değilse kabarcık yapışmaz. Kolon flotasyonunda gang minerallerinin elimine edilmesi, parça verimini etkileyen bir anahtar özelliktir. Bu nedenle parça-kabarcık çarpışması ve yapışmasıyla ilgili bir model geliştirilmiştir. Bu model, flotasyonda denenmiş, kolon flotasyonu için optimum gaz oranının ve maksimum çarpışma oranının denenmesi gerekmektedir.

### 2.5.1. Toplama oranı sabiti

Kabarcıkların kolonda yukarı doğru çıktığı ve sudaki hidrofobik parçaların konsantrasyonu ( $C_p$ ), göz önünde tutulduğu durumda çarpışma etkisini ( $E_k$ ), belirlemek için aşağıdaki ifadeyi yazabiliriz:

Yer değiştiren parçaların oranı = Bir tane kabarcığın yer değiştirdiği parçaların oranı  $\times$  Kabarcık sayısı

Bu ifadenin boyut analizi yapıldığında aşağıdaki formül elde edilir (Jameson, et al., 1986):

$$k_c = \frac{1.5 \cdot J_g \cdot E_k}{d_b}$$

$k_c$ : Toplama oranı sabiti.

$E_k$ : Çarpışma etkisi.

### 2.5.2. Toplama için optimum gaz oranı

Kabarcık çapı ve gaz akış hızı sabit olan bir flotasyon sisteminde, gaz akış hızı arttırıldığında üstteki denkleme göre toplama oranında bir artış olur. Kabarcık üreteğinde herhangi bir değişiklik yapılmaksızın hacimsel gaz akış hızındaki bir artış, kabarcık çapını büyültür. Bu durum hem dolaylı, hem de doğrudan çarpışma etkisini azaltarak, toplama hız sabitini azaltır.  $E_k/d_b$  oranındaki azalma  $J_g$ 'deki artıştan doğan etkileri nötrleştirir.

### 2.5.3. Maksimum toplama hız sabiti

Kabarcık akış rejimini sağlayabilmek için, belirli kabarcık çapında, hacimsel gaz akış hızında maksimuma ulaşması gerekir. Bu kabarcık çapında,  $J_{g_{max}}$ 'da çalışmak  $k_c$ 'yi de maksimuma ulaştırır,  $k_{max}$ . Şekil 2.15'de belirli koşullarda kabarcık çapına bağlı olarak  $k_{max}$  değişimi görülmektedir. Şekilde görüldüğü gibi çok küçük kabarcık çaplarında  $k_{max}$ 'da azalmaktadır. Çünkü kabarcık çapı küçüldükçe  $J_{g_{max}}$  da küçülür.

$J_{g_{max}}$ 'da çalışarak  $k_{max}$ 'a ulaşmak teorik olarak olasıdır. Ancak  $J_{g_{max}}$ 'da çalışırken elde edilen toplama bölgesi kararlı değildir. Çünkü  $J_g$  veya  $d_b$ 'de olabilecek küçük değişiklikler kabarcıklı akıştan ani türbülent akışa geçişe neden olur. Uygulamada  $k_{max}$ 'da çalışmak uygun değildir (Dobby, et al., 1986).

Buna rağmen,  $k_c$  arttırılmak istendiğinde,  $d_b$ 'yi azaltmak yerine  $J_g$ 'yi arttırarak  $k_{max}$ 'a ulaşmak daha akılcıdır.

## 2.6 Kalma Süresi (Residence Time)

Beslemenin flotasyonda kalma süresi verimi etkiler. Ortalama flotasyonda kalma süresi boşalan artığın hacimsel

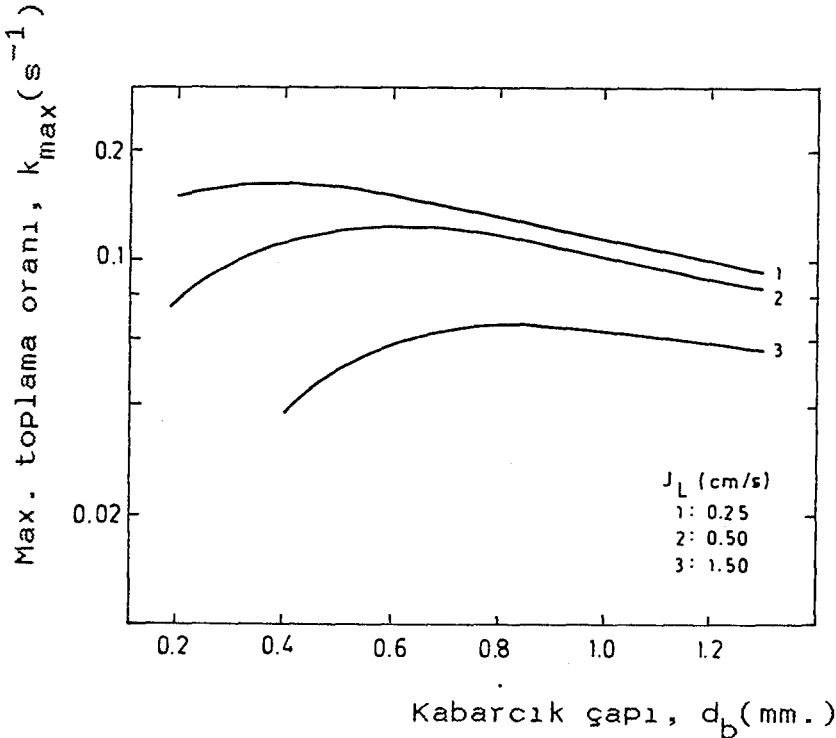
akışının, verim bölgesinin hacmine olan oranı ile kabaca hesaplanabilir. Pülpün veya sıvının flotasyonda kalma süresi ( $\tau_1$ ) (Yianatos, et al., 1987):

$$\tau_1 = \frac{A_c * L * (1 - \epsilon_g)}{T} \quad \text{bağıntısı ile bulunur.}$$

L: Gaz veya havanın kolona girdiği nokta ile köpük toplama bölgeleri ara yüzeyi arasında kalan uzaklık,

T: Artığın hacimsel akış hızı.

Bir flotasyon kolonunda parçacıkların flotasyonda kalma süreleri, kullanılan sıvının flotasyonda kalma süresine eşit veya daha düşük olabilir. Bu parçacığın çökme hızına ve sıvının aşağı doğru akma hızına bağlıdır.



**Şekil 2.15. Kabarcık çapına bağlı olarak maksimum toplama oranı sabitinin değişimi**  
( $d_p = 10 \mu m.$ ,  $\rho_p = 4.0 g/cm^3.$ ).

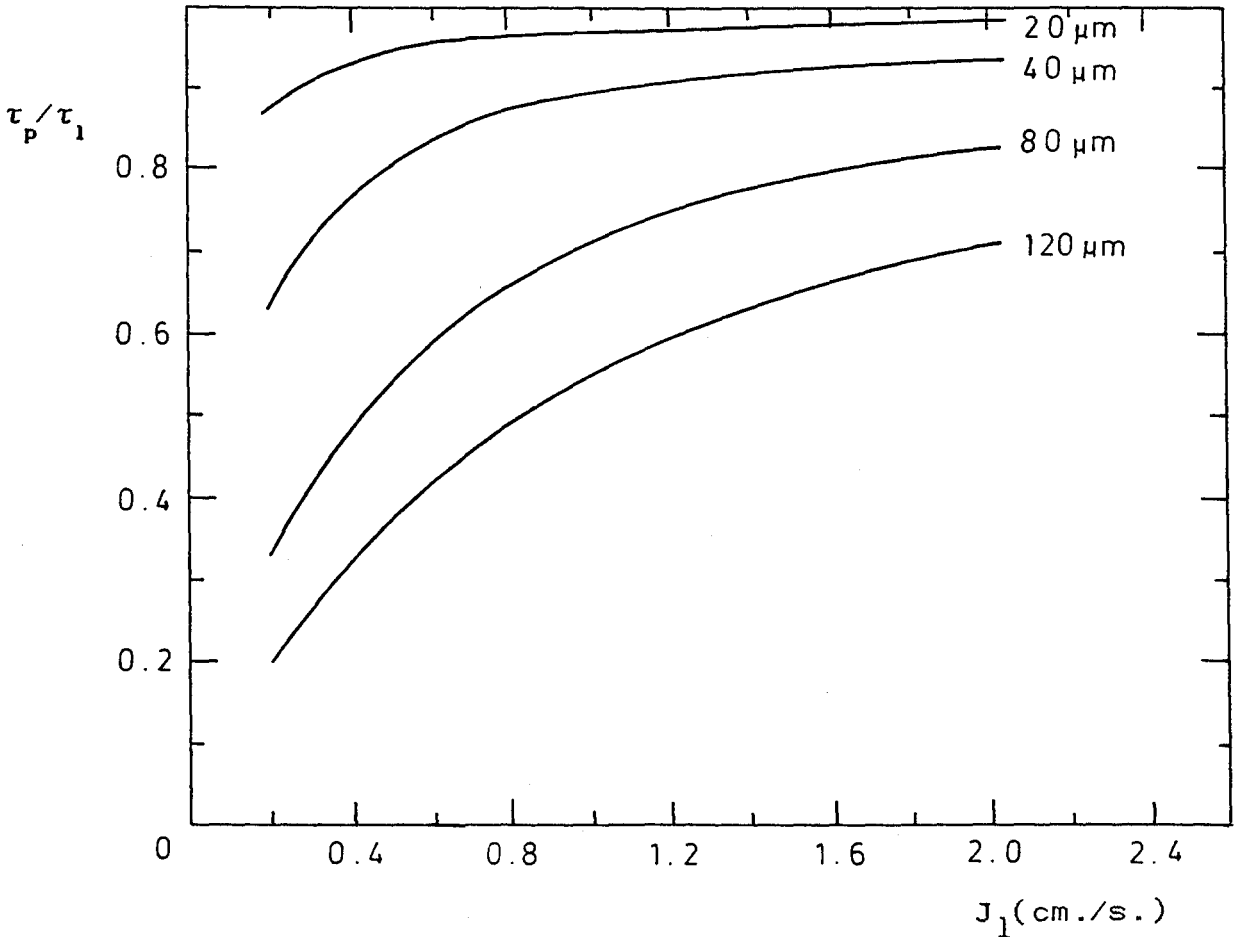
$U_p$ 'nin tahmin edilebilmesi için Masliyah'ın çok taneli parça sistemindeki engelli çöküş denklemi kullanılabilir (Yianatos, et al., 1986-a; Masliyah, J.H., 1979):

$$\frac{\tau_p}{\tau_l} = \frac{J_l}{J_l + U_p}$$

$\tau$ : Parçacıkların flotasyonda kalma süresi.

$J_l$ : Sıvının yada pülpün aşağı doğru hacimsel akış hızı.

$U_p$ : Köpük ve parçacık topluluğu içinde, parçanın çökme hızı.



Şekil 2.16. Değişik pülp hızlarında  $T_l$  ve  $T_p$  oranı.

Şekil 2-16, parça boyutu bir değişken olduğunda,  $\tau_p/\tau_1$ 'nin  $J_1$ 'ye karşı olan değişimini göstermektedir. Aşağı doğru su veya pülp akış hızınının tipik değerleri:  $J_1 = 1 - 2$  cm./s. ise boyutu  $120\mu\text{m}$ . olan parçaların flotasyonda kalma süresi, flotasyon pülpününün %60'ıdır ( $\rho_p = 4.0$  gr./cm<sup>3</sup>., pülp %20 katı içeriyorsa).

## 2.7 Yıkama Suyu ve Köpüğün Yapısı

Yıkama suyu, köpüğün kararlılığını arttırır ve derin bir köpük oluşmasını sağlar. Yıkama suyu ilave edildiğinde, köpük yüksekliği su-gaz sisteminde 10 cm.'den 100 cm.'ye çıkmıştır (Yianatos, et al., 1986-b). Yıkama suyu, köpük yatağı boyunca kolon içinde aşağı doğru bir su akışına (bias suyu) ve konsantrenin kolonun üstünden akarak konsantre tankına akmasını sağlar. Yıkama suyu ilavesi köpükteki su içeriğini arttırır yada başka bir deyişle tutulan gaz azalır. Aşağı doğru olan yıkama suyu akışı, konsantre içinde sıkışarak köpük bölgesine taşınan hidrofilik şlam parçalarının tekrar toplama bölgesine gönderilmesine yardımcı olur. Yıkama suyu arttığında tenör artmakta, verim azalmaktadır (Cienski, et al., 1981). Yıkama suyunun ılık olması daha temiz konsantre elde edilmesini sağlar. Çünkü yıkama suyu ılık olduğunda, hava kabarcıkları genişler ve kabarcıklar arasından, azalan su vizkositesi nedeniyle daha fazla drenaj olması sağlanır. Aynı zamanda kolon üstündeki kabarcıkların patlama olasılığı da artar. (Kaya, et al., 1988).

Yıkama suyu, kolonun en üstünden köpüğün üstüne damlalar halinde, minimum basınçla verilmelidir (Contini, et al., 1988; Falutsu et al., 1989). Bu suyun verilmesinde en iyi yöntem delikli, helezon şeklinde kıvrılmış bakır boru kullanmaktır. Yıkama suyu miktarını yaklaşık olarak tahmin etmek için bazı bağıntılar kullanılabilir (Yianatos, et al., 1986-b):

$$J_w = \frac{J_g^* \cdot \epsilon_c}{1 - \epsilon_c} + J_b$$

$$\epsilon_c = \frac{J_c}{J_c + J_g^*}$$

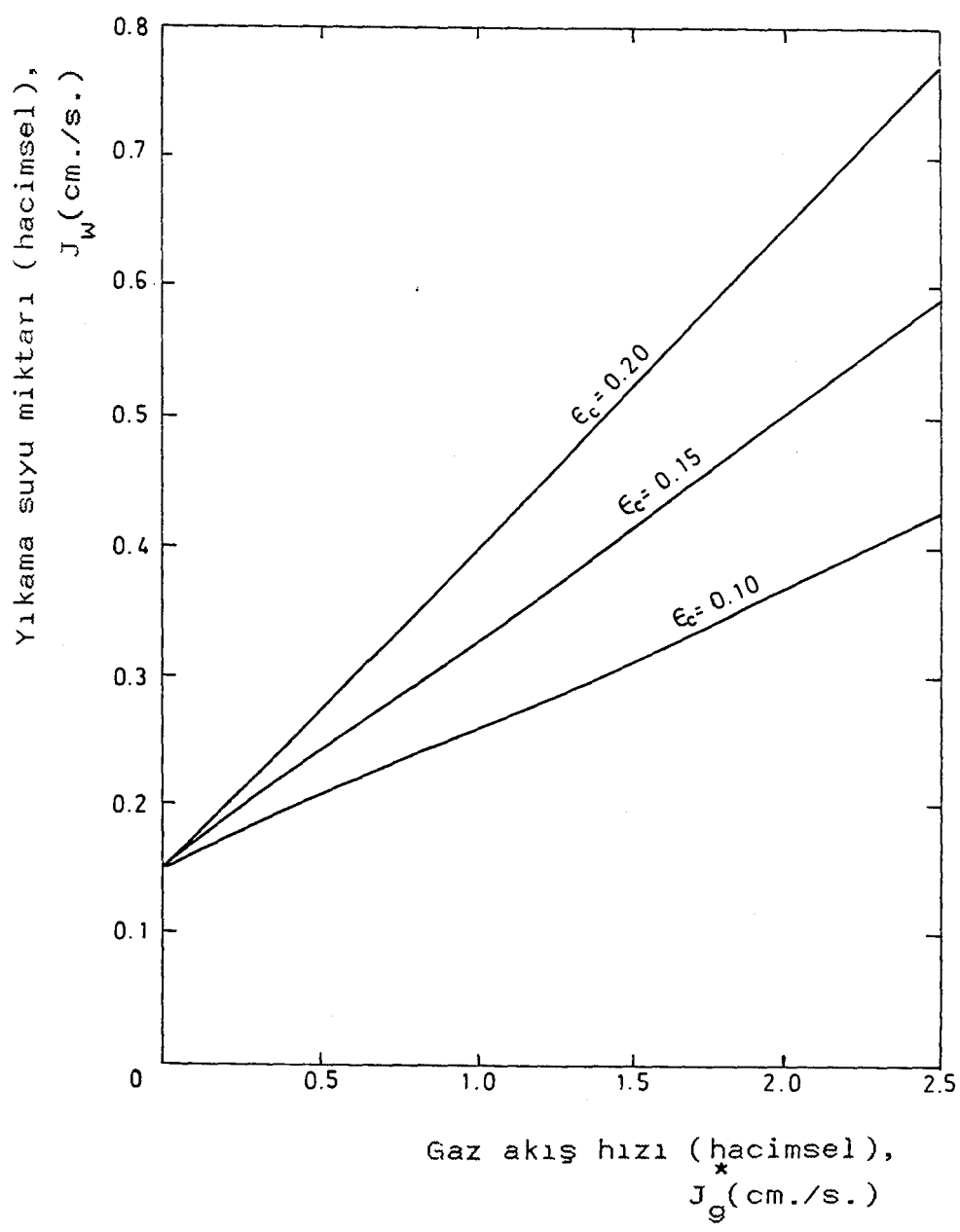
$J_w$  : Yıkama suyu akış hızı.

$\epsilon_c$  : Kolonun en üst noktasında tutulan konsantre fraksiyonu,  
Tesislerde  $\epsilon_c = 0.1-0.2$ 'dir.

Minimum yıkama akış hızı,  $J_c = 0$  olacak şekilde olmalıdır. Bu şart sağlandığında,  $J_w = J_b$  olur. Yıkama suyundaki artış hem  $J_c$ 'yi hem de  $J_b$ 'yi arttıracaktır.  $J_b$ , yaklaşık aşağı doğru olan su akımını gösterir ve değeri yaklaşık  $J_b > 0.1$  cm./s. olmalıdır. Şekil 2.17,  $J_b = 0.15$  cm./s. olduğunda üstteki iki denklemde eklenmesi gereken yıkama suyu miktarını verir.

## 2.8 Köpük Yüksekliği

Tesis operasyonunda tipik köpük yüksekliği 100-150cm. dir. Laboratuvar ölçeklerinde ise bu 0-100 cm. arasında olmalıdır. Çizelge 2.3 değişik kolon boyutları ve bunların uygulamaları için değişen köpük yüksekliklerini verir. Köpük yüksekliğini gösteren genel bir kural yoktur. Eğer flotasyon- da tek problem yüzmesini istemediğimiz minerallerin yüzen minerallerin arasına sıkışarak konsantreye karışması ise sığ köpük yükseklikleri yeterli olabilir. Bu durumda, fiziksel adsorbsiyon ile yüzdürme olayı köpük ve kabarcık oluşma bölgelerinin ara yüzeyinin yakınında engellenmiş olur ve gaz akışı oranında düşüktür ( $J_g^* < 1.5$  cm./s.) Eğer hidrofobik parçacıklar arasında seçimlilik gerekiyorsa veya yüksek hava oranları gerekiyorsa ( $J_g^* > 2$  cm./s.), derin köpük yüksekliği gereklidir (Yianatos, et al., 1987).



Şekil 2.17. Yıkama suyunun tahmin edilmesi.



## 2.9 Kolon Yüksekliği

Bir tesiste kullanılacak kolon yüksekliği aşağıdaki formüller ile hesaplanabilir (Yianatos, et al., 1988b):

$$H = L + 2$$

L: Toplama için gerekli yükseklik.

H: Kolon yüksekliği.

İki sabit sayısı ise 1.5m.'lik köpük yüksekliğini ve 0.5m. gaz dağıtıcısının alt yüksekliğini içerir.

$$L = \frac{\tau_1 * T}{A_c * (1 - \epsilon_g)}$$

$$T = F - \frac{W}{\rho_p} + J_b * A_c$$

$\epsilon_g = 0.15$  ve  $J_b = 0.15 \text{ cm./s.}$  değerleri başlangıçta kabul edilebilir.

$J_b$ : Bias akış hızı.

W: Konsantredeki katının kütleli akış hızı.

$\epsilon_g$ : Tutulan gaz fraksiyonu.

F: Beslemenin hacimsel akış hızı.

$\rho_p$ : Parçacıkların yoğunluğu.

$A_c$ : Kolon kesit alanı.

$\tau_1$ : Sıvının flotasyonda kalma süresi.

T: Artığın hacimsel akış hızı.

## 2.10 Bias ve Kontrol

Temizleme olayı, köpük bölgesi içerisinde aşağıya doğru var olan bir sıvı akımına dayandırılmıştır. Bu, aşağı doğru olan sıvı akımına pozitif bias denir. Sıvı akımı yukarı doğru olursa negatif bias denir ve bu durum istenmez. Pozitif bias'a artığın hacminin besleme hacminden çok

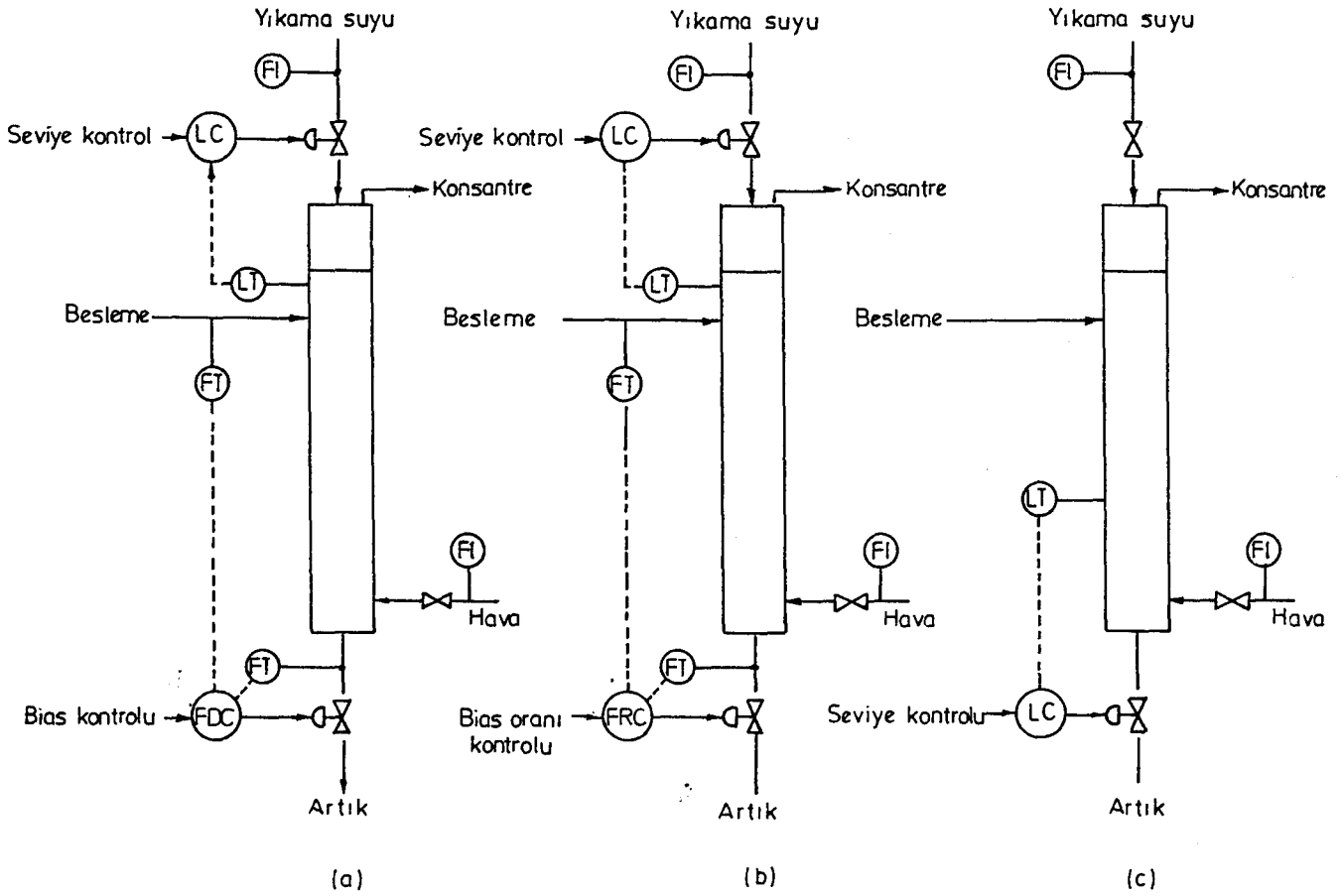
olmasıyla ulaşılır. Bunun kontrolü için birinci yöntem, sabit bir farkın korunması, yani;

$$B=T - F > 0$$

İkinci yöntem ise, artığın beslemeye oranının birden daha büyük bir sabitte tutulmasıyla olur. Bu orana Bias Oranı denir (BR).

$$BR = \frac{T}{F} > 1$$

BR değerleri için 1.05 - 1.15 değerleri önerilmiştir. Ancak tesis ölçeğindeki işlemlerde bu oran daha büyük olabilir (1.05-1.5). BR'nın bu geniş aralığı kolon flotasyonunda bir kontrol sistemi olduğunu gösterir.



Şekil 2.18. Flotasyon kolonunun kontrol şeması.

Şekil 2.18, tesis uygulamalarında kullanılan üç ayrı kontrol metodunu gösterir. (a) hacimsel bias farkı kontrol metodunu gösterir. Burada ayrı bir seviye kontrol halkası yıkama suyunu kontrol eder. (b)'de aynı kontrol yöntemini gösterir. Fakat burada bias oranı kullanılmaktadır (Coffin, et al., 1982). (c) farklı bir operasyonu gösterir. Burada yıkama suyu akış oranı sabit tutulmuş ve artık çıkışına bağlı olarak seviye kontrolü sağlanmıştır (Mauro, et al., 1984).

Her üç durumda da aşağıya doğru olan sıvı akımı yani pozitif bias korunarak amaca ulaşılmıştır. Ancak, sabit bias farkı ile çalışan (a)'da beslemedeki karışımlar, yıkama suyu akış oranını doğrudan etkileyemez. Böylece daha sabit bir köpük karakteristiği elde edilir. (b)'de beslenenin hacimsel oranındaki bir değişiklik, yıkama suyundaki akış oranını da etkileyecektir. Bu birbirini etkileyen kontrol sisteminin ayarlanarak sabit tutulması zordur. (b) sistemi, beslemenin akış oranına bağlı olarak değişken biaslarda çalışır. (c) durumu ise, beslenen akış oranı kolaylıkla ölçülemediği zaman bir alternatif olarak kalır. Bu durumda, eğer yıkama suyu ilavesi konsantreyi durdurmayacak kadar ise, bias açısından işlem kararlıdır.

Laboratuvar ölçeklerinde sabit bir bias, kullanımı önerilir. Bu uygulama özellikle flotasyonda kalma süresinin sınırlandırıldığı, düşük besleme oranlarının kullanıldığı yerlerde yararlıdır. Bu gibi durumlarda yıkama suyu oranı, besleme oranına bağlı olarak belirlenmekten ziyade, uygun bir köpük bölgesinin oluşturulması gereksinimine göre belirlenir. Bunun sonucu olarak bias oranı yüksek olacaktır (örneğin:  $BR=2$ ). Fakat bu, tesis ölçeklerinde  $BR$ 'nin benzer şekilde yansımalarını gerektirmez.

### 3. MAGNEZİT

Magnezyum (Mg), periyodik cetvelin 3. periyod, 2-A grubunda bulunan bir toprak alkali metaldir. Metal olarak veya bileşikleri halinde günümüz teknolojisinin önemli bir hammaddesidir. Genel tüketimi MgO, MgCO<sub>3</sub>, MgCl<sub>2</sub>, MgSO<sub>4</sub>, v.s., bileşikleridir. Tüketime %80'ni magnezya adı verilen magnezyum oksittir. Çünkü MgO yüksek erime noktası (2800°C) nedeniyle refrakter malzeme endüstrisinin en önemli hammaddelerinden biri durumundadır (Dean, 1973; Coope, 1989). Magnezyanın ve diğer bileşiklerin en önemli kaynağı magnezittir.

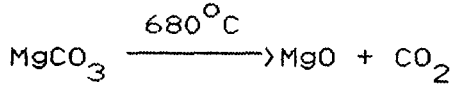
Magnezit (MgCO<sub>3</sub>), saf halde teorik olarak %47.8 MgO ve %52.2 CO<sub>2</sub> içerir. Magnezit, midye kabuğu veya düzensiz kırıklıdır. Mikroskop altında saydam ve yarı saydam haldedir (Bozkurt, 1985; Kuzvart, 1984). Mineral genellikle iri kristalli (spatik magnezit), yalancı kristalli (Kriptokristalen-Jel magnezit) ve bazen de amorf olarak bulunmaktadır. Jel magnezit iri kristalli magnezite oranla daha saf olmaktadır. İri kristalli magnezitin mohs sertliği: 3.5-4.0, saf halde öz kütlesi: 3.02 gr./cm<sup>3</sup>, rengi: beyazdan; sarı, mavi, kırmızı veya griden; siyaha kadar değişebilir. Çok kristalli ve amorf magnezitin mohs sertliği: 3.5-4.5, saf halde öz kütlesi: 2.95gr./cm<sup>3</sup>, rengi: beyazdır. Ancak sarı, turuncu karışımı bir renk de gösterebilir (Can, v.d., 1982; Norton, 1974).

Magnezitteki başlıca safsızlıklar; Al, Fe, Ca, Si elementlerinin karbonatlı, oksitli ve silikatlı bileşikleridir. Magnezitte, safsızlık az miktarda ise refrakterlerin üretim ve kullanımına safsızlık olumlu etki yapmaktadır. Ancak safsızlık artınca etkiler olumsuzlaşmaktadır, dolayısıyla refrakterin kalitesi bozulmaktadır.

Son yıllarda magnezit ticaretinde düşük SiO<sub>2</sub> içeren cevhere talep artmıştır. Magnezitte SiO<sub>2</sub>'nin düşük olmasının

yanısıra,  $\text{CaO}/\text{SiO}_2$  oranının 2 olması istenir. Yüksek  $\text{SiO}_2$  eğer sinterleşme anında forsterit ( $2\text{MgO}.\text{SiO}_2$ ) kristalini oluşturuyorsa, bu son ürünün kalitesinin (dayanımının) yükselmesine neden olur. Forsterit, sağlam yapılı ve ergime noktası  $1900^\circ\text{C}$  olan bir mineraldir. Magnezyanın kaliteli olması için; yüksek ısı dayanımı, yüksek saflık, homojen kristal yapısı ve yüksek yoğunluk istenir. Çizelge 3.1'de  $\text{CaO}/\text{SiO}_2$  ağırlıkça oranına göre sinterleşme anında oluşan mineraller ve mineral özelliklerini göstermektedir.

Doğal magnezit ısı işlemler sonucunda  $400^\circ\text{C}$ 'de bozunmaya başlar. Bozunma  $680^\circ\text{C}$ 'de tamamlanır. Ürün olarak magnezit ve karbondioksit açığa çıkar (Weasth, 1981). Bozunma tepkimesi;



Magnezitin  $900^\circ\text{C}$ 'deki kalsinasyonundan elde edilen ürüne ise kostik-kalsine magnezit denir. Magnezitin  $1700^\circ\text{C}$ 'in üstündeki sinterleşmesinden elde edilen üründen sinter magnezit adı verilir.  $\text{MgO}$  bileşiği nadiren olsa da doğada saf halde Periklas adı ile bulunabilmektedir. Sentetik  $\text{MgO}$  deniz suyundan, tuzlu kuyu sularından elde edilmektedir (Coope, 1989).

### 3.1 Magnezit Yatakları

Magnezit yatakları oluşumlarına göre dolomit ve kalker içinde iri kristalli magnezit yatakları; serpantinleşmiş kayalar içinde magnezit yatakları, sedimanter magnezit yatakları olmak üzere üç grupta toplanabilir.

**Cizelge 3.1 CaO/SiO<sub>2</sub> oranına göre, sinterleşme anında oluşan mineraller ve özellikleri (Didier, 1982).**

CaO/SiO <sub>2</sub>	Adı	Formülü	E.N. (°C)	Özelliği
Saf halde	Periklas	MgO	2800	çok sağlam
0.93'den	Forsterit	2MgO.SiO <sub>2</sub>	1900	sağlam yapılı
küçük	Montisellit	CaO.MgO.SiO <sub>2</sub>	1487	zayıf yapılı
0.93	Montisellit			
0.93-	Montisellit			
1.40	Mervinit	3CaO.MgO.2SiO <sub>2</sub>	1577	zayıf yapılı
1.40	Mervinit			
1.40-	Mervinit			
1.86	Dikalsiyum Silikat	2CaO.SiO <sub>2</sub>	2130	hacimce büyür, sağlam yapılı
1.86	Dikalsiyum Silikat			
1.86-	Dikalsiyum Silikat			
2.80	Trikalsiyum Silikat	3CaO.SiO <sub>2</sub>	1250- 1900	ayrışırken serbest kireç oluşur, ufalanır.
2.80	Trikalsiyum Silikat			
2.80'den	Trikalsiyum Silikat			
küçük	Kireç	CaO	2570	Hidratasyona uğrar, ufalanır

### 3.1.1. İrikristalli (spatık) yataklar

Bu tip yataklarda iri kristalli bol demir içeren büyük yataklar halinde; daha çok yaşlı kayalar ile beraber bulunan dolomit, kireç taşı, grafitçe zengin kumlu, killi ve silisli şistler ile yer yer evaporitlerdir. Yataklanması daha çok düzensiz şekilde ve masif haldedir (Kocaefe, 1982).

İrikristalli yataklar, kireç taşı ve dolomitin yüksek sıcaklıkta ( $300^{\circ}\text{C}$ 'den fazla) magnezyum iyonları ve  $\text{CO}_2$  içeren ortamda birbirleriyle teması sonucunda magnezit yatakları oluşturmakta olduğu öne sürülmektedir (Budnikov, 1964).

Dünyanın büyük irikristalli magnezit yatakları; Rusya, Kore, Brezilya, Kanada, Avustralya, Nepal ve Amerika'da dır.

### 3.1.2. Kriptokristalen - jel magnezit yatakları

Bu tip magnezitler çok ince kristallidirler. Karbonik asitlerin varlığında serpantin hidrotermal parçalanması ile oluşmuştur. Çoğunlukla serpantin kayaları içersinde filon, damar, ağ şeklinde bulunabilecekleri gibi serpantin kayaları üzerindeki kapalı havzalar içinde tortul seviyeler şeklinde de bulunabilirler. Bu magnezit yataklarında  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  ve  $\text{FeO}$  azdır. Bu tip magnezit yataklarının oluşumu için iki görüş vardır. Görüşlerden birincisi oluşumun yukarıdan aşağıya doğru olduğunu açıklar. Bu teoride serpantin,  $\text{CO}_2$  içeren yağmur suları, atmosferik ve biyolojik etkiler ile ultrabazik kayalar kütlelerini alterasyona uğratmaktadır. Bunun sonucu oluşan magnezyum iyonları çatlaklar içine sızmaktadır. İkinci oluşum ise aşağıdan yukarıya olan oluşumdur. Bu oluşumda da serpantin kütlelerinin yer altındaki  $\text{CO}_2$  içerikli termal sularla etkileşmesi sözkonusudur (Kocaefe, 1982).

Kriptokristalen magnezit yatakları Yugoslavya, Yunanistan, Güney Afrika, Rodezya, Hindistan ve Türkiye'de bulunmaktadır. Türkiye'deki yataklar: Konya, Eskişehir, Kütahya bölgelerindedir.

### **3.1.3. Sedimanter magnezit yatakları**

Mobilize olan magnezyumlu yer üstü sularının kapalı havzalarda toplanması ve gökermesi sonucu sedimanter magnezit yatakları oluşabilmektedir. Bu tip magnezit yatağı Türkiye'de, Denizli'ye bağılı Çardak ilçesi, Hırsızdere Çambaşı köyünde bulunmaktadır. Eskişehir çevresinde birincil magnezit yataklarından gelişen konglomenatik yataklaşmalar ekonomik boyuta ulaşmamıştır.

### **3.2 Dünya'da ve Türkiye'de Magnezit Rezervleri**

İnce kristalli magnezit çok az demirli bileşim içermesi ve daha saf olması nedeni ile iri kristalli magnezite göre daha kalitelidir. Dünya'da, ince kristalli magnezit rezervleri toplam rezervin %3'ünü oluşturmaktadır. Ülkemizde iri kristalli magnezit rezervleri yaklaşık 65 milyon ton'dur. Bu da Dünya'daki çok kristalli magnezit yataklarının %14'ünü oluşturur. Bu, ülkemizin magnezit yatakları açısından şanslı olduğunu gösterir.

Çizelge 3.2 dünya magnezit rezervlerini toplu olarak göstermektedir.



**Çizelge 3.2. Dünya magnezit rezervleri (Kramer, 1985).**

Ülkeler	Görünür (10 <sup>6</sup> ton)	Görünür + Muhtemel + Mümkün (10 <sup>6</sup> ton)
<u>Kuzey Amerika</u>		
A.B.D	43	65
Kanada	130	173
<u>Güney Amerika</u>		
Brezilya	650	867
<u>Avrupa</u>		
Avusturya	65	87
Çekoslavakya	87	130
Yunanistan	130	152
Türkiye	43	65
S.S.C.B.	3120	3467
Yugoslavya	22	43
Diğerleri	108	130
<u>Afrika</u>		
	22	43
<u>Asya</u>		
Çin	3553	4983
Hindistan	130	217
Kuzey Kore	2123	3553
Diğerleri	1430	1495
<u>Okyanusya</u>		
Avustralya	412	715
Dünya Toplamı	12068	16185

Çizelge 3.3'de Türkiye'deki magnezit yataklarının rezervleri ve bulunduğu bölgeler görülmektedir.

**Çizelge 3.3. Türkiye'de magnezit rezervleri (Can, vd.,1982).**

Bölge	Rezerv				Toplam (ton)	Potansiyel	
	Tenör (MgO)	Görünür	Muhtemel	Mümkün		Tenör (MgO)	Miktar (ton)
Ankara	46.35	57087	18814	15000	90901	45.86	6500
Bilecik	47.25	96572	129250	-	225822	-	-
Bursa	-	-	-	-	-	44.14	39200
Denizli	-	-	-	-	-	43.00	510000
Eskişehir	47.16	2295000	5325000	-	7620000	44.92	39350
Konya	45.83	1558728	2001592	3700000	7260320	45.05	28200000
Kütahya	46.12	2016520	8958560	9713000	20688080	46.21	565500
Çankırı	-	-	-	-	-	-	130000
Erzincan	-	1482000	-	894600	2376600	-	-
Erzurum	-	-	-	-	740200	-	-
Kars	-	465000	-	-	465000	-	-
<b>Toplam</b>					<b>39466923</b>		<b>29490550</b>

### 3.3 Dünya 'da Ham Magnezit ve Magnezya Üretimi

Çizelge 3.4'de dünyada ham magnezit, 3.5'de magnezitten magnezya üreten ülkeler ve üretim kapasiteleri görülmektedir.

**Çizelge 3.4. Dünya'da ham magnezit üretimi (bin ton) (Coope,1989).**

Ülkeler	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988
Avusturya	1 159	1 031	1 006	1 183	1 255	1 084	947	943
Yunanistan	962	967	891	1 064	846	944	842	850
İspanya	476	534	597	692	682	588	396	440
Türkiye	784	910	725	723	1 137	1 307	1 190	1 197
Yugoslavya	300	328	304	374	419	423	403	404
Çekoslovakya	2 500	2 500	2 500	2 500	2 500	2 500	2 500	2 500
Polonya	11	17	16	21	19	21	22	22
S.S.C.B.	4 200	4 500	4 500	5 000	5 000	5 000	5 000	5 000
Brezilya	790	750	745	724	623	649	650	680
Kanada	50	35	100	112	136	144	150	160
A.B.D.	250	200	200	150	100	100	100	100
Çin	2 000	2 000	2 000	2 400	3 400	3 400	3 400	3 400
Hindistan	463	418	435	418	421	460	420	420
Kuzey Kore	1 900	1 900	2 500	2 500	2 500	2 500	2 500	2 500
Nepal	-	-	15	44	20	63	50	40
Avustralya	26	30	21	67	58	41	54	55
Güney Afrika	57	32	23	33	29	61	75	80
Zimbabve	60	61	24	22	19	28	29	21
<b>Toplam</b>	<b>15 988</b>	<b>16 213</b>	<b>16 602</b>	<b>18 027</b>	<b>19 164</b>	<b>19 313</b>	<b>18 728</b>	<b>18 812</b>

**Çizelge 3.5. Magnezitten magnezya üreten ülkeler (Coope, 1989).**

Ülkeler	Üretim Kapasitesi (ton/yıl)	
	Sinter Mağnezya	Kalsine Mağnezya
Yunanistan	535 000	145 000
İspanya	70 000	135 000
Avusturya	480 000	120 000
Yugoslavya	200 000	40 000
Türkiye	244 000	40 000
Çekoslavakya	700 000	-
S.S.C.B.	2 100 000	-
Kanada	60 000	100 000
A.B.D.	30 000	70 000
Brezilya	340 000	20 000
Hindistan	129 000	20 000
Çin	700 000	300 000
Kuzey Kore	1 200 000	-
Avustralya	15 000	10 000
Güney Afrika	20 000	18 600
<b>Toplam</b>	<b>6 823 000</b>	<b>1 018 600</b>

### 3.4 Türkiye'de ham magnezit ve magnezyum üretimi

Çizelge 3.7 Türkiye ham magnezit üretimini, çizelge 3.8 Türkiye'de sinter ve kalsine magnezit üretim kapasitelerini göstermektedir.

**Çizelge 3.6. Deniz ve göl sularından magnezya üreten ülkeler (Coope, 1989).**

Ülkeler	Üretim Kapasitesi (ton/yıl)	
	Sinter Magnezya	Kalsine Magnezya
İngiltere	150 000	50 000
İrlanda	100 000	-
Hollanda	100 000	-
İtalya	165 000	20 000
Fransa	-	30 000
Norveç	-	25 000
İsrail	60 000	10 000
B.D.T.	80 000	20 000
A.B.D.	570 000	120 000
Meksika	150 000	20 000
Japonya	520 000	80 000
Güney Kore	50 000	-
<b>Toplam</b>	<b>1 945 000</b>	<b>375 000</b>

**Çizelge 3.7. Türkiye ham magnezit üretimi (ton) (D.İ.E. Türkiye İstatistik Yıllığı, 1989).**

Yıllar	Tuvenan	Ayıklamaya Gönderilen	Elde Edilen Ayıklanmış
1981	783 000	675 007	296 864
1982	910 249	845 877	430 172
1983	724 541	626 563	326 670
1984	723 268	770 577	404 600
1985	1 136 714	1 128 961	426 367
1986	1 306 645	1 294 509	446 602
1987	1 189 667	1 086 493	424 430
1988	1 125 844	1 191 868	357 991

**Çizelge 3.8. Türkiye’de sinter ve kalsine magnezya üretimi yapan firmalar ve yıllık kapasiteleri (ton) (Coope, 1989).**

Firma adı	Sinter	Kalsine
KÜMAŞ	144 000	-
MAŞ (Magnezit A.Ş.)	60 000	-
COMAG (Continental Magnezit)	-	40 000
KONYA KROM MAGNEZİT	40 000	-

### 3.5 Magnezit ve Magnezyum Bileşiklerinin Kullanım Alanları

Magnezit ve magnezyum bileşiklerinin kullanım alanları şunlardır (Shreeve, et al., 1967): Sinter magnezitin % 65’i refrakter malzemesi olarak; demir çelik endüstrisinde ki fırınlarda kullanılmaktadır.

Kostik kalsine magnezit ise çimento sanayisinde ki döner fırınların astarlarını tamir etmede, soral çimentosunun yapımında, suni ipek ve suni gübre yapımında, refrakter malzemesi olarak, kimya endüstrisinde (lastik, asidi nötürleştirmede), kağıt endüstrisinde (ince kağıt yapımında), su arıtma tesislerinde kullanılmaktadır.

Özel kostik kalsine magnezit çeşitleri ise (düşük tenörlü), kauçuk, ilaç ve boya sanayisinde dolgu malzemesi olarak, gübre, elektrik izolasyonunda, çimento sanayisinde, sülfür ve gaz temizlemede kullanılmaktadır.

Magnezyum karbonat; İzolasyon, cam, mürekkep, seramik, kimya ve gübre sanayilerinde kullanılmaktadır.

Magnezyum hidroksit; Şeker rafinasyonunda, ilaç endüstrisinde, MgO eldesinde kullanılır.

Magnezyum klorür; Metalik magnezyum elde etmede, seramik malzemeler, tekstil, kağıt ve kimya sanayisinde kullanılır.

Magnezyum sülfat; ilaç, boya, patlayıcı madde yapımında kullanılır.

Metalik magnezyum; Alüminyum ve magnezyum alaşımları: uçak, makina, alet yapımında kullanılır.

### 3.6 Magnezitteki Safsızlıkların Etkisi

Magnezitin içinde bulunan en önemli safsızlıklar demir oksit, silis ve kalsiyum oksittir. Bu maddeler magnezitin değerlendirilmesinde önemli rol oynar (Erdoğan, 1959).

#### 3.6.1. Demir(III)oksit'in etkisi ( $Fe_2O_3$ )

İyi bir sinterleşme için magnezitin %4-8 oranında demir(III)oksit içermesi yeterlidir. Bu oranın %2-3 olması durumunda tuğlanın ateşe ve ani sıcaklık değişmelerine karşı dayanıklılığı artar. Oran %10 civarında ise tuğlanın erime noktası  $2000^{\circ}C$ 'e kadar düşer.

$1200^{\circ}C$ 'den sonra demir(III)oksit, magnezyum oksit ile magnezyum ferrit ( $MgO \cdot Fe_2O_3$ ) oluşmasına neden olur. %95 MgO ve %5  $Fe_2O_3$  karışımının yumuşama başlangıcı  $1455^{\circ}C$ 'dir ve az miktarda CaO ile bu sıcaklık yükselir (örneğin %5 CaO ile bu sıcaklık  $142^{\circ}C$ 'lik yükselme olur). Buna karşılık az miktarda  $Al_2O_3$  ve  $SiO_2$  eklenmesi yumuşama başlangıç noktasını düşürür.

Magnezitin sinterleşmesi demir oranı azaldıkça güçleşir. Saf magnezit  $1750^{\circ}C$ 'de sinterleşir. Bu sebeple bu tür magnezitlere demir(III)oksit, sonradan metalik demir veya oksit halinde eklenir.

### 3.6.2. Silis'in etkisi ( $\text{SiO}_2$ )

Silis, magnezit cevherlerinde genellikle az miktarda bulunursa da tuğla üzerinde belirli etkileri vardır. Silis miktarının artması, yumuşama noktasının ve tuğlanın erime noktasının düşmesine sebep olur.  $\text{SiO}_2$  ve  $\text{CaO}$   $1000^\circ\text{C}$ 'de reaksiyona girmeye başlar. Fakat  $\text{MgO}$  ve  $\text{SiO}_2$  arasında bu sıcaklıkta reaksiyon olmaz. Yüksek sıcaklıkta silis ve  $\text{MgO}$  iki çeşit silikat oluşturur. Metasilikat ( $\text{MgO} \cdot \text{SiO}_2$ ; E.N.= $1557^\circ\text{C}$ ) ve Ortosilikat ( $2\text{MgO} \cdot \text{SiO}_2$ ; E.N.= $1890^\circ\text{C}$ ).

Magnezit tuğlasının ateşe, basınca ve ani sıcaklık değişmelerine dayanıklı olması gerekir. Bu nedenle silis olumsuz etki yapar. Hernekadar silis magnezitin termik özelliklerini olumsuz yönde etkiliyorsa da, sinterleşme ve periklas kristalizasyonuna yardımcı olur. Demir(III)oksit ve alüminyumoksit olmadan silisin yalnız başına  $1600^\circ\text{C}$  kadar magnezite etkisi yoktur. Magnezit tuğladaki silis miktarı belli bir sınırı aşarsa tuğlanın bazik curuflara karşı hassasiyeti hızla artar.

### 3.6.3. Kalsiyum oksidin etkisi ( $\text{CaO}$ )

Magnezit tuğla üretiminde, magnezit cevherinin içerdiği kalsiyumoksidin serbest halde tuğlaya geçmemesi gerekmektedir.  $\text{CaO}$ , magnezya ile hiçbir bileşik yapmaz ve hava etkilerine karşı tuğlanın direncini azaltır. Bu olumsuzluğu ortadan kaldırmak için kalsinasyon esnasında cevherin özel olarak kalsiyum oksidi zararsız hale sokacak bir madde içermesi gerekir.  $\text{CaO}$  bu şekilde zararsız hale getirilirken, oluşan bileşiğin tuğlaya zarar vermemesi gerekir.  $\text{CaO}$ ,  $\text{SiO}_2$  ile zararsız hale getirilirken dikalsiyum silikat ( $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ ) oluşur. Bu bileşik tuğlanın ufalanmasına neden olur. Buna engel olmak için biraz  $\text{Al}_2\text{O}_3$  eklenir. Fazla  $\text{MgO}$  varlığında  $\text{CaO}$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  ile kararlı bir bileşik yapmaz ve  $1300^\circ\text{C}$  altında yumuşamaya başlar.  $\text{MgO}$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 'e karşı  $\text{CaO}$ 'den daha aktif



olduğundan serbest CaO ayrılmasına neden olur. Magnezitin içerdiği CaO tuğlaya herhangi bir yarar sağlamadığından ve daha çok zararlı etkiler gösterdiğinden, mümkün olduğu kadar CaO'ın uzaklaştırılması gerekir.

### **3.7 Magnezit Cevherlerinin Zenginleştirilmesi**

Dünya'da magnezit cevherlerine ait zenginleştirme tesisleri sayısı azdır. Bu tesislerde uygulanan zenginleştirme yöntemleri aşağıdadır:

#### **3.7.1. Elle ve otomatik optik cihazlar ile ayırmayla zenginleştirme**

Bu yöntem, magnezit ile gang mineralleri arasındaki yapı ve renk farkı esasına dayanır. Ayırma işlemi cevher ocaktan çıkarıldığında, veya kırma işleminden sonra yapılır. Elle ayırma, + 40mm. boyutundaki cevhere uygulanır. Öğütülen cevherdeki mineraller renk farklılığına göre otomatik optik cihazlar ile ayrılabilir.

#### **3.7.2. Boyut küçültme ile zenginleştirme**

Bazı magnezit cevherlerinde gang mineralleri saf magnezit kadar sert olmadıklarından öğütme sırasında daha çok ufalanarak inceye geçerler. Bu özellikten, yararlanılarak magnezit kabaca temizlenir ve böylece  $SiO_2$ ,  $Al_2O_3$  ve  $Fe_2O_3$  önemli oranlarda azalır.

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

Magnezit ile silisli gang mineralleri arasındaki yoğunluk farkından yararlanılarak yapılan zenginleştirme yöntemidir. Magnezitin yoğunluğu  $2.9-3.1gr./cm^3$ .ve gang minerallerinin ise  $2.5-2.7gr./cm^3$ . arasında değişir. Ağır ortam olarak ferrosilikonun sudaki süspansiyonu kullanılır. Bazı magnezit cevherlerinde porozitenin çok olması ve dolayısıyla

yoğunluğun azalması nedeniyle ağır ortam ayırması uygun değildir.

#### **3.7.4. Elektrostatik ayırma ile zenginleştirme**

Magnezit ve gang mineralleri arasında az da olsa bir di elektrik katsayısı farkı vardır. Teorik olarak bu özellikten yararlanılarak magneziti gang minerallerinden ayırmak olasıdır. Ancak, uygulamanın pahalı olması nedeniyle yaygın kullanımı yoktur.

#### **3.7.5. Magnetik ayırma ile zenginleştirme**

Özellikle gang olarak içinde çeşitli şekillerde demir bileşikleri bulunan, serpantin içeren jel magnezitlerde uygulanmaktadır. Uygun tane boyutlarında serpantin ile magnetik olmayan magnezit birbirinden ayrılmaktadır. Ancak bu ayırmanın olması için, serpantinin magnetik özelliğini kaybetmemiş olması gerekir.

Bu yöntem demir içeriği yüksek olan magnezitlere de uygulanabilmektedir. Bu durumda demirli cevher kavrulmakta ve magnetik özelliği olan Magneziyoferrit ( $MgO.Fe_2O_3$ ) oluşmaktadır. Bu şekilde ayırma sağlanır.

Magnetik ayırıcıların, magnetik alan şiddetlerinin teknolojinin gelişmesine paralel olarak artması, bu yöntemin magnezitin gang minerallerinden ayrılmasında yaygın olarak kullanılmasına olanak sağlamıştır.

#### **3.7.6. Hidrotasyon yoluyla ayırma ile zenginleştirme**

Kalsine magneziti su veya su buharı ile ıslatıp, birkaç gün beklenirse ve sonra tromel elekten geçirilirse kısmen temizlenir. Burada CaO su çekerek ufalanma özelliği çok olan  $Ca(OH)_2$ 'e dönüşmüştür. Eleme sonucunda iri taneli kalsine magnezit elde edilmiş olur.

### 3.7.7. Dereceli kalsinasyonla ayırma ile zenginleştirme

Magnezit ( $400-700^{\circ}\text{C}$ ), kalsit ve dolomitten ( $700-950^{\circ}\text{C}$ ) daha düşük sıcaklıklarda kalsine olur. Cevher,  $400-700^{\circ}\text{C}$  arasında kalsine edilir. Kalsine olan magnezit sertliğini kaybeder ve daha sert olan kalsit, dolomit ve silikatlardan öğütülüp, sınıflandırılarak ayrılmış olur.

### 3.7.8. Kalsinasyon ve gravite ayırması ile zenginleştirme

Magnezit ve silisli gang içeren cevher  $600-900^{\circ}\text{C}$ 'de kalsine edildiğinde, magnezit tamamen ayrışarak  $1.3 - 1.9 \text{ gr./cm}^3$ . görünür yoğunluk kazanır. Silisli gang ise sadece suyunu kaybederek  $2.2 - 2.3 \text{ gr./cm}^3$ . görünür yoğunluk kazanır. Ancak sulu ortamda bu cevhere gravite ayırması uygulandığında kalsine magnezit su çekerek görünür yoğunluğunu  $1.9 - 2.1 \text{ gr./cm}^3$ . 'e yükseltir. Bu nedenle gravite ile ayırma çok güçleşir. Fakat bu yöntem olumlu sonuçlar verir.

### 3.7.9. Flotasyonla zenginleştirme

Cevher uygun serbestleşme boyutuna öğütüldükten sonra, magnezit yanında bulunan gang minerallerine bağlı olarak uygun reaktifler ile yüzdürülür veya bastırılır. Cevher içinde, gang minerali olarak silikatlar ya da kuvars varsa aminlerle  $\text{pH}=6-9$  arası kuvars ve silikatlar yüzdürülür, magnezit bastırılır (Sengupte, et al., 1978; Sastri, et al., 1981). Kuvars'ın yüzey yükünü sıfır yapan (zpc) pH değeri  $2.4 - 3.7$ ; silikatlar içinse zpc, pH  $2.2 - 3.2$  arasındadır. Bu pH değerlerinin altındaki değerlerde katı yüzeyi pozitif işaretli, üstteki pH değerlerinde ise negatif işaretlidir. Flotasyonda kullanılan aminler ise uzun zincirli (minimum 8 karbonlu) suda çözünebilen organik maddelerdir. Ancak suyun pH'ına bağlı olarak suya verdikleri iyon değişir. Asit ortamda ve  $\text{pH}<11$  olan bazik ortamlarda, pozitif yüklü ( $\text{NH}_4^+$ )

amonyum iyonu oluşur.  $pH > 11$  olduğunda ise  $(NH_4OH)$  amonyum hidroksit bileşiği oluşur. Aminlerle magnezit flotasyonunda, bazik ortamda magnezitin aminle temas açısı sıfırdır (Atak, 1974). Bunun için flotasyonu  $pH = 6-9$  arasında yaptığımızda flotasyon ortamında kuvarsın veya silikatların yüzeyi negatif, toplayıcı reaktif ise pozitif yüklü olduğundan bunlar birbirini çekerek, yani elektrostatik kuvvetler etkisiyle birbirine yapışacaktır. Burada yüzeyde kimyasal reaksiyondan ya da kimyasal adsorpsiyon yerine fiziksel adsorpsiyondan söz edilebilir.

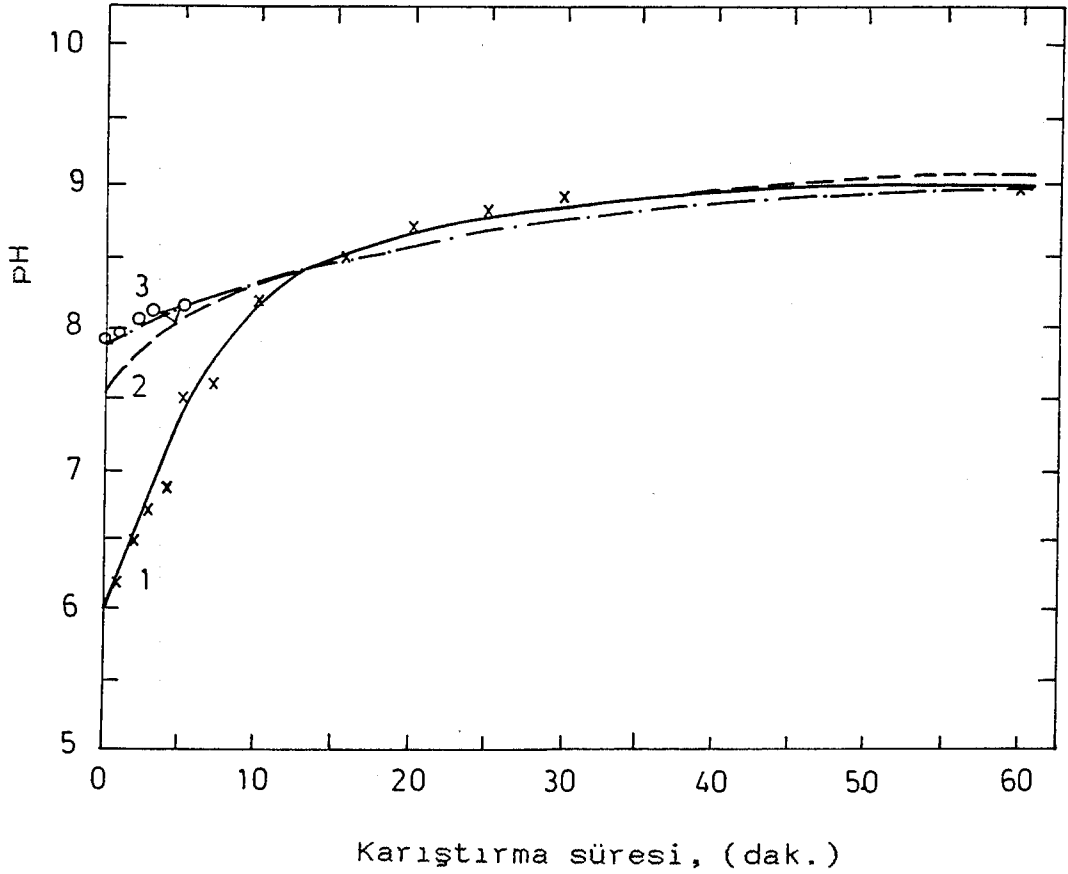
Magnezit ve serpantin ile değişik  $pH$ 'da çeşitli aminlerle yapılan adsorpsiyon çalışmaları sonucunda çizilen infrared spektrumları incelendiğinde, magnezit ve serpantinle aminler arasında fiziksel adsorpsiyon olduğu görülmüştür (Gence, 1991).

Magnezit ( $MgCO_3$ ) ve dolomit ( $MgCO_3 \cdot CaCO_3$ ) az çözünen tuz tipi minerallerden olup, hidrofilitirler. Bunların kristal yapıları ve fiziko-kimyasal özellikleri benzer olduğundan, bu iki minerali flotasyon ile ayırmak çok zordur (Hanna, et al., 1976). Seçimli bir ayırım yapmak için toplayıcı reaktifleri ile bastırıcıların çok iyi seçimli olmaları, miktarlarının iyi ayarlanmaları ve iyi bir kıvamlandırma gerekir. Flotasyonda,  $pH = 8-11$  arasında magneziti yüzdürmek için yağ asitleri (genelde oleik asit) veya yağ asitlerinin tuzları (örneğin: sodyum oleat), dolomiti bastırmak için ise hekzametafosfat, karboksimetilselüloz, sodyumsilikat, sodyumflorasilikat kullanılır.

Predali, J.J. ve Cases, J.M. magnezitin ve dolomitin yüzey özelliklerini incelemişlerdir. Deneysel çalışmalar sonucunda magnezitin ve dolomitin sıfır yük noktasını bulamamışlardır. Çünkü,  $pH < 6$  olduğunda magnezit ve dolomit çözünmektedir. Ancak denge denklemlerinden yararlanılarak magnezitin sıfır yük noktasının  $pH = 5.2$ 'de olacağı, dolomitin ise zpc'nin  $pH < 7$  olacağı tahmin edilmiştir (Predali, et al.,

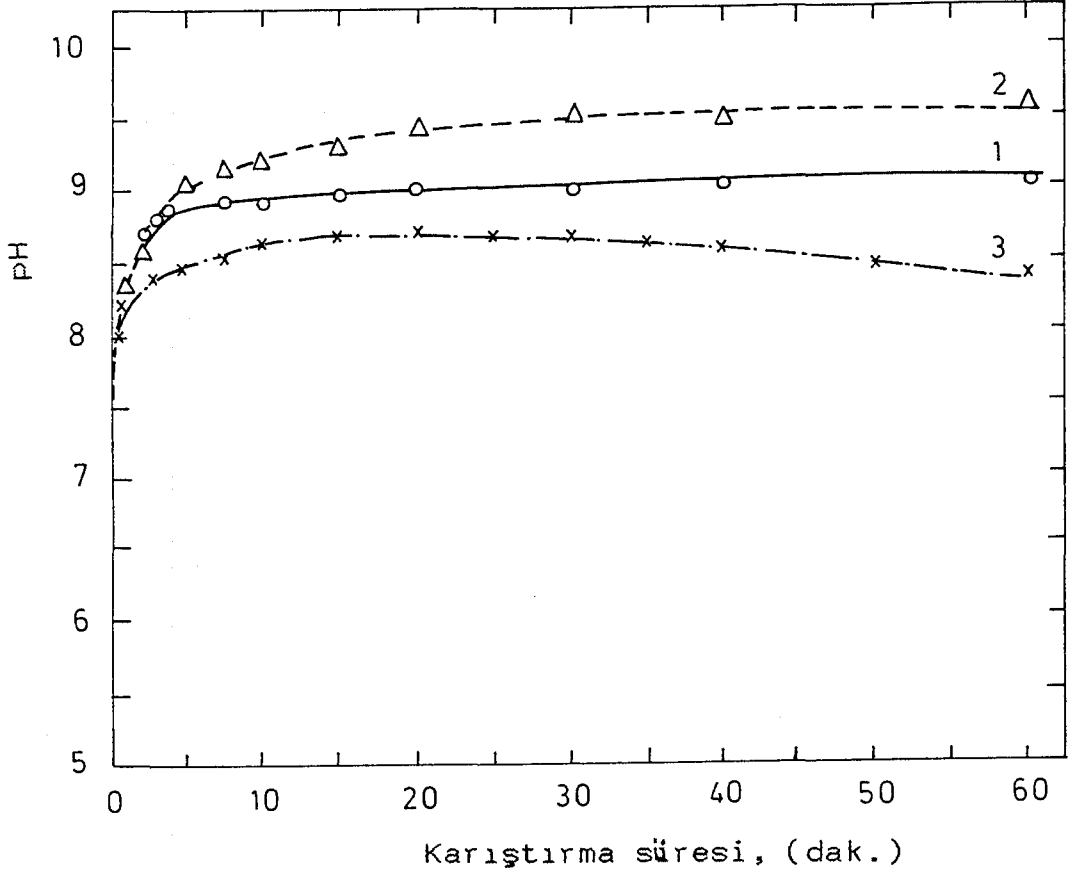
1973). Yine bu çalışmalarda, pH=10'da magnezyum iyonlarının ( $Mg^{+2}$ ), magnezitin ( $Mg^{+2}$  derişimi  $2 \cdot 10^{-2}$  mol/lt., ise) ve dolomitin ( $Mg^{+2}$  derişimi  $2.3 \cdot 10^{-3}$  mol/lt., ise) zeta potansiyellerini sıfıra ulaştırdığı, daha yüksek derişimlerde pozitif değer aldığı görülmüştür. Kalsiyum iyonları  $Ca^{+2}$ , magnezitin ve dolomitin zeta potansiyellerini değiştirmekte, ancak çalışılan derişim aralıklarında ( $10^{-4}$ -  $10^{-2}$  mol/lt.) negatif kalmaktadır. Karbonat iyonlarının ( $CO_3^{-2}$ ), zeta potansiyeli üzerine etkisinin çok az olduğu gözlenmiştir.

Matis ve Gallios 1988'de, Yunan magnezit ve dolomitlerini incelemiştirlerdir. Çalışmalarında magnezit içeriği %47.52 MgO, kızdırma kaybı % 51.58 çok az da CaO,  $R_2O_3$  ve silikatlar olan saf magnezit ile saf dolomit (% 21.86 MgO, % 30.50 CaO ve kızdırma kaybı % 46.74) kullanmışlar. Magnezitin ve dolomitin ayrı ayrı atmosfer şartlarında su/ $CO_2$  ortamında çözünmelerini ve çözeltilinin pH değişimini inceleyerek birtakım sonuçlar elde etmişlerdir (Şekil 3.1, 3.2) (Matis, et al., 1989).



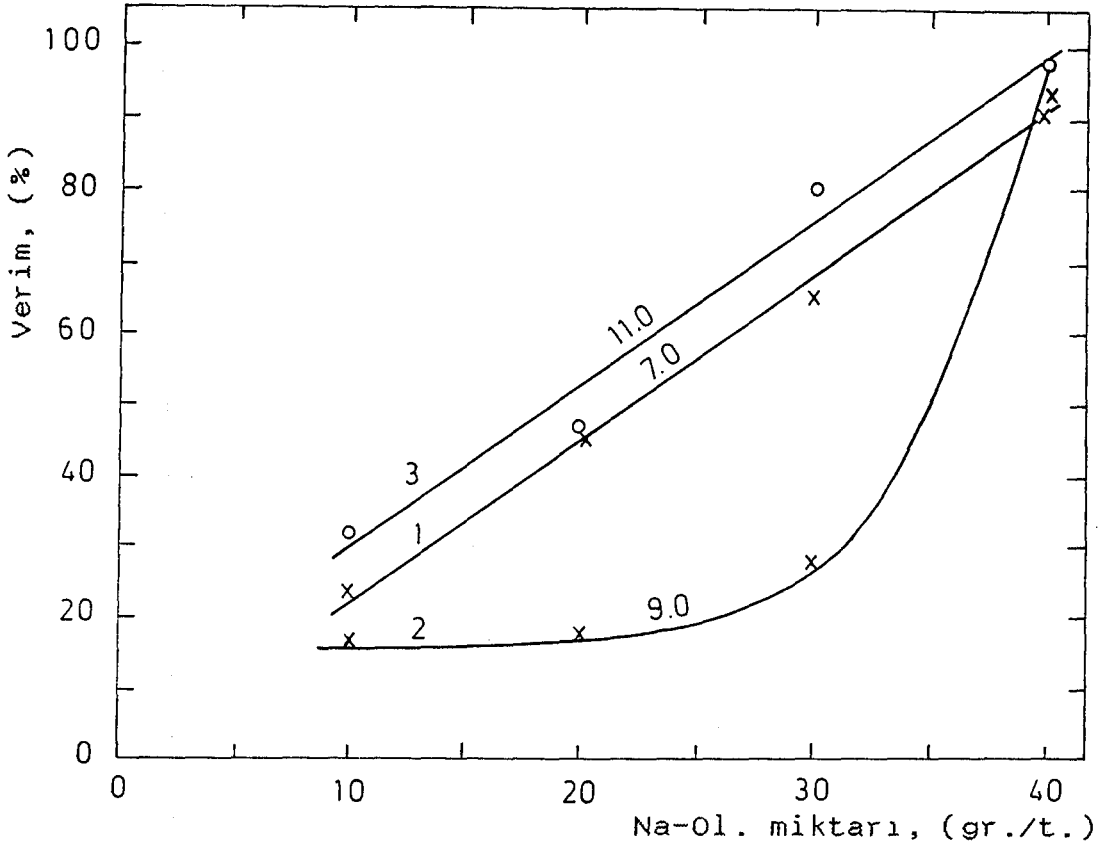
**Şekil 3.1. Magnezitin çözünmesine bağlı olarak pH değişimi  
(1: saf su, 2: 20 ppm sodyum oleat, 3: 20 ppm  
sodyum oleat ve 20 ppm sodyum hegzametafosfat)**

Şekil 3.1' de magnezit başlangıçta hızla çözünmekte, çözeltilinin pH'ı 8-8.5 olduğunda çözünme yavaşlamakta ve pH 9 olduğunda sabit kalmaktadır. Ortama sodyum oleat ve sodyum oleat + sodyum hegzametafosfat eklendiğinde magnezitin çözünmesinde fazla bir değişiklik olmamaktadır. Oysa şekil 3.2'de görüldüğü gibi dolomitin çözünürlüğü yada çözeltilinin pH değeri sodyum oleat eklenmesi ile artmakta, sodyum oleat ve sodyum-hegzametafosfat eklenmesi ile azalmaktadır.

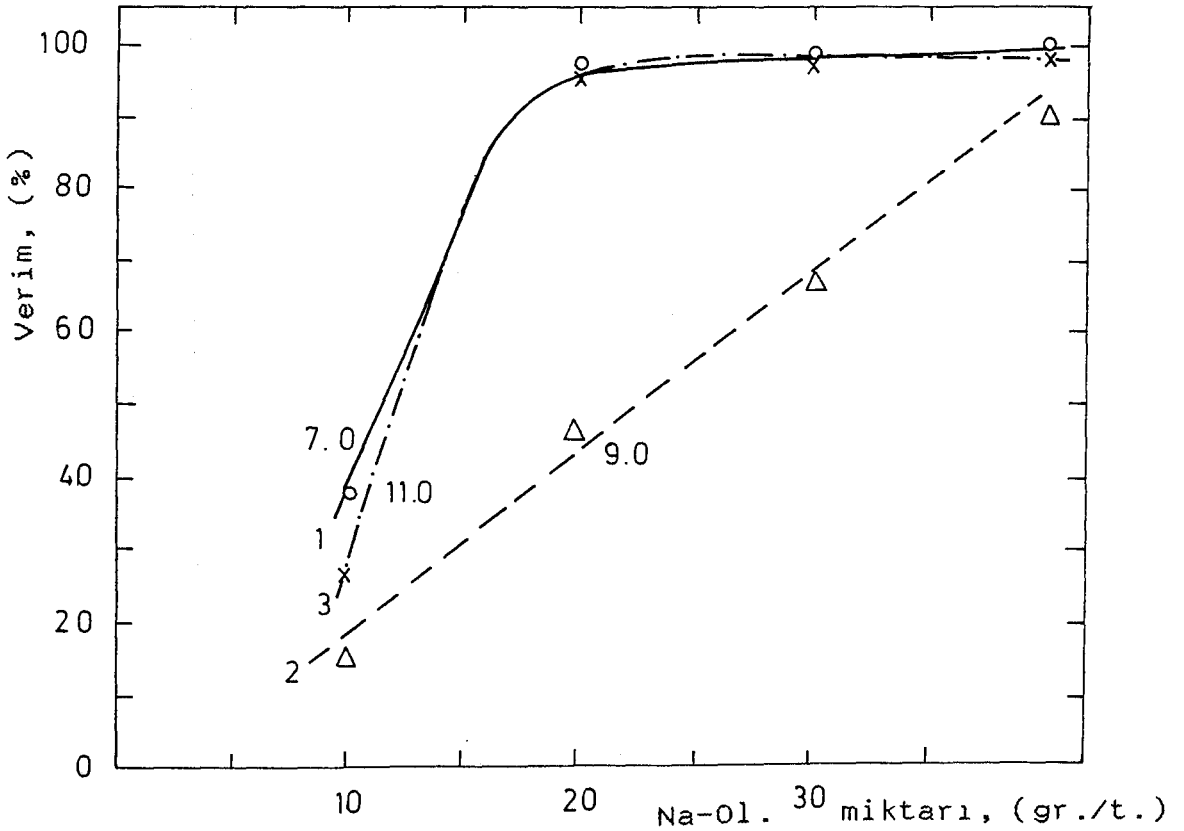


**Şekil 3.2. Dolomitin çözünmesine bağlı olarak pH değişimi  
(1: saf su, 2: 20 ppm sodyum oleat, 3: 20 ppm  
sodyum oleat ve 20 ppm sodyum hegzametafosfat)**

Flotasyon çalışmalarını ise  $220 \text{ cm}^3$ 'lük mikro hücrede, 2gr. numuneler ile yapmışlardır. Deney sonuçları şekil 3.3 ve 3.4' de görülmektedir.

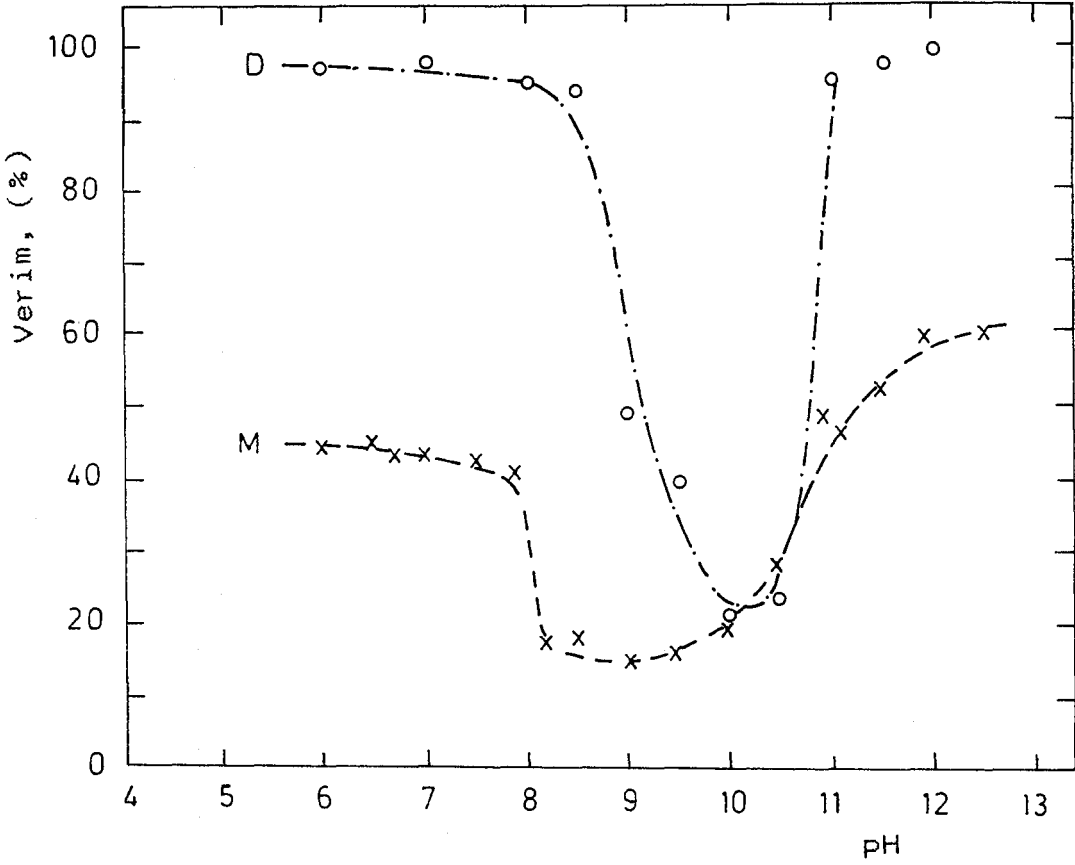


**Şekil 3.3. Sodyum oleat derişiminin magnezit verimine etkisi (1: pH=7.0, 2: pH=9.0, 3: pH=11.0 ).**



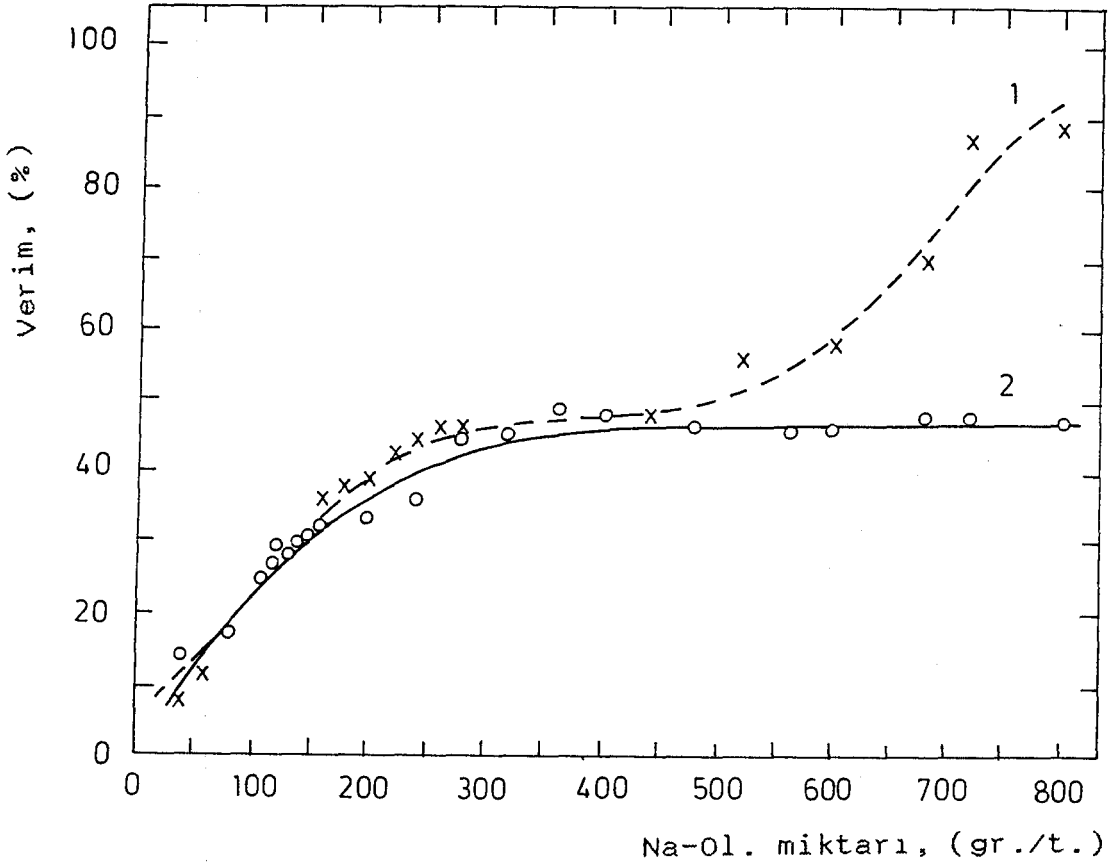
**Şekil 3.4. Sodyum oleat derişiminin dolomit verimine etkisi (1: pH=7.0, 2: pH=9.0, 3: pH=11.0).**





**Şekil 3.5. Magnezit (M) ve Dolomit (D) verimlerinin pH'a etkisi (20 ppm sodyum oleat eklendiğinde).**

Şekil 3.5 incelendiğinde dolomitin flotasyon veriminde pH=8-11 arasında büyük bir azalma olduğu görülmektedir. Bu çalışmalarda  $Ca^{+2}$  iyonunun magnezitin flotasyon verimine ve sodyum oleat miktarının etkisinde incelenmiştir. Şekil 3.6'da görüldüğü gibi pH=10 ve  $Ca^{+2}$  iyonu 200 ppm olduğunda sodyum oleat miktarı ne kadar arttırılırsa arttırılsın, magnezit veriminin % 40'da sabit kaldığı görülmüştür.



**Şekil 3.6. Sert suyun magnezit verimine ve sodyum oleat miktarına etkisi (pH=10, 1: 40 ppm Ca<sup>2+</sup>, 2: 200 ppm Ca<sup>2+</sup>).**

Sodyum silikat, sodyum fluorosilikat ve kalgon gibi dolomiti bastıran reaktifler ve miktarları üzerinde de flotasyon deneyleri yapmışlardır. Bu deneylerde magnezit ve dolomiti değişik oranlarda karıştırarak, en iyi flotasyon koşullarını belirlemeye çalışmışlardır. Sonuç olarak, pH=9 - 11, magneziti yüzdürmek için 30 ppm sodyum oleat ve dolomiti bastırmak içinde 30 ppm kalgon kullanılmasının olumlu sonuçlar vereceğini öne sürmüşlerdir.

Hongen, Laigun ve Shiguan 1991'de, Çin magnezit ve dolomitlerinin yüzey özelliklerini incelemişlerdir. Matis ve Gallios'un yaptığı çalışmalara benzer çalışmalar yapmışlar-

dır. Bu iki çalışmadan Yunanistan magnezit ve dolomitleriyle Çin magnezit ve dolomitlerinin benzer özellikler gösterdiği görülmektedir (Hongen, et al., 1991).

Magnezitin yanında gang minerali olarak silikatlar ve dolomit varsa, önce katyonik reaktiflerle (aminlerle) silikatlar yada kuvars yüzdürülür daha sonra ikinci basamakta anyonik reaktiflerle (yağ asitleriyle) magnezit yüzdürülüp dolomit yada kalsit bastırılır.

Karantzavelos 1984'de, içinde % 25.3 SiO<sub>2</sub>, %6.45 CaO ve %4.14 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> bulunan Yunanistan magnezitini flotasyon ile zenginleştirmeye çalışmıştır. Önce cevheri 125 µm.'ye kadar öğütüp, pulpe sodyum silikat ve bir süre sonra da amin asetat ilave etmiş. Asetik asit ile pH= 5.5 - 6.0 yapılmış ve fuel-oil eklenerek magnezit yüzdürülmüştür. Sonuçta % 0.49 SiO<sub>2</sub>, %2.84 CaO, %0.63 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> içeren konsantreyi % 65 magnezit verimiyle elde etmiştir (Karantzavelos, 1984).

Calic 1983'de magnezit ile dolomiti değişik sıcaklıklarda kavurarak yüzey özelliklerini değiştirip, flotasyon deneyleri yapmış. Dolomitli, magnezit cevherini 560°C'e kadar kavurup, 10<sup>-4</sup> M. oleat yada sülfonat toplayıcısı ekleyip flotasyon yaptığıında % 90 verimle dolomitin yüzdüğünü görmüş. 560°C' den sonra ki kavurma işlemlerinde ise hızla magnezit ile dolomitin yer değiştirdiğini ve 1050°C'te kavurma yapıp daha sonra flotasyon uygulandığında % 90 verimle magnezitin yüzdüğünü, dolomitin ise atığa gittiğini bulmuştur (Calic, 1983).

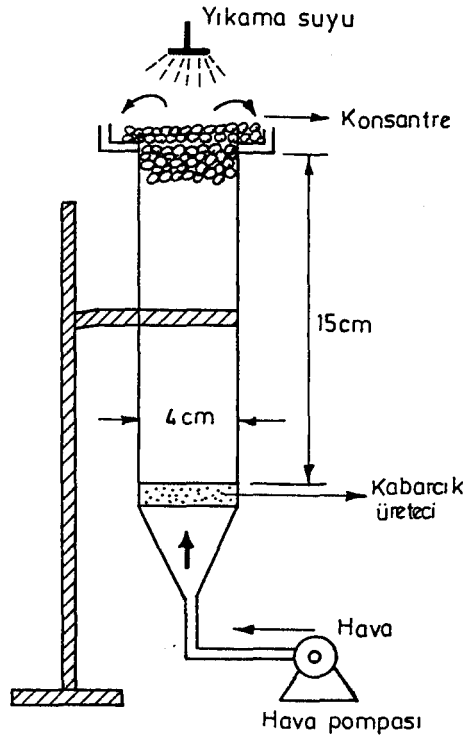
Flotasyon, başta Ballastena olmak üzere tüm Yugoslavya tesislerinde, Vardes, Kakoves ve Yenakini gibi hemen hemen tüm Yunanistan magnezit tesislerinde başarıyla uygulanmaktadır.

#### 4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Deneysel çalışmalar için, üç tip flotasyon kolonu yapıldı. Bunlar mini, laboratuvar ve pilot kolonlar olarak adlandırıldı. Deneysel çalışmalarda kullanılan numunelerin, elde edilen konsantre ve atıkların kimyasal analiz yöntemleri Ek-1'de verilmiştir (Gülensoy, 1984).

##### 4.1 Mini Flotasyon Kolonu

Mini kolon, laboratuvar ve pilot ölçekteki kolonlarda yapılacak deneyler için uygun pH, toplayıcı ve bastırıcı seçimine yardımcı olması amacıyla kuruldu. Şekil 4.1' de bu kolon görülmektedir.



Şekil 4.1. Mini flotasyon kolonu.

Kolon camdan yapılmış olup, hava (gaz) peristaltik pompa ile kolonun altından G-3 cam krozelerinin filtre

kısına verilmekte, hava filtreden gezerken hava kabarcıkları olmaktadır. Besleme pülpü 5 gr. numune ve 150 ml. saf su ile hazırlanmıştır. Pulp manyetik karıştırıcı yardımıyla uygun reaktifler eklenerek kıvamlştırıldıktan sonra tamamı kolona beslenir. Yıkama suyu ise üstten piset yardımıyla, çok yavaş damlalar şeklinde yapılmaktadır. Köpük, taşma ile alınmaktadır.

#### 4.1.1. Mini flotasyon kolonundaki çalışmalar

Bu kolonda, saf kabul edebileceğimiz magnezit, dolomit ve suni magnezit-dolomit karışımları hazırlanarak aşağıdaki deneyler yapılmıştır. Saf magnezit ve dolomitler Konya yöresinden el ile seçilerek alınmıştır.

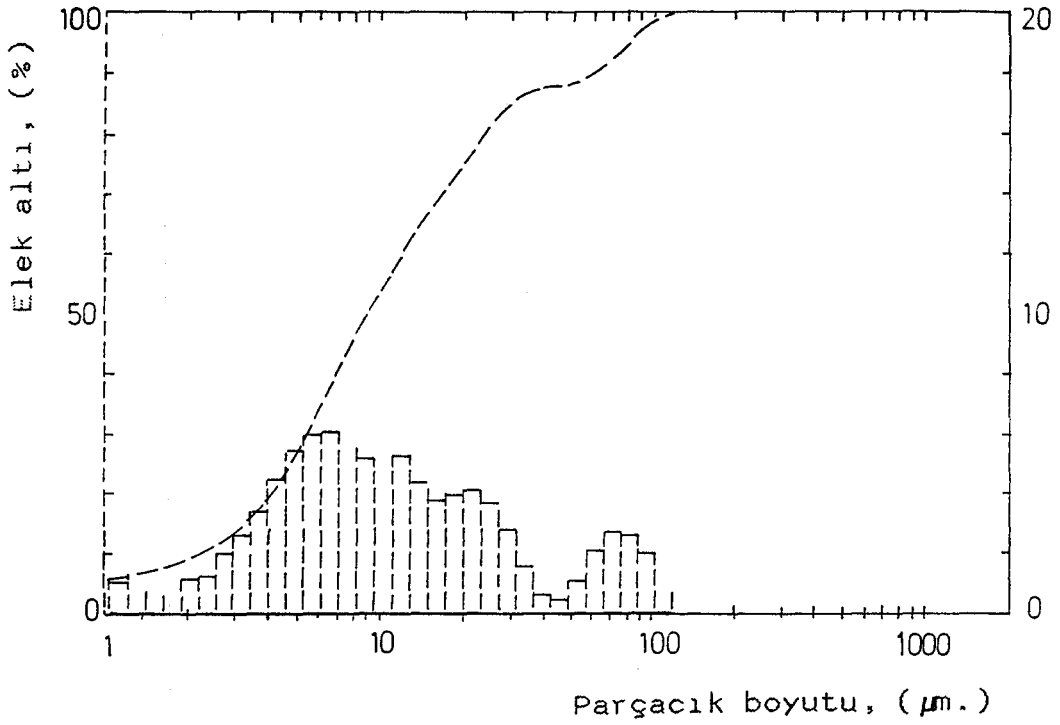
Bu numunelerden en iri boyutlusu 110 mm. parça boyutundadır. Tuvenan cevheri, laboratuvar tipi çeneli ve konili kırıcılar kullanılarak 50, 30, 6 ve 3 mm. boyutları altına indirilmiştir. Yapılan ön mini flotasyon testlerinde cevherdeki çok ince kısım deney şartlarını bozduğundan ince boyut oranını azaltmak için öğütme kademeli olarak yapılmış ve her sefer belirlenen eleğin altı alınarak üstü tekrar öğütülmüştür. Öğütme 25 cm. çaplı laboratuvar tipi porselen değirmende kuru olarak yapılmış olup, numune miktarı 500 gr. (-3mm), değirmen hızı 80 devir/dak., bilya yükü 1300 gr. olarak sabit tutulmuştur. Numunenin boyutu % 80'i -0.074 mm. olacak şekilde öğütme işlemi yapılmıştır. Öğütülen magnezit ve dolomit numunelerinin boyut analizleri, Malvern Instruments Master Particle Sizer M6.10 cihazında yapılmış, sonuçları ekli çizelgelerde görülmektedir.

Çizelge 4.1 ve 4.2'de saf magnezitin, 4.3 ve 4.4'de saf dolomitin boyut dağılımı ve kimyasal analiz sonuçlarını göstermektedir. Şekil 4.2 ve 4.3'de boyut dağılımları grafikler ile gösterilmiştir.

**Çizelge 4.1. Deneylerde kullanılan saf magnezitin boyut dağılımı.**

Boyut ( $\mu\text{m}$ )	Ağırlık %	Kümülatif Elek altı %	Kümülatif Elek üstü %
+ 54.9	10.7	89.3	10.7
- 54.9 + 33.7	2.5	86.8	13.2
- 33.7 + 23.7	7.0	79.8	20.2
- 23.7 + 17.7	8.1	71.7	28.3
- 17.7 + 13.6	7.1	64.6	35.4
- 13.6 + 10.5	8.8	55.8	44.2
- 10.5 + 8.2	9.0	46.8	53.2
- 8.2 + 6.4	10.1	36.7	63.3
- 6.4 + 5.0	10.0	26.7	73.3
- 5.0 + 3.9	7.9	18.8	81.2
- 3.9 + 3.0	5.2	13.6	86.4
- 3.0 + 2.4	2.9	10.7	89.3
- 2.4 + 1.9	1.8	8.9	91.1
- 1.9 + 1.5	1.1	7.8	92.2
- 1.5 + 1.2	1.2	6.6	93.4
- 1.2	6.6		

Yukarıdaki çizelgeden, saf magnezitin %80'ninin geçtiği elek açıklığı 33.7  $\mu\text{m}$ .'dur. Saf magnezitin %40'ı, 10  $\mu\text{m}$ .'nin altına geçmektedir.



Şekil 4.2. Saf magnezitin boyut dağılım eğrisi.

Çizelge 4.2. Deneylerde kullanılan saf magnezitin kimyasal analizi.

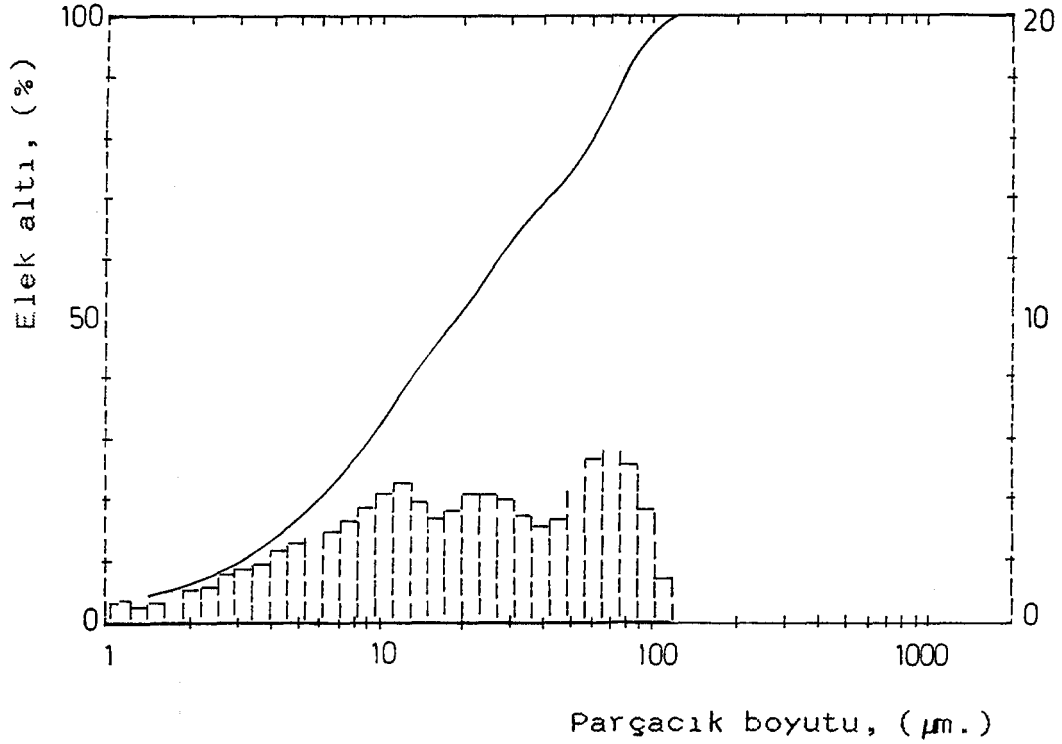
Madde	%
MgO	46.42
CaO	2.01
SiO <sub>2</sub>	0.34
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.48
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.05
Na <sub>2</sub> O	0.14
K <sub>2</sub> O	0.03
Ateş Kaybı	50.53

**Çizelge 4.3. Deneylerde kullanılan saf dolomitin boyut dağılımı**

Boyut ( $\mu\text{m}$ )	Ağırlık %	Kümülatif Elek altı %	Kümülatif Elek üstü %
+ 54.9	22.5	77.5	22.5
- 54.9 + 33.7	11.8	65.7	34.3
- 33.7 + 23.7	9.7	56.0	44.0
- 23.7 + 17.7	8.0	48.0	52.0
- 17.7 + 13.6	6.4	41.6	58.4
- 13.6 + 10.5	7.7	33.9	66.1
- 10.5 + 8.2	6.8	27.1	72.9
- 8.2 + 6.4	5.4	21.7	78.3
- 6.4 + 5.0	4.8	16.9	83.1
- 5.0 + 3.9	4.1	12.8	87.2
- 3.9 + 3.0	3.0	9.8	90.2
- 3.0 + 2.4	2.5	7.3	92.7
- 2.4 + 1.9	1.7	5.6	94.4
- 1.9 + 1.5	1.1	4.5	95.5
- 1.5 + 1.2	0.8	3.7	96.3
- 1.2	3.7		

Çizelge 4.3'den saf dolomitin %80'ninin geçtiği elek açıklığı 54.9  $\mu\text{m}$ . 'dir. Saf dolomitin %40'ı 10  $\mu\text{m}$ . altına geçmektedir.





**Şekil 4.3. Saf dolomitin boyut dağılım eğrisi**

**Çizelge 4.4. Deneylerde kullanılan saf dolomitin kimyasal analizi**

Madde	%
MgO	25.69
CaO	23.46
SiO <sub>2</sub>	3.65
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.64
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.19
Na <sub>2</sub> O	0.08
K <sub>2</sub> O	0.05
Ateş Kaybı	46.24

Çizelge 4.5'de % 75 magnezit + % 25 dolomit, 4.6'da %50 magnezit + %50 dolomit içeren suni karışımların kimyasal analiz sonuçları görülmektedir.

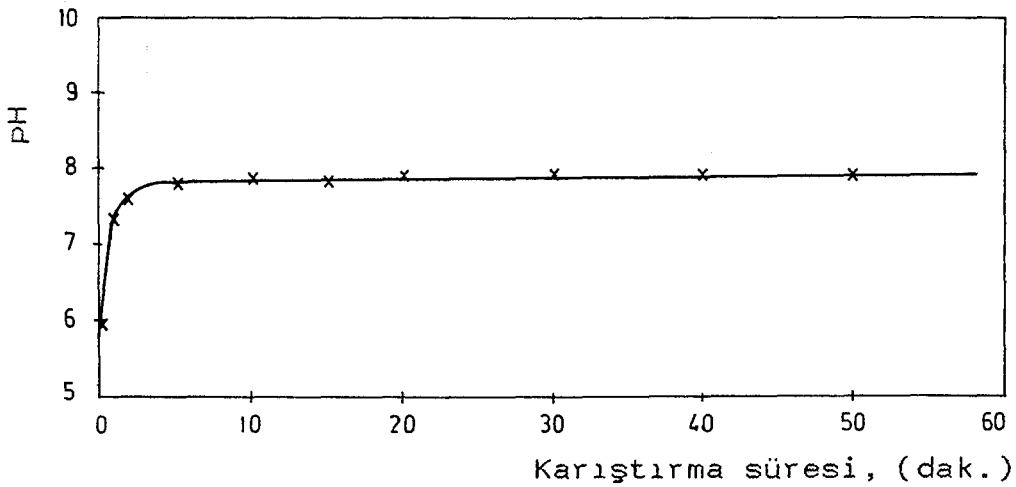
**Çizelge 4.5. % 75 Magnezit + % 25 Dolomit içeren suni karışımın kimyasal analizi**

Madde	%
MgO	41.24
CaO	7.37
SiO <sub>2</sub>	1.17
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.51
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.05
Na <sub>2</sub> O	0.10
K <sub>2</sub> O	0.03
Ateş Kaybı	49.53

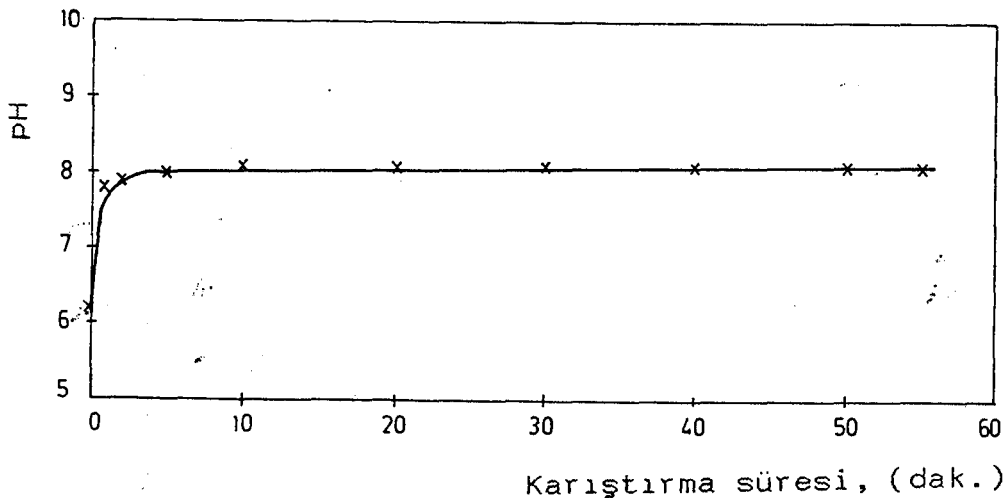
**Çizelge 4.6. % 50 Magnezit + % 50 Dolomit içeren suni karışımın kimyasal analizi.**

Madde	%
MgO	36.06
CaO	12.74
SiO <sub>2</sub>	2.00
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.56
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.11
Na <sub>2</sub> O	0.10
K <sub>2</sub> O	0.04
Ateş Kaybı	48.39

Magnezit ve dolomitin çözünlürlüğünü incelemek için, saf suya % 10 katı içerecek şekilde saf numuneler konulmuş ve oluşan pülp sürekli magnetik karıştırıcıda karıştırılarak, pülpün pH değişimi incelenmiştir. Şekil 4.4 ve 4.5 magnezit ile dolomitin pH değişimini göstermektedir. Grafikler incelendiğinde, pülpün pH değişiminin az olmasından saf magnezit ve saf dolomitin suda çok az çözüldüğü anlaşılır.

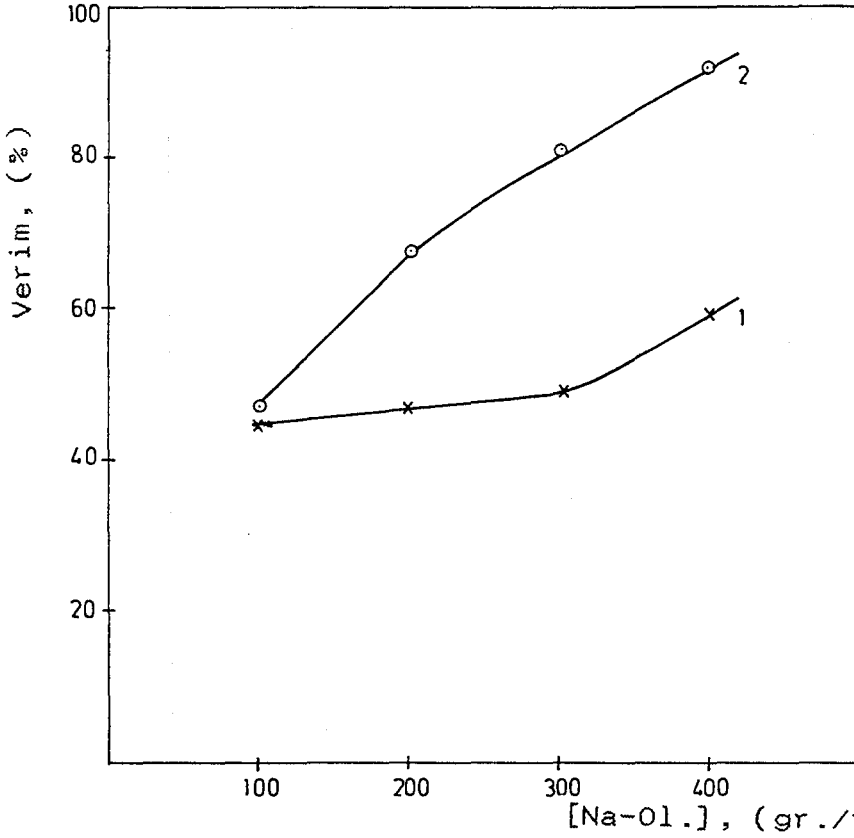


**Şekil 4.4 % 10 Magnezit içeren pülpün pH değişimi.**

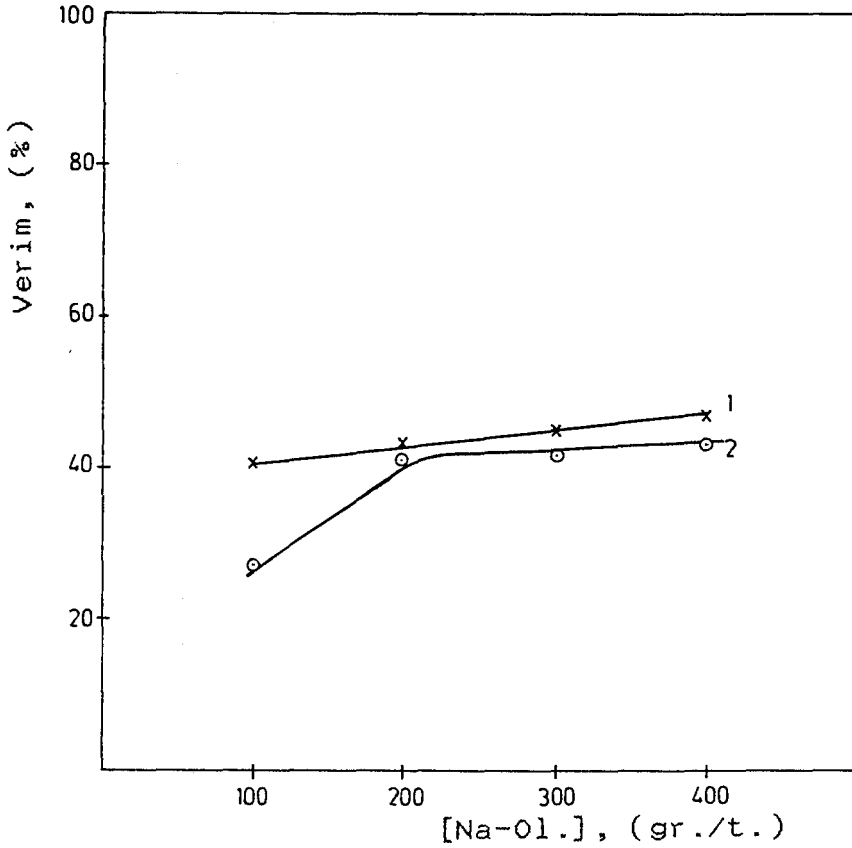


**Şekil 4.5 % 10 Dolomit içeren pülpün pH değişimi**

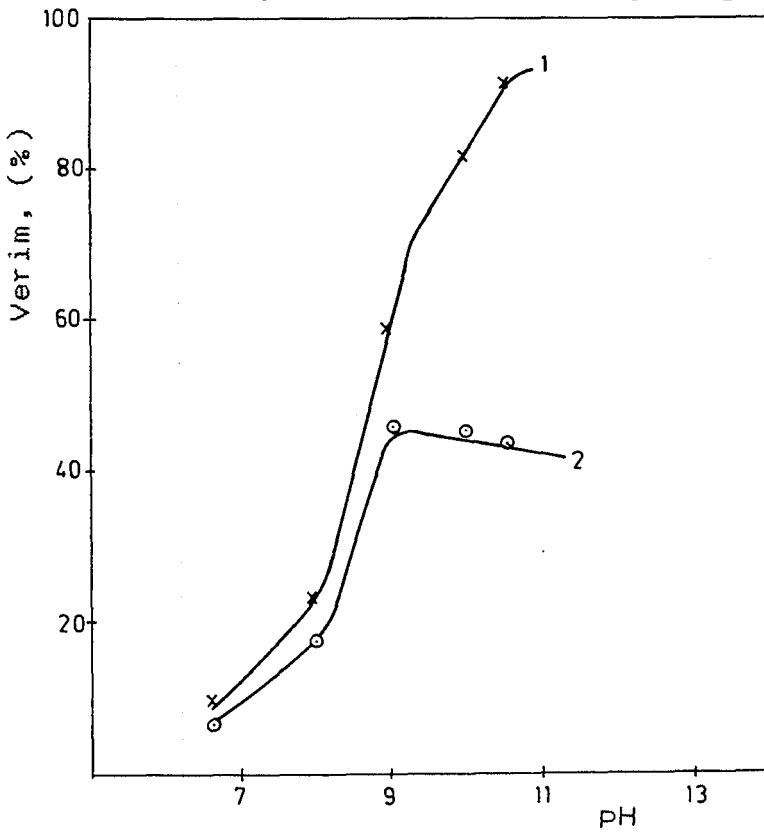
Mini flotasyon kolonunda, sodyum oleat miktarının pH=9 ve pH=10.5'de magnezitin ve dolomitin flotasyon verimlerine etkisi araştırılmıştır. Deney sonuçları şekil 4.6 ve şekil 4.7'de grafiklerle gösterilmiştir. Sonuçlardan magnezitin flotasyon verimi: pH'ın 9'dan, 10.5'a çıkartılmasıyla ve Na-Ol. miktarıyla artarken, dolomitin flotasyon verimi: pH ve Na-Ol. miktarıyla değişmemektedir. Na-Ol. miktarı en az 400 gr./ton olmalıdır.



**Şekil 4.6. Sodyum oleat konsantrasyonunun, magnezitin flotasyon verimine etkisi; 1: pH=9.0, 2: pH=10.5.**



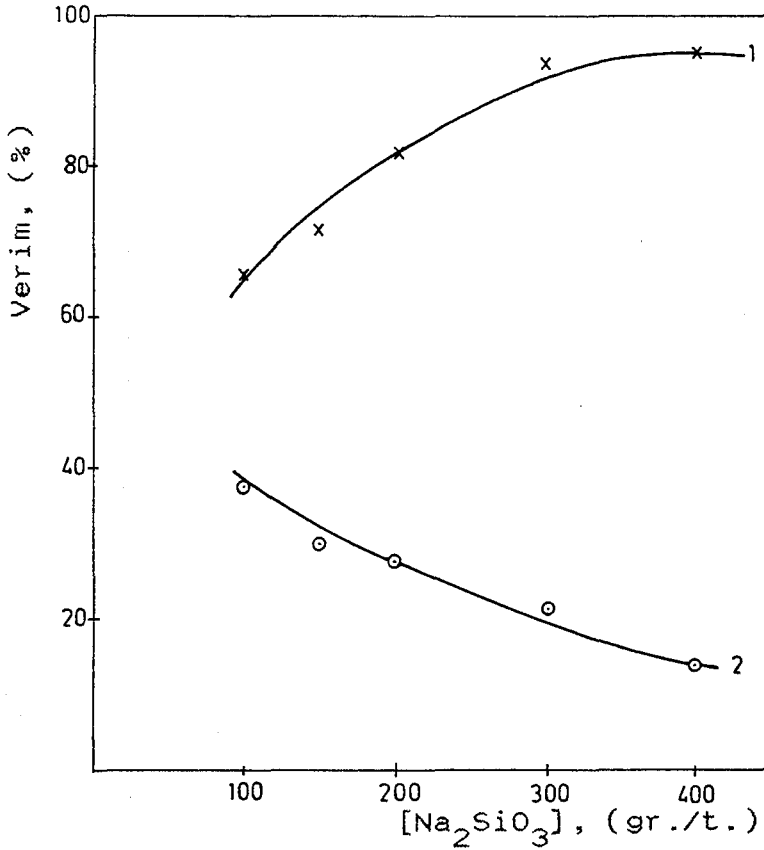
Şekil 4.7. Sodyum oleat konsantrasyonunun, dolomitin flotasyon verimine etkisi; 1: pH=9.0, 2: pH=10.5.



Şekil 4.8. pH'ın, magnezit (1), ve dolomit (2) flotasyon verimlerine etkisi ( Na-ol=400 gr./ton, Kıvamlama süresi=10 dak.. Hava=0.65 lt/dak.).

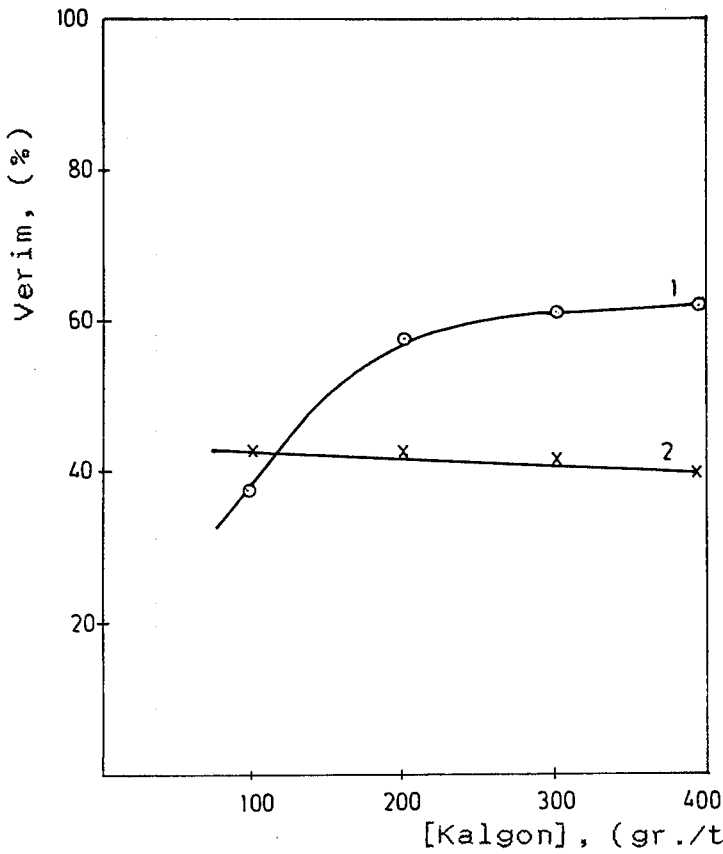
Şekil 4.8: pH'ın magnezitin ve dolomitin flotasyon verimlerine etkisini gösterir. 400 gr./ton Na-Ol. kullanıldığında: pH = 9.0'da magnezit ve dolomit aynı flotasyon verimiyle yüzer. pH = 9.5-11.0 arasında ise magnezit ile dolomitin flotasyon verimleri arasında farklılık gözlenir.

Şekil 4.9, 4.10, 4.11, 4.12, 4.13 sırasıyla  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ , kalgon, CMC (karboksimetil selüloz), quebreaca, alizerin red-S gibi bastırıcı reaktiflerin magnezitin ve dolomitin flotasyon verimlerine etkisini gösterir.

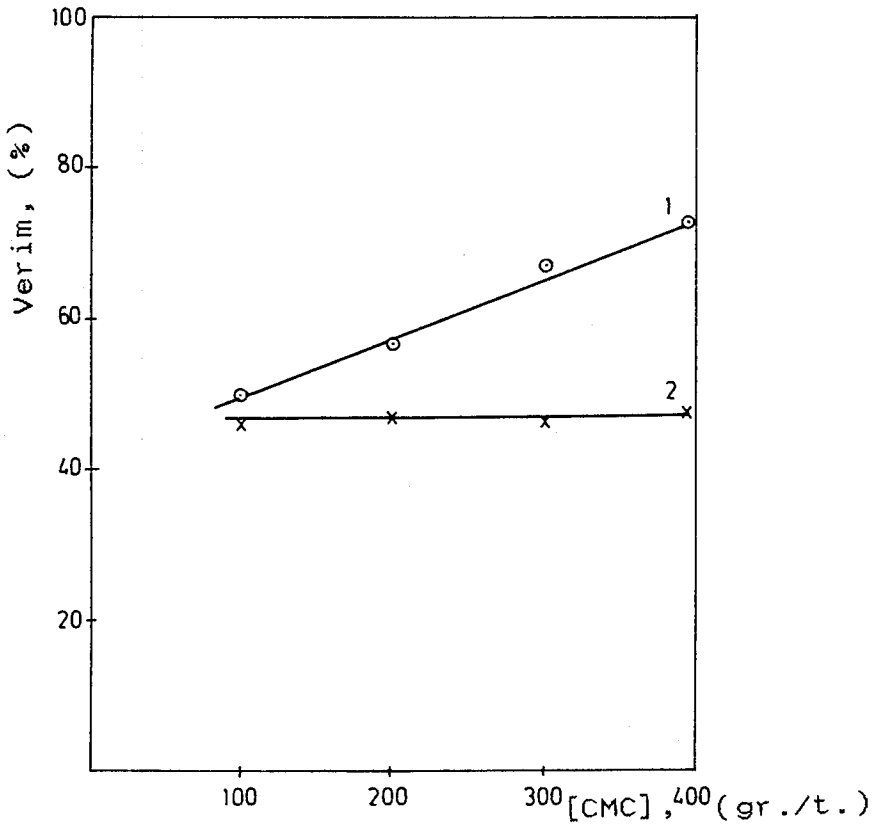


**Şekil 4.9.  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ 'ün, magnezit (1), ve dolomit (2) flotasyon verimlerine etkisi (Na-ol=400 gr/ton, pH=10.2, Hava=0.65 lt/dak., Kıvamlama süresi=10 dak.).**

Şekil 4.9'daki sonuçlar incelendiğinde: 400 gr./ton  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  kullanıldığında, magnezitin flotasyon verimi %95'e çıkmaktadır. Dolomitin flotasyon verimi ise %18'e düşmektedir.

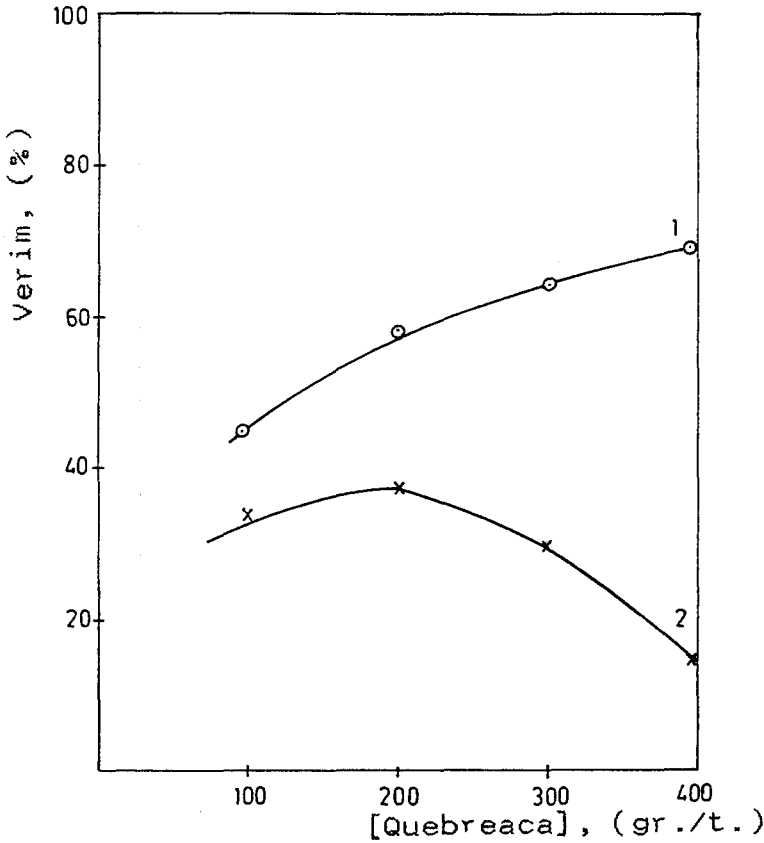


Şekil 4.10. Kalgon'un, magnezit (1) ve dolomit (2) flotasyon verimlerine etkisi (Na-ol=400 gr./ton, pH=10.0, Hava=0.65 lt/dak., Kıvamlama süresi=10+10 dak.).



Şekil 4.11. CMC'un magnezit (1) ve dolomit (2) flotasyon verimlerine etkisi (Na-ol=400 gr/ton, pH=10.0, Hava=0.65 lt/dak.. Kıvamlama süresi=10+10 dak)

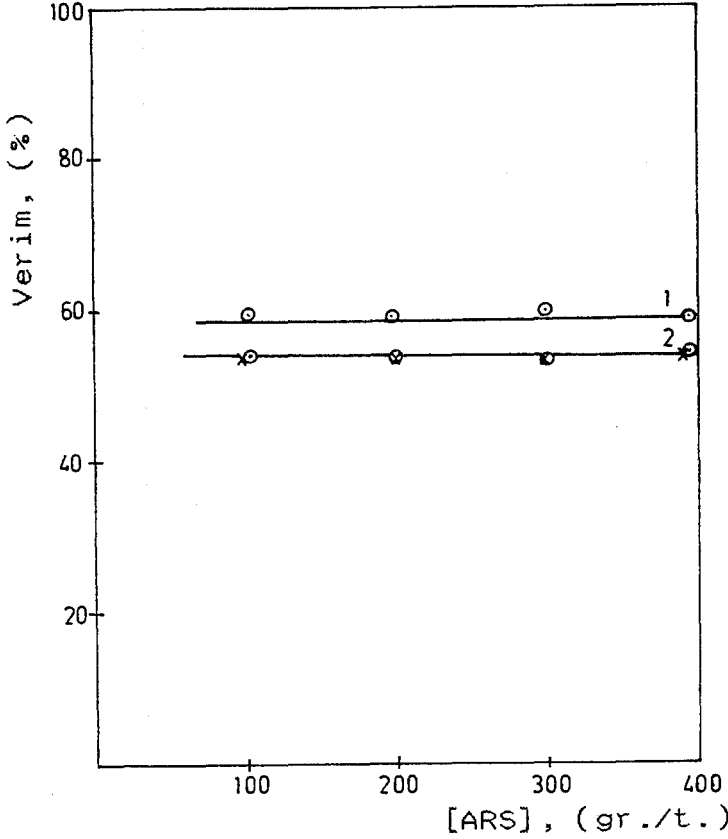
Şekil 4.10'daki deney sonuçlarına göre; kalgon miktarını 200 gr./ton'a kadar çıkardığımızda magnezitin flotasyon verimi hızla artmaktadır. Ancak, 200 gr./ton'dan sonra verim %60'da sabit kalmaktadır. Dolomitin flotasyon verimi ise kalgon miktarındaki artışla az da olsa azalmaktadır (%40 verim). Şekil 4.11'de ise CMC miktarı arttıkça magnezitin flotasyon veriminin artmakta olduğu (%70), dolomitin flotasyon veriminde (%50) bir değişme olmadığı görülür.



**Şekil 4.12. Quebreaca'nın magnezit(1) ve dolomit(2) flotasyon verimlerine etkisi (Na-ol=400 gr/ton, pH=11.0, Hava=0.65 lt/dak., Kıvamlama süresi=10+10 dak).**

Yukarıdaki deney sonuçları incelenirse: quebreaca miktarı 400 gr./ton olduğunda magnezitin flotasyon verimi %70'e çıkmaktadır. Quebreaca, 200 gr./ton'a kadar kullanıldığında dolomitin flotasyon verimi artarken (%39), 200 gr./ton'dan sonra quebreaca miktarında ki artış flotasyon veriminin hızla düşmesine neden olmaktadır. 400 gr./ton quebreaca kullanıldığında, dolomitin flotasyon verimi %15'e düşmektedir.





**Şekil 4.13. Alizerin-Red S'in magnezit (1) ve dolomit (2) flotasyon verimlerine etkisi (Na-ol=400 gr/ton, pH=11.0, Hava=0.65 lt/dak., Kıvamlama süresi= 10+10 dak.).**

Şekil 4.13'de ki deney sonuçları; alizerin red-S miktarındaki artışların, magnezitin ve dolomitin flotasyon verimlerini değiştirmediğini gösterir.

Saf magnezit ve saf dolomit sırasıyla (% 25 + % 75) ve (% 50+%50) ağırlık oranlarında birbirleriyle karıştırılıp, bu karışımdaki magnezit zenginleştirilmeye çalışılmıştır. Çizelge 4.7 ve 4.8'de suni karışımların flotasyonunda  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ , kalgon ve quebreaca'nın değişik miktarlarda kullanılması sonucunda konsantre ve artık tenrlerine, flotasyon verimine etkisi görülmektedir.

Deney şartları:

pH= 10.5

Na-ol= 400 gr./ton

Hava= 0.65 lt./dak.

Kıvamlama sresi= (10+10) dak.

**Çizelge 4.7. Suni karışımlarda bastırıcı cinsi ve miktarlarının etkisi (%75 Magnezit + %25 Dolomit).**

Cinsi	Bastırıcının		Miktar (%)	Tenörler %			% MgO Dağılımı
	Miktarı (gr./ton)	Ürünler		MgO	CaO	SiO <sub>2</sub>	
Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>	200	Konsantre	69.46	42.05	5.66	0.49	70.82
		Artık	30.54	39.40	11.26	2.71	29.18
	400	Konsantre	75.84	42.06	5.72	0.30	77.35
		Artık	24.16	38.67	12.55	3.90	22.65
	1000	Konsantre	74.13	41.79	5.95	0.44	75.12
		Artık	25.87	39.66	11.44	3.26	24.88
Kalgon	200	Konsantre	58.26	41.30	6.11	0.55	58.34
		Artık	41.74	41.15	9.13	2.03	41.64
	400	Konsantre	60.70	42.15	5.42	0.51	62.04
		Artık	39.30	39.83	10.38	2.19	37.96
	1000	Konsantre	37.34	41.78	5.80	0.43	37.83
		Artık	62.66	40.92	8.31	1.61	62.17
Quebreaca	200	Konsantre	61.84	41.35	6.39	0.67	62.01
		Artık	38.16	41.06	8.96	1.98	37.99
	400	Konsantre	72.81	41.29	5.74	0.59	72.90
		Artık	27.19	41.11	11.73	2.72	27.10
	1000	Konsantre	57.19	41.51	5.66	0.45	57.56
		Artık	42.81	40.88	9.65	2.13	42.44
		BESLEME	100.00	41.24	7.37	1.17	100.00

**Çizelge 4.8. Suni karışımlarda bastırıcı cinsi ve miktarlarının etkisi (% 50 Magnezit + % 50 Dolomit).**

Bastırıcının		Ürünler	Miktar (%)	Tenörler %			% MgO Dağılımı
Cinsi	Miktarı (gr./ton)			MgO	CaO	SiO <sub>2</sub>	
Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>	400	Konsantre	68.74	37.49	11.46	1.02	71.47
		Artık	31.26	32.91	15.55	4.15	28.53
	1000	Konsantre	74.76	37.31	10.73	1.24	77.35
		Artık	25.24	32.36	18.69	4.23	22.65
Kalgon	400	Konsantre	60.99	36.66	11.18	0.87	62.01
		Artık	39.01	35.12	15.18	3.76	37.99
	1000	Konsantre	57.44	38.10	9.79	1.80	60.69
		Artık	45.56	31.11	15.62	2.12	39.31
Qebreaca	400	Konsantre	57.87	37.78	10.94	1.39	60.63
		Artık	42.13	33.70	15.21	2.83	39.37
	1000	Konsantre	68.69	37.32	10.42	1.57	71.09
		Artık	31.31	33.30	17.83	2.94	28.91
		BESLEME	100.00	36.06	12.74	2.00	100.00

Çizelge 4.7'deki sonuçlara göre: 400 gr./ton Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> kullanıldığında konsantredeki MgO verimi en yüksek değere (%77.35) ulaşmaktadır. Konsantredeki MgO tenörü %41.24'den %42.06'ya çıkarken, CaO %7.37'den %5.72'ye düşer. 400 gr/ton kalgon kullanıldığında konsantredeki MgO verimi % 62.04 ve MgO tenörü %42.15, CaO %5.42'dir. Bu sonuçlara göre; Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> ve kalgon bundan sonraki deneylerde 400 gr./ton olarak dolomiti bastırmak için kullanılabilir. Çizelge 4.8'de, karışımdaki dolomitin artması ile konsantredeki MgO verimini arttırmak için; Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> miktarının 1000 gr./ton'a artırılması gerekir.

## 4.2 Laboratuvar Kolonu

Laboratuvar kolonu ile yapılan deneylerde, pülpün katı oranını, toplayıcı miktarını, bastırıcı cinsi ve miktarlarını inceleyerek optimum laboratuvar kolonu şartlarını bulmak ve pilot kolon için deney şartlarını tespit etme amaçlandı.

### 4.2.1. Laboratuvar kolonunun kurulması

Şekil 4.14'te laboratuvar kolonunun şeması görülmektedir. Kolonun içini gözleyebilmek için, kolon beyaz pleksiglasdan yapılmıştır. (150 cm.\* 300cm.) boyutlarındaki 0.4 cm kalınlıktaki levhalardan, (30 \* 10cm.) boyutlarında dikdörtgen şeklindeki parçalar demir testere yardımıyla kesildi. Bu pleksiglas levhalar 110°C'deki etüve koyulup, 15 dakika bekletildi. Levhalar ısıllı işlemde dolayı hamur gibi elastik hale geldi. Daha önceden hazırlanan 3 cm. çapında, 40 cm. uzunluğundaki silindir şeklindeki tahtanın üzerine önce pleksiglasın yapışmaması için kağıt yapıştırılıp sonra elastikleşmiş levhaları uç uca gelecek şekilde sarıp, üstü kalın lastiklerle sıkıca bağlandı. Levhalar soğuyunca lastikleri söküldüğünde 30 cm. yükseklikte 3 cm. iç çapında silindir borular elde edildi. Boruların birleşme kenarı da uygun bir yapıştırıcı ile yapıştırıldı. Daha sonra bu boruları üst üste koyarak 3 cm. çapında yüksekliği ayarlanabilen laboratuvar kolonunun gövde kısmı yapılmış oldu. Bu gövdenin en alt kısmına hava kabarcığı oluşturmak için G-3 cam krezelerin filtre kısmı konuldu. Bu filtrenin hemen üst kısmına aşağıya doğru eğimli olan atık alma borusu bağlandı. Kolonun tepesinden 30 cm. altına da besleme giriş borusu bağlandı. Kolonun en üstüne de köpüğün rahat alınabilmesi için aşağıya doğru eğimli ve pleksiglastan yapılmış köpük akış oluğu yapıştırıldı. Böylece laboratuvar kolonu deneyler için hazır oldu. Laboratuvar kolonunda deneylerin yapılması için aşağıdaki ek sistemler de kuruldu.

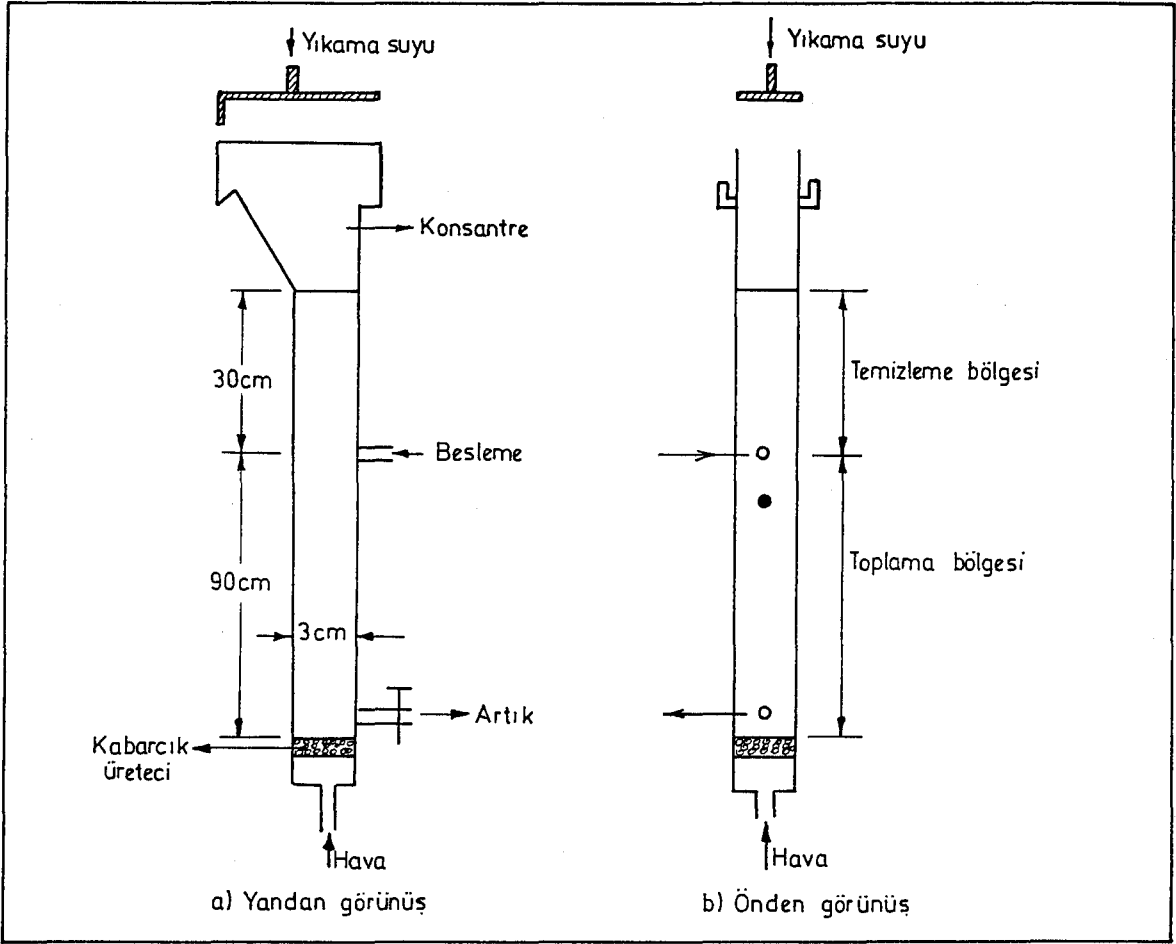
Besleme sistemi; Pülpün konduğu 2 lt.'lik cam beher ve hızı ayarlanabilen bir karıştırıcıdan oluşmaktadır. İstenilen katı oranında hazırlanan pülpe uygun reaktifler konularak pülp kıvamlaştırılmakta, homojen haldeki pülp peristaltik pompa yardımıyla uygun hızda laboratuvar kolonuna beslenmektedir.

Yıkama suyu sistemi; Yıkama suyu, 5 lt.'lik bir kaptaki köpürtücü atılıp ve uygun pH'a ayarlanıp homojen oluncaya kadar karıştırıldıktan sonra küçük bir pompa ile kolonun tepesine basılmaktadır. Yıkama suyu, kolonun üstünden 0,5 cm. çapında helezon şeklinde kıvrılmış, üstüne ince delikler (1mm) delinmiş, bakır borudan damlalar halinde verilmektedir.

Gaz sistemi; Hava kompresörden uygun bir basınç ile verilmektedir. Gelen havanın debisini ölçmek için, hava gaz akımmetresinden geçirildikten sonra kolona verilmektedir. Havanın düzenli akışını sağlamak için gaz akımmetresinden önce uygun bir gaz vanası konuldu.

Artık atılması; Artıkların atılması, el ile artık borusundaki vananın ayarlanması ile yapılmaktadır. Atılan artıklar bir tankta toplanmaktadır.

Kontrol; Kolondaki köpük yüksekliğini sabit tutacak şekilde görsel el kontrolü yapılmaktadır.



**Şekil 4.14. Laboratuvar kolonu.**

#### 4.2.2. Laboratuvar kolonunun çalışması

Şekil 4.15'de görülen, laboratuvar kolonunu çalıştırırken aşağıdaki sıra takip edilmiştir.

1. Hava sistemi açılır; Bu kolonda, hava akışını kontrol eden akımmetreye su kaçmasını önler.
2. Yıkama suyu açılır ve deney şartlarında istenilen konsantrasyonda köpürtücü içeren ve pH'ı ayarlanmış su+köpürtücü kolona peristaltik pompa ile beslenir.
3. İstenilen ara yüzey oluşuncaya kadar bekleyip, bu noktada artık vanasını ara yüzey sabit kalacak şekilde açılır. Ara yüzey sabitleşince,

4. Su+köpürtücü çözeltisini durdurup, kıvamlandırılmış olan besleme pülpü kolona pompa ile beslenir . Tüm besleme bittikten sonra su+köpürtücü çözeltisini, kolonda malzeme bitinceye kadar eklenir. Havayı kapatmadan kolon boşaltılır ve sadece su kullanarak kolon birkaç defa yıkanır ve hava kapatılır.

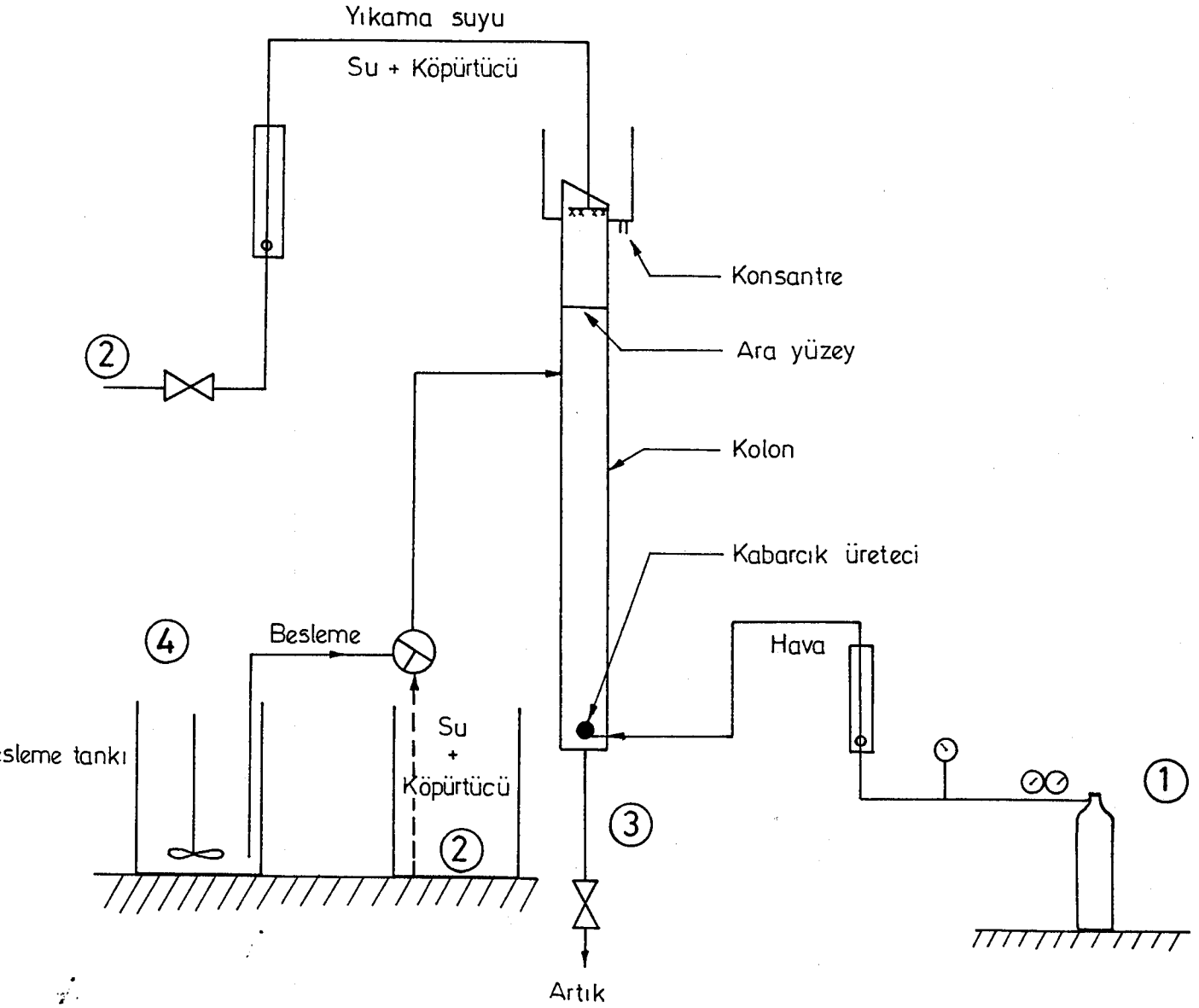
Bazen ilk başta köpük oluşmayabilir. Bunun nedeni kolonun kirli olması ve dolayısıyla bu kirlerin köpürtücü ile reaksiyona girerek köpük oluşmasını engellemesidir. Kolon iyice yıkanarak bu sorun ortadan kalkar.

Bazen de besleme pülpü eklendiğinde köpük kararlı olmaktan çıkar. Pülpde yeterince köpürtücü yoksa, yada hidrofobik tanecikleri yüzdürebilecek yeterince hava yoksa köpüğün karakterinde değişme olur. Hava yeterli olmayınca kabarcık gereğinden çok yüklenip, kabarcıklar birbirleriyle birleşir. Bunlardan ilki daha çok köpürtücü eklenmesiyle, ikincisi ise daha çok hava verilerek engellenebilir.

Genelde pülpün ilk beslenmesi sırasında geçici kararlı olmıyan durum gözlenmektedir. Ancak bir süre sonra bu durum ortadan kalkıp, kararlı hale ulaşılmaktadır.

#### **4.2.3. Laboratuvar kolonunda kullanılan numune**

Kolon flotasyonu deneylerinde kullanılan magnezit numunesi ÇİTOSAN Konya Krom Magnezit Tuğla Sanayii Müessesesi Argıt Ocağı cevheridir. Numuneler müessese tarafından kırma ve öğütme işlemleri yapıldıktan sonra, laboratuvarımıza 100'er kg.'lık beş torba halinde gönderilmiştir. Bu numunelerden alınan örnekler Malvern Instruments Master Particle Sizer M6.10 cihazında boyut analizleri yapılmış ve elek eğrisi de çizilmiştir (çizelge 4.9, 4.10 ve şekil 4.16).



Şekil 4.15. Laboratuvar kolon seti.

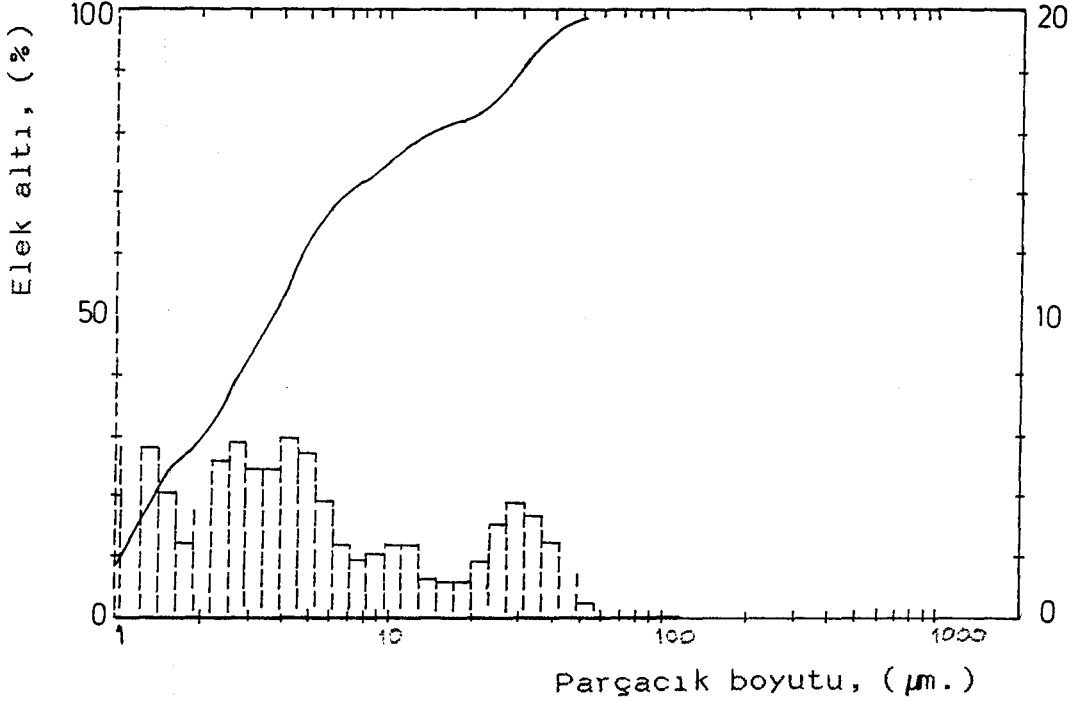


**Çizelge 4.9. Deneylerde kullanılan Argit ocağı magnezitinin boyut dağılımı.**

Boyut ( $\mu\text{m.}$ )	Ağırlık %	Kümülatif Elek altı %	Kümülatif Elek üstü %
+ 54.9	0.5	99.5	0.5
- 54.9 + 33.7	6.0	93.5	6.5
- 33.7 + 23.7	8.4	85.1	14.9
- 23.7 + 17.7	3.2	81.9	18.1
- 17.7 + 13.6	2.0	79.9	20.1
- 13.6 + 10.5	3.8	76.1	23.9
- 10.5 + 8.2	3.7	72.4	27.6
- 8.2 + 6.4	4.0	68.4	31.6
- 6.4 + 5.0	6.4	62.0	38.0
- 5.0 + 3.9	10.0	52.0	48.0
- 3.9 + 3.0	8.0	44.0	56.0
- 3.0 + 2.4	9.4	34.6	65.4
- 2.4 + 1.9	6.4	28.2	71.8
- 1.9 + 1.5	4.3	23.9	76.1
- 1.5 + 1.2	8.1	15.8	84.2
- 1.2	15.8		

**Çizelge 4.10. Argit magnezitinin komple kimyasal analizi.**

Madde	%
MgO	44.69
CaO	2.93
SiO <sub>2</sub>	0.50
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.32
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.08
Na <sub>2</sub> O	0.01
K <sub>2</sub> O	0.01
Ateş Kaybı	51.46



**Şekil 4.16. Argıt magnezitinin boyut dağılım eğrisi.**

#### 4.2.4. Pülpte katı oranının belirlenmesi

Kolon flotasyonunda da, pülpteki katı oranı önemlidir. Aşağıda belirtilen şartlar sabit tutularak, en uygun katı oranının belirlenmesine yönelik sistematik deneyler yapılmıştır. Deney sonuçları çizelge 4.11'de görülmektedir.

Deney şartları:

pH = 10.5

Na-Oleat = 900 gr./ton Kıvamlama süresi=10 dak.

$\text{Na}_2\text{SiO}_3$  = 300 gr./ton Kıvamlama süresi=10 dak.

Yıkama suyu miktarı = 25 ml./dak.

Atık miktarı = 110 ml./dak.

Besleme miktarı = 100 ml./dak.

Köpük yüksekliği = 10 cm.

**Çizelge 4.11. Pülpte katı oranını belirlemek amacıyla yapılan deneylerin sonuçları.**

Pülpte katı oranı (%)	Ürünler	Miktar (%)	Tenörler %		%MgO Dağılımı
			MgO	CaO	
5	Konsantre	15.79	46.60	1.08	16.46
	Artık	84.21	44.33	3.28	83.54
10	Konsantre	38.22	46.00	1.47	39.34
	Artık	61.78	43.88	3.83	60.66
15	Konsantre	33.42	45.27	1.93	33.85
	Artık	66.58	44.40	3.43	66.15
20	Konsantre	40.15	45.14	1.91	40.55
	Artık	59.85	44.39	3.61	59.45
	BESLEME	100.00	44.69	2.93	100.00

Pülpteki katı miktarını belirlemek için yapılan deney sonuçlarına göre; %10-15 katı oranı diğer deneylerde kullanılabilir.

#### **4.2.5. Toplayıcı miktarının belirlenmesi**

Magnezit flotasyonunda, magneziti yüzdürmek için (Riedel firmasından sağlanan) sodyum oleat kullanılmıştır.

Aşağıda belirtilen kolon şartları sabit tutularak Na-Oleat toplayıcısından belirli konsantrasyonda stok çözelti hazırlanmış ve bu çözeltilerden 200, 400, 900, 2000 gr./ton olacak şekilde deneyler yapılmıştır. Deney sonuçları çizelge 4.12'de görülmektedir.

Deney şartları:

pH = 10.5

Yıkama suyu miktarı = 25 ml./dak.

Atık miktarı = 110 ml./dak.

Besleme miktarı = 100 ml./dak.

Köpük yüksekliği = 10 cm.

Pulp yoğunluğu = % 10 katı

**Çizelge 4.12. Na-Oleat miktarının belirlenmesine yönelik deneylerin sonuçları.**

Na-Ol. miktarı (gr./ton)	Ürünler	Miktar (%)	Tenörler %			% MgO Dağılımı
			MgO	CaO	SiO <sub>2</sub>	
200	Konsantre	22.10	45.57	2.11	0.36	22.54
	Artık	77.90	44.44	3.16	0.54	77.46
400	Konsantre	30.27	45.84	2.17	0.40	31.05
	Artık	69.73	44.19	3.26	0.54	68.95
900	Konsantre	35.10	46.13	2.20	0.40	36.23
	Artık	64.90	43.91	3.32	0.55	63.77
2000	Konsantre	39.24	46.03	2.19	0.45	40.42
	Artık	60.76	43.82	3.41	0.53	59.58
	BESLEME	100.00	44.69	2.93	0.50	100.00

Çizelge 4.12'deki deney sonuçlarına göre; 900 gr./ton Na-Ol. toplayıcısı kullanıldığında MgO'in flotasyon verimi %36.23 olmaktadır. En yüksek flotasyon verimi ise 2000 gr./ton Na-Ol.kullanılmasıyla elde edilmektedir (%40.42). Ancak ekonomik değerler göz önünde tutularak, bundan sonraki deneylerde 900 gr./ton Na-Ol. toplayıcı olarak seçilmiştir.

#### 4.2.6. Bastırıcı miktarının belirlenmesi

Magnezit flotasyonunda, daha önceki ön deneylere göre dolomiti bastırmak için en iyi bastırıcı reaktif olarak kalgon ve sodyum silikatı kullanabiliriz. Laboratuvar kolonunda bu reaktiflerin uygun miktarlarını belirlemek için aşağıdaki kolon şartları sabit tutularak, bastırıcı miktarlarını belirlemeye yönelik sistematik deneyler yapılmıştır. Bastırıcı reaktifler saf olup, Merck firmasından satın alındı.

Deney şartları:

pH = 10.5

Na-Ol.= 900 gr./ton

Yıkama suyu miktarı = 25 ml./dak.

Atık miktarı = 110 ml./dak.

Besleme miktarı = 100 ml./dak.

Köpük yüksekliği = 10 cm.

Pülp yoğunluğu = % 10 katı

Kıvamlama süresi = 10 dak.

**Çizelge 4.13. Bastırıcı miktarını belirlemek amacıyla yapılan deneyler.**

Bastırıcı Miktarı (gr./ton)		Ürünler	Miktar (%)	Tenörler %			% MgO Dağılımı
Kalgon	Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>			MgO	CaO	SiO <sub>2</sub>	
-	-	Konsantre	35.10	46.13	2.20	0.40	36.23
-	-	Artık	64.90	43.91	3.32	0.55	63.77
300	-	Konsantre	36.28	46.04	1.56	0.37	37.38
300	-	Artık	63.72	43.92	3.71	0.57	62.62
500	-	Konsantre	18.00	45.70	1.24	0.31	18.40
500	-	Artık	82.00	44.47	3.30	0.54	81.60
900	-	Konsantre	21.47	45.86	1.21	0.30	22.03
900	-	Artık	78.53	44.37	3.40	0.55	77.97
-	300	Konsantre	38.22	46.00	1.47	0.38	39.34
-	300	Artık	61.78	43.88	3.83	0.57	60.66
-	500	Konsantre	34.13	46.22	1.17	0.28	35.30
-	500	Artık	65.87	43.90	3.84	0.61	64.70
-	900	Konsantre	17.61	46.85	1.01	0.31	18.46
-	900	Artık	82.39	44.23	3.34	0.54	81.54
200	200	Konsantre	23.40	45.91	1.68	0.30	24.04
200	200	Artık	76.60	44.32	3.31	0.56	75.96
200	300	Konsantre	19.06	46.03	1.61	0.28	19.63
200	300	Artık	80.94	44.37	3.24	0.55	80.37
		BESLEME	100.00	44.69	2.93	0.50	100.00

Çizelge 4.13 incelenirse; 300 gr./ton  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  kullanıldığında, MgO'in flotasyon verimi en yüksek olur (%39.34). Konsantrenin MgO tenörü ise %44.69'dan, %46.00'ya çıkar. CaO tenörü ise %2.93'ten, %1.47'ye düşer. Konsantre tenörleri incelenirse, en iyi konsantre 900 gr./ton  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  kullanılmasıyla elde edilmektedir (%46.85 MgO, %1.01 CaO).

#### 4.2.7. Kalsinasyon ve laboratuvar kolonunda flotasyon ile zenginleştirme

ÇİTOSAN Konya Krom Manyezit Tuğla Sanayii Müessesesi Argıt Ocağından gönderilen % 80'i -0.074 mm. boyutundaki magnezit numunelerinden 200'er gram alınarak porselen kaplara koyup; 450°, 500°, 600°, 700°C'de laboratuvar fırınında kalsinasyon yapılmıştır. Fırın sıcaklığı istenilen düzeye geldikten sonra her yarım saatte numuneler karıştırılarak, kalsinasyon işlemine 2 saat süreyle devam edilmiştir.

#### Çizelge 4.14. Argıt Ocağı magnezitinin dekarbonizasyonu.

Kalsinasyon sıcaklığı (°C)	Ağırlık Kaybı (%)	Tenörler (%)	
		MgO	CaO
0	-	44.69	2.93
450	1.92	45.56	2.98
500	4.85	46.97	3.08
600	32.67	66.37	4.35
700	47.34	84.86	5.56

Kalsinasyonu yapılan magnezit numuneleri ile laboratuvar kolonunda flotasyon testleri yapılmış, sonuçları aşağıdaki çizelgeler 4.15 ve 4.16'da verilmiştir.

Deney şartları:

450°C'de kavrulmuş numune

pH = 10.5

Yıkama suyu miktarı = 25 ml./dak.

Atık miktarı = 110 ml./dak.

Besleme miktarı = 100 ml./dak.

Na-Oleat miktarı = 900 gr/ton

Köpük yüksekliği = 10 cm.

Kıvamlama süresi = 10 dak.

**Çizelge 4.15. 450°C'de kavrulmuş magnezitin flotasyonu.**

Ürünler	Miktar %	Tenörler (%)			% MgO Dağılımı
		MgO	CaO	SiO <sub>2</sub>	
Konsantre	56.62	46.34	2.94	0.55	57.59
Artık	43.38	44.54	3.03	0.45	42.41
BESLEME	100.00	45.56	2.98	0.51	100.00

450°C-500°C'de kavrulmuş olan magnezitin flotasyon sonuçları yorumlandığında, magnezitin ters flotasyonu olmaktadır. MgO tenörü batanda daha fazla olur.

450°C'de yapılan deney sonuçlarına göre: %44.54 MgO, %3.03 CaO içeren artık (yüzen) ve %46.34 MgO, %2.94 CaO içeren konsantre (batan) elde edilir.

Çizelge 4.16'da ki deney sonuçlarına göre: %47.12 MgO, %3.06 CaO içeren konsantre (batan) elde edilmiştir.



**Çizelge 4.16. 500°C'de kavrulmuş magnezitin flotasyonu.**

Köpük yüksekliği (cm)	Ürünler	Miktar (%)	Tenörler (%)			% MgO Dağılımı
			MgO	CaO	SiO <sub>2</sub>	
5	Konsantre	76.00	47.12	3.06	0.58	76.24
	Artık	24.00	46.49	3.14	0.37	23.76
15	Konsantre	79.70	47.08	3.04	0.58	79.88
	Artık	20.30	46.55	3.24	0.33	20.12
BESLEME		100.00	46.97	3.08	0.53	100.00

### 4.3 Pilot Kolon

Şekil 4.17'de pilot kolonun şekli görülmektedir. Kolon 300 cm. yükseklikte, 10 cm. çapında Pimaş borudan yapılmıştır. Toplama ve köpük bölgesinin gözlenebilmesi için kolon gövdesine beyaz pleksiglastan pencere açılmıştır. Besleme kolonun üstünden 110 cm. uzaklıktan, hızı ayarlanabilen peristaltik (masterflex) pompa ile yapılmaktadır. Hava kompresör aracılığıyla gaz akım metresinden geçirilerek kolonun en altına monte edilen çelik gaz kabarcık üreticine (stainless steel sparger) gelmekte ve hava kabarcıkları elde edilmektedir. Artık, uygun bir vana ile kolonun en altından elle kontrollü olarak alınmaktadır. Yıkama suyu kolonun tepesinden uygun bir pompa yardımı ile düş şeklinde verilmektedir. Kolon sisteminin 75 lt.'lik yıkama suyu tankı ve 75 lt.'lik pülp kıvamlama tankı, karıştırıcısı; 200'er lt.'lik artık ve konsantre toplama tankı vardır.

Pilot kolonda daha önceki deneyler göz önünde tutularak optimum şartlarda Argit magneziti ile deneyler yapılmıştır. Deney sonuçları aşağıda çizelge 4.17 ve 4.18'dedir.

tepesinden uygun bir pompa yardımı ile duş şeklinde verilmektedir. Kolon sisteminin 75 lt.'lik yıkama suyu tankı ve 75 lt.'lik pülp kıvamlama tankı, karıştırıcısı; 200'er lt.'lik artık ve konsantre toplama tankı vardır.

Pilot kolonda daha önceki deneyler göz önünde tutularak optimum şartlarda Argıt magneziti ile deneyler yapılmıştır. Deney sonuçları aşağıda çizelge 4.17 ve 4.18'dedir.

Deney şartları:

pH = 10.0

Na-Ol. miktarı = 900 gr./ton

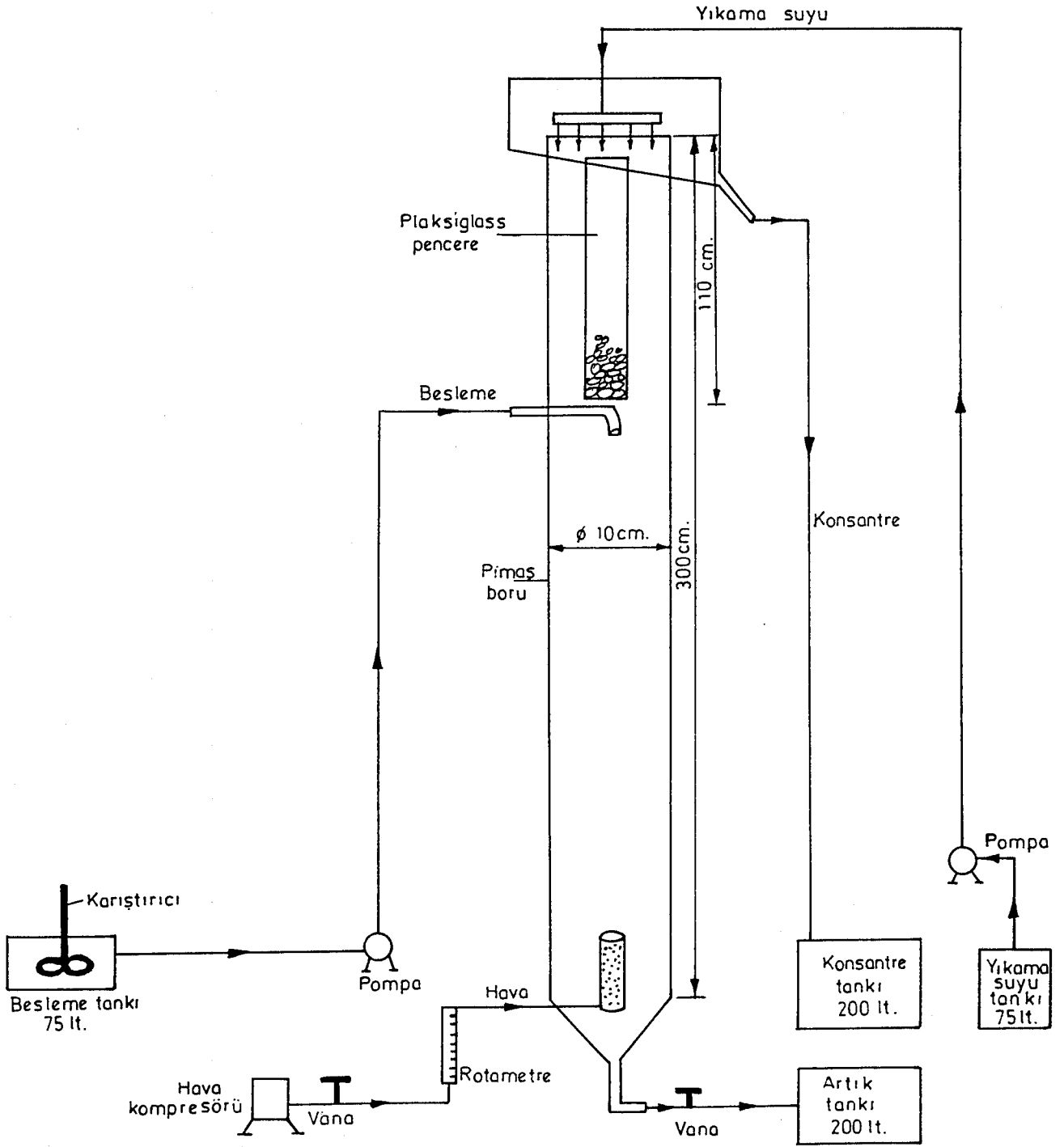
Pülp yoğunluğu = % 15 katı

Besleme miktarı = 800 ml./dak.

Yıkama suyu miktarı = 1600 ml./dak.

Köpük yüksekliği = 80 cm.

Kıvamlama süresi = 10 dak.



Şekil 4.17. Pilot kolon.

**Çizelge 4.17. Optimum şartlarda pilot kolonda yapılan deney sonuçları.**

Bastırıcı miktarı (gr./ton)		Ürünler	Miktar (%)	Tenörler (%)		% MgO Dağılımı
Kalgon	Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>			MgO	CaO	
30	-	Konsantre	46.10	45.23	2.17	46.66
		Artık	53.90	44.23	3.58	53.34
300	-	Konsantre	22.67	46.81	1.19	23.74
		Artık	77.33	44.07	3.44	76.26
600	-	Konsantre	10.01	46.85	0.86	10.49
		Artık	89.99	44.25	3.16	89.51
-	30	Konsantre	44.23	45.41	2.11	44.94
		Artık	55.77	44.12	3.58	55.06
-	300	Konsantre	25.48	46.83	1.41	26.70
		Artık	74.52	43.96	3.45	73.20
-	600	Konsantre	8.50	46.20	0.99	8.79
		Artık	91.50	44.55	3.11	91.21
		BESLEME	100.00	44.69	2.93	100.00

Çizelge 4.17'de optimum şartlarda pilot kolonda yapılan deney sonuçlarına göre; 900 gr./ton Na-Ol. ve 300 gr./ton kalgon kullanıldığında %46.81 MgO, %1.19 CaO içeren konsantre elde edilmektedir. Kalgon miktarı iki katına çıkarılırsa konsantredeki CaO yüzdesi 2.93'ten, 0.86'ya düşer.

Deney şartları:

pH = 10.0

Na-Ol.= 900 gr./ton

Pülp yoğunluğu = % 15 katı

Besleme miktarı = 800 ml./dak.

Yıkama suyu miktarı = 1600 ml./dak.

Köpük yüksekliği = 80 cm.

Kıvamlama süresi = 10 dak.

**Çizelge 4.18. Optimum şartlarda artık alınma hızının magnezit tenörüne ve verimine etkisi**

Artık miktarı (ml./dak.)	Ürünler	Miktar (%)	Tenörler (%)		% MgO Dağılımı
			MgO	CaO	
1000	Konsantre	38.26	45.97	1.64	39.36
	Artık	61.74	43.89	3.73	60.64
1300	Konsantre	26.83	45.92	1.43	27.57
	Artık	73.17	44.24	3.48	72.43
1700	Konsantre	22.67	46.81	1.19	23.74
	Artık	77.33	44.07	3.44	76.26
	BESLEME	100.00	44.69	2.93	100.00

Çizelge 4.18'deki deney sonuçlarına göre; kolondan alınan atığın hızı arttırıldıkça konsantre veriminde azalma olmaktadır. Ancak, konsantredeki MgO yüzdesi atığın hızının artmasıyla artar.

## 5. SONUÇLAR ve TARTIŞMA

Deneysel çalışmalarda kullanılan magnezit numunesinin % 80'ninin geçtiği elek açıklığı 33.7  $\mu\text{m}$ . ve kimyasal bileşimi % 46.42 MgO, % 2.01 CaO, % 0.34 SiO<sub>2</sub>'dir (çizelge 4.1, 4.2 ve şekil 4.2). Magnezit numunesinin bileşimi incelendiğinde saf olduğu söylenebilir. Dolomitin % 80'ninin geçtiği elek açıklığı 54.9  $\mu\text{m}$ . ve kimyasal analiz sonuçlarına göre %25.69 MgO ve% 23.46 CaO içermektedir (çizelge 4.3, 4.4 ve şekil 4.3).

% 10 katı içeren pülpün pH değişimleri gözlemlendiğinde, magnezit ve dolomitin suda çok az çözündüğü, çözünmenin çok kısa sürede (1 dak.) tamamlandığı görülmektedir (şekil 4,4, 4.5). Aynı zamanda pülpün pH'ı 8.0-8.5 arasında sabit kalır.

Şekil 4.6 ve 4.7'de Na-01. miktarı arttıkça magnezitin ve dolomitin flotasyon verimlerinin arttığı görülmektedir. 400 gr./ton Na-01. kullanılırsa; pH=9'da % 60 ve pH=10.5'da % 95'lik flotasyon verimi elde edilmektedir. Dolomitin flotasyonunda ise; pH ve Na-01. miktarı, flotasyon verimini çok değiştirmemektedir (max. % 45verim). Buna göre; tek tek mineral flotasyonunda, en seçimli ayırma pH = 10.5 ve 400 gr./ton Na-01. konsantrasyonunda yapılır.

Şekil 4.8'de magnezit ve dolomitin 400 gr./ton Na-01. kullanıldığında pH değişiminin, flotasyon verimine etkisi incelendiğinde; pH=9.0'da magnezit ve dolomit aynı flotasyon verimiyle yüzdüğü halde, pH = 9.5 - 11.0 arasında flotasyon verimleri arasında bir fark olduğu görülmektedir. Buna göre magnezit ve dolomit bir aradayken flotasyon için uygun pH değerinin 10.0-10.5 arasında olduğu kabul edilebilir.

Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> kullanıldığında magnezitin flotasyonunda sağlam yapılı ve düzenli köpük oluşmaktenken, dolomitin flotasyonunda zorlukla oluşan köpük dengesiz ve hemen patlamaktadır (gazozun kapağı açıldığında patlıyan gaz kabarcıkları gibi).

pH=10.2'de magnezitin flotasyon verimi % 95'e çıkarken, dolomitin flotasyon verimi % 18'de kalmaktadır (şekil 4.9). Buna göre  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  magnezitin flotasyon verimini arttırırken, dolomitin flotasyon veriminin azalmasına neden olmuştur. Çünkü, magnezitin ve dolomitin zeta potansiyeli bazik ortamda negatiftir. Oleat iyonu negatif yüklü olduğundan bu yüzeylere ancak kimyasal olarak adsorplanır. Ortama  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  koyduğumuzda, magnezitin (-) olan zeta potansiyeli sıfıra doğru kayar. Fakat hiç bir şekilde magnezitin zeta potansiyelini (+) yapamaz.  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  ilavesinden dolayı magnezitin zeta potansiyelinin negatifliği azaldığından (sıfıra yaklaştığından), oleat iyonu ile etkileşimi artacaktır. Bu nedenle magnezitin flotasyon verimi artmış olur.  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ , dolomitin yüzey negatifliğini daha çok arttırır. Dolayısıyla dolomitin oleat iyonu ile etkileşimi zorlaşır ve dolomit yüzmeyip, bastırılmış olur (Gence, 1991). Bu sonuçtan,  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ 'ın magneziti-dolomitten ayırma flotasyonunda dolomit için iyi bir bastırıcı reaktif olduğu kabul edilmiştir.

Kalgon kullanıldığında, magnezit flotasyonunda sağlam ve kalın köpük tabakası oluşmakta, dolomit flotasyonunda ise magnezit flotasyonuna benzer köpük oluşmaktadır. Ancak köpük tabakasının kalınlığı daha incedir. Magnezitin mini flotasyon kolonundaki flotasyon verimi pH=10.0'da % 60, dolomitin ise % 40'tır (şekil 4.10). Kalgon daha sonraki deneylerde bastırıcı reaktif olarak kullanılmıştır.

CMC (Karboksi-metil-selüloz) kullanıldığında, magnezit ve dolomit flotasyonlarında köpük karakteri aynı olmakla birlikte pH=10.0'da magnezitin flotasyon verimi % 70, dolomitin ise % 50'dir (şekil 4.11). CMC daha sonraki deneylerde kullanılmamıştır.

Quebreaca kullanıldığında flotasyon pülpünün rengi açık kahverengidir. Ancak magnezit flotasyonunda sağlam ve kalın köpük tabakası oluşurken, dolomit flotasyonunda ki köpük, kalgon kullanıldığında oluşan köpükten çok daha çabuk

patlamakta yada hiç köpük oluşmamaktadır. Bunun için magnezitin flotasyon verimi % 70'lerdeyken, dolomitin flotasyon verimi % 15'lere düşmektedir (şekil 4.12). Konsantrenin kahverengi rengi giderilebilirse iyi bir bastırıcı olabilir.

Alizerin Red-S bastırıcı olarak kullanıldığında ise flotasyon pülpü daha koyu kırmızımsı bir renk almakta ve flotasyon verimlerinde bir değişme olmamaktadır. Daha sonraki deneylerde Alizerin Red S bastırıcı olarak kullanılmamıştır (şekil 4.13).

Bazik ortamda kalgon, CMC, quebreaca ve alizerin red-S gibi bastırıcılar kullanıldıklarında, magnezitin negatif zeta potansiyelini sıfıra yaklaştırırlar. Zeta potansiyelindeki düşüştten dolayı oleat iyonu ile etkileşim arttığından, magnezit yüzer. Oysa bastırıcı ilaveleri dolomitin zeta potansiyelini daha çok negatif yaptığından, oleat iyonu ile etkileşimi zorlaşır ve dolomit yüzmez (Matis, et al., 1988; Gallios, et al., 1989) bastırılır.

Saf kabul ettiğimiz magnezit ve dolomit numunelerinden % 75 magnezit ve % 25 dolomit karışımı hazırlanmış, bu karışım mini flotasyon kolonunda birbirinden ayrılmaya çalışılmıştır. Mini kolonda 400 gr./ton  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  kullanıldığında % 77.35'lik bir MgO verimi sağlanırken konsantredeki MgO yüzdesi 41.24'den 42.06'ya çıkmakta ve konsantredeki CaO yüzdesi 7.37'den 5.72'ye (%22 azalış) düşmektedir. 400gr/ton kalgon bastırıcı olarak kullanıldığında MgO verimi % 62.04 olmakta, konsantredeki MgO % 42.15 ve CaO % 5.42'dir (%26.4 azalış). 400 gr/ton Quebreaca kullanıldığında ise MgO verimi % 72.90, konsantredeki MgO % 41.29 ve CaO % 5.74'tür (% 22 azalış) (çizelge 4.7). Bu sonuçlara göre en iyi MgO verimi 400 gr./ton  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  kullanıldığında elde edilmiştir. Ancak konsantredeki CaO içeriği oldukça yüksektir.

% 50 saf magnezit, % 50 saf dolomit karışımı ile yapılan Mini kolondaki deney sonuçlarına göre; 1000 gr./ton



$\text{Na}_2\text{SiO}_3$  kullanıldığında en iyi magnezit verimi (% 77.35) elde edilir. Fakat 1000 gr./ton kalgon bastırıcı olarak kullanılırsa % 9.79 CaO (%23 düşüş) içeren konsantre elde edilmektedir (çizelge 4.8).

Mini kolonda yapılan flotasyon deneylerine göre şu sonuç çıkartılır. Magnezit-dolomit ayırma flotasyonunda pH=10-10.5, Na-01 miktarı 400 gr./ton, bastırıcı olarak  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  veya kalgon kullanılmalıdır.

Laboratuvar kolonundaki flotasyon deneylerinde Argıt Ocağı'ndan alınan magnezit numunesi içindeki dolomit ayrılarak, magnezitin kolonda zenginleştirilmesine yönelik çalışmalar yapılmıştır. Pulpteki katı miktarı % 10-15'dir (çizelge 4.11). 900 gr./ton Na-01. toplayıcısı kullanıldığında MgO'in flotasyon verimi % 36.23'te kalırken, konsantredeki MgO tenörü % 44.69'dan % 46.13'e çıkmakta ve CaO içeriği ise % 2.93'ten % 2.20'ye düşmektedir (çizelge 4.12). Buna göre laboratuvar kolonundaki flotasyon deneylerinde 900 gr./ton Na-01.kullanmak gerekmektedir. Çizelge 4.13'de kalgon ve  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  ve bunların belirli oranlardaki karışımı bastırıcı olarak flotasyonda denenmiş, en iyi flotasyon verimi 300 gr./ton  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  kullanıldığında MgO verimi % 39.34 elde edilmiş, bu konsantrenin MgO tenörü % 46.00 ve CaO içeriği ise % 1.47' dir. Konsantrelerin tenörleri incelendiğinde CaO içeriği en düşük olan CaO % 1.01 ve MgO % 46.85 ile 900 gr./ton  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  kullanıldığında elde edilen konsantredir. Ancak bu konsantrenin flotasyon verimi düşüktür. İkili bastırıcı karışımları kullanıldığında elde edilen sonuçlar ise iyi değildir.

Magnezitin ve dolomitin yüzey özelliklerini farklılaştırmak için Argıt magneziti 450, 500, 600, 700°C sıcaklıklarda kavrulmuştur. Saf magnezit 480°C'de dekarbonizasyona başlamakta 680°C'de sona ermektedir (Weasth, 1981). Argıt magneziti 450°C'de dekarbonizasyon başlamaktadır. 450°C ve 500°C sıcaklıklarda kavrulmuş magnezitin yüzeyi  $\text{MgCO}_3$ ' tan

MgO'ye kısmen dönüşmüş olur. Dolomitlerin yüzeyinde ise herhangi bir değişiklik olmaz. Çünkü dolomitin dekarbonizasyona başlama sıcaklığı 700 °C, bitiş sıcaklığı ise 1050°C'dir. Böylece kısmen MgO'ye dönüşmüş olan magnezit suya atıldığında, magnezit yüzeylerinde kısmi  $Mg(OH)_2$  'e dönüşen yüzeyler oluşacaktır.  $MgCO_3$ , MgO ve  $Mg(OH)_2$  hidrofilik yapıdadır. Flotasyonda toplayıcı olarak Na-Ol. kullanıldığında, Na-Ol. iyonlaşarak flotasyon ortamına  $Na^+$  ve  $Ol.^-$  iyonları verir (pH=10-10.5). Oleat iyonu,  $MgCO_3$ ' taki  $CO_3^{-2}$  iyonu ile yer değiştirir ve çözünmeyen  $Mg(Ol.)_2$  (magnezyum oleat) oluşturur. Magnezyum oleat hidrofobik yapıdadır. Magnezit yüzeyindeki MgO'in suda  $Mg(OH)_2$ 'e dönüşmesi nedeniyle, oleat; iyonlaşma derecesi çok küçük olan ve sağlam yapılı  $Mg(OH)_2$  ile birleşemeyecektir. Bu nedenlerden dolayı yüzeyi kısmen dekarbonizasyona uğratılan magnezit yüzmeyiz. Dolomit ise hidrofilik yapıdadır. 450-500°C'de kavurma yapıldığında yapısında bir değişiklik olmaz. Ancak flotasyon ortamındaki oleat iyonunun yüzeye adsorplanması sonucunda dolomit hidrofobik özellik kazanarak yüzer.

Çizelge 4.15 ve 4.16'da Argıt magneziti 450-500°C'de kavrulmuş ve laboratuvar kolonunda flotasyon yapılmıştır. kavrulan magnezitin flotasyonu, ters flotasyon olmaktadır. MgO tenörü batanda daha fazla olurken, köpükte MgO azalır. Ancak başarılı sonuçlar elde edilememiştir. Çünkü magnezit yüzeyinde kavurmadan dolayı  $MgCO_3$ 'ın bir kısmının MgO'ye dönüşmesi sonucunda bir kütle azalması olmaktadır. Daha sonra flotasyon için kavrulan magnezit suya atıldığında MgO'lerin  $Mg(OH)_2$ 'e dönüşmesi sonucunda ise kütlede bir artış olmaktadır. Bu değişimlerden dolayı doğru kütle denkleği kurmak olanaksızdır.

Pilot kolonda pH=10.0, 900 gr./ton Na-Ol. toplayıcısı ve 300 gr./ton kalgon kullanıldığında; % 23.74 MgO verimiyle % 46.81 MgO ve % 1.19 CaO içeren konsantre elde edilmektedir. 600 gr./ton kalgon kullanılırsa, beslemedeki CaO yüzdesi 2.93'den, konsantrede % 0.86 'ya düşer (çizelge 4.17).

Fakat verim oldukça azalmaktadır.  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  bastırıcı olarak kullanıldığında ise verimler kalgona göre biraz daha artmakta, ancak tenörler azalmaktadır. Çizelge 4.18'de ise artık debisi arttırıldıkça konsantre veriminde bir azalma olduğu görülmektedir. 1000 ml./dak. artık akış hızında konsantre verimi % 39.36'dan, 1700 ml./dak.'da % 23.74'e düşmektedir. Ancak artık akış hızı arttıkça daha temiz konsantre elde edilmektedir. 1000 ml./dak. artık akışında % 1.64 CaO, 1700 ml./dak. artık akışında % 1.19 CaO içeren magnezit konsantresi elde edilmiştir.

Pilot kolondaki deney sonuçlarına komple baktığımızda konsantre verimlerinin düşük olduğu görülmektedir. Bunun nedeni kolona verilen hava miktarının az olmasıdır. Ancak hava miktarı arttırıldığında kolondaki kabarcıkların kaynıyarak yukarı çıkması sonucunda kolonda aşırı derecede bir kabarma olmakta ve kabarcıkların birbiriyle birleşmesi ile kolonda büyük boşluklar, girdaplar oluşmaktadır. Kolon içinde türbülans akımlar arttığından flotasyon yapılamamaktadır. Bu nedenle daha küçük kabarcıklar oluşturan uygun bir hava (gaz) kabarcık üretici gerekmektedir. Ya da kabarcık çaplarının ayarlanabildiği bir kabarcık üretici gerekmektedir. Verimin düşük olmasının bir başka nedeni  $10\mu\text{m}$ . 'den küçük tanelerin miktarının % 40 olmasıdır. Flotasyon verimi, iki veya daha çok sayıda kolonun seri çalışmasıyla arttırılabilir.

Bu çalışmada öncelikle flotasyon için uygun ev-yapımı (home-made) kolonlar kurulmaya ve bu kolonların flotasyon parametrelerinin belirlenmesine çalışılmıştır. Şayet beslemedeki hızı kontrol edilen pompa düzeneği gibi, yıkama suyunda da sabit hızlı pompa yerine hızı kontrol edilebilen pompa olması ve atık akış hızında el ile kontrollü (vananın açılıp kapatılması) yerine hızı ayarlanabilen pompa ile yapılması durumunda flotasyon daha düzenli olacak ve parametrelerin kontrolü daha kolaylaşacaktı. Laboratuvardaki bazı yetersizlikler ve ekonomik sıkıntılar nedeniyle

istenilen pompa düzenekleri kolon sistemine bağlanamadı. Bu eksikliklerden dolayı kolonu otomatik olarak kontrol etmek mümkün olmadı. Kolondaki flotasyon parametrelerini daha iyi ve hassas belirlemek ve otomatik kontrolü sağlamak için, yukarıda belirtilen düzeneğin eksikliklerinin tamamlanması gerekmektedir. Aynı zamanda kolon parametrelerini belirlerken flotasyonu güç olan magnezit-dolomit ayırma flotasyonu yerine, flotasyonu daha kolay olan sülfürlü cevherler ile benzer çalışmalar yapmak kolon flotasyon uygulamalarını geliştirmek için daha yararlı olacağına inanmaktayım.

### KAYNAKLAR DİZİNİ

- Atak, S., 1974, "Flotasyon ilkeleri ve uygulaması", İTÜ Gümüşsuyu, İstanbul, 222 s.
- Boutin, P. and Wheeler, D.A., 1967, "Column flotation", Mining World, 20(3), p. 47-50.
- Bozkurt, M.R., 1985, "Mineral tanıma el kitabı", Anadolu Üniversitesi Yayınları, No:113, 142 s.
- Budnikov, P.P., 1964, "The technology of ceramics and refractories", Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, 249-270.
- Calic, N.M., 1983, "Les transformations de la magnesite et de la dolomite resultant du grillage et representant les conditions de leur flottation selective", Zbornik radova RGF, Belgrad, p. 295-303.
- Can, S., Eren, E. ve İnel, İ., 1982, "Erzincan-Çayırılı-Çataksu magnezitlerinin teknolojik değerlendirme çalışmaları", MTA Enstitüsü, Teknoloji Dairesi Başkanlığı, Endüstriyel Hammaddeler ve Seramik Servisi, 33 s.
- Ciensi, T. and Coffin, V.L., 1981, "Column flotation at Mines Gaspé molybdenum circuit", Proc. 13th Annual Meeting of the Canadian Mineral Processors, January, p. 240-262.
- Coffin, V.L. and Miszczak, J., 1982, "Column flotation at Mines Gaspé", Proc. 14th Int. Mineral Processing Congr., Toronto, Canada, Paper 4-21.

- Contini, N.J., Wilson, S.W. and Dobby, G.S., 1988, "Measurement of rate data in flotation columns" in Column Flotation '88 (K.V.S. Sastry, ed.), SME Annual Meeting Phoenix, Arizona, p. 81-89.
- Coope, B., 1989, "Magnesia markets", Industrial Minerals, p. 45-57, September.
- Dean, J.A., (Ed.), 1973, "Lange's Handbook of Chemistry", 11th Ed, McGraw-Hill Book Comp., Tokyo, 787 p.
- Dell, C.C. and Jenkins, B.W., 1976, "The Leeds Flotation Column", Seventh Int. Coal Preparation Congress, Sydney, Australia (A.C. Partridge, ed.), p. J3.
- Didier Refractory Techniques, 1982, printed in Germany by Druchaus Ritter, Wiesbaden, D-6200.
- Dobby, G.S., 1984, "A fundamental flotation model and flotation column scale-up", Ph.D. Thesis, McGill University, Montreal, Canada.
- Dobby, G.S. and Finch, J.A., 1986, "Particle collection in columns-gas rate and bubble size effects", Canadian Metallurgical Quarterly, 25(1), p. 9-13.
- Erdinç, Ş.Ş., 1959, "Manyezit tuğla imalinde kullanılacak manyezitin kalitesi, empüritelerin tesiri, temizleme imkanları", MTA Dergisi, No:52, Ankara.
- Espinosa-Gomez, R., 1989, "Recovery of slimes discard at Niobec by column flotation", Ph.D. thesis, McGill University, Montreal, Canada.
- Espinosa-Gomez, R., Finch, J.A. and Johnson, N.W., 1988, "Column flotation of very fine particles", Minerals Engineering, 1(1), p. 3-18.

- Falutsu, M. and Dobby, G.S., 1989, "Direct measurement of collection zone recovery and froth drop back in a laboratory flotation column", Mineral Engineering.
- Feeley, C.D., Landoldt, C.A., Mischczak, J. and Steenburgh, W.M., 1987, "Column flotation at INCO's matte separation plant", pres.89th AGM-CIM, Toronto, Canada.
- Gallios, G.P. and Matis, K.A., 1989, "Flotability of magnesium carbonates by sodium oleate in the presence of modifiers", Separation science and technology, 24 (1&2), pp. 129-143.
- Gence, N., 1991, "Manyezitin yüzey özellikleri ve reaktif adsorplama mekanizması", Anadolu Üniv. Doktora tezi, Eskişehir.
- Gülensoy, H., 1984, "Kompleksometrinin esasları ve kompleksometrik titrasyon", İstanbul.
- Hanna, H.S. and Somasundaran, P., 1976, "Flotation of salt-type minerals", In. M.C. Fuerstenau (Ed.), Flotation-A.M. Gaudin Memorial Volume, AIME, New York, p. 197-272.
- Hongen, Z., Laigun, M. and Shiguan, Y., 1991, "Solution Chemistry in the flotation of magnesite and dolomite", 17. Inter. Mineral Processing Congress, Dresden.
- Jameson, G.J., Nam, S. and Moo-Young, M., 1977, "Miner Sci. Engineering", 9(3), 103.
- Karantzavelos, G.E., 1984, "Brief description and evaluation of the magnesite flotation process- Development of a new flotation process", Minerals and Metallurgical Processing, 69-70.

- Kaya, M. and Laplante, A.R., 1988, "Evaluation of potential of wash water addition and froth vibration on gangue entrainment in mechanical flotation cells", in Proc. II Inter. Mineral Processing Symp. (Y.Aytekin, ed), İzmir, Türkiye, Ekim 4-6, sayfa 175-186.
- Klassen, V.I. and Mokrousov, V.A., 1963, "An Introduction to the Theory of Flotation", Butterworths, London, Chap.5.
- Kocaefe, M., 1982, "Türkiye manyezit envanteri", MTA Yayınları, 186, 78 s.
- Kosick, G.A., Freberg, M. and Kuehn, L.A., 1988, "Column flotation of galena at the Polaris concentrator", C.I.M. Bulletin, 81(920), p. 54-60.
- Kramer, D.A., 1985, "Magnesium, Mineral Facts and Problems", Bureau of Mines Bulletin, 675, 471-482.
- Kuzvart, M., 1984, "Industrial Minerals and Rocks", Elsevier Science Publishing Comp., New York, 454 p.
- Manqiu Xu, 1987, "Sparger study in flotation columns", M. Eng. Thesis, McGill University, Montreal, Canada.
- Manqiu Xu and Finch, J.A., 1989, "Effect of sparger type and surface area on bubble size in a flotation column", Canadian Metallurgical Quarterly, 28(1)p 1-6.
- Masliyah, J.H., 1979, "Hindered settling in a multi-species particle system", Chem. Eng. Sci., 34, p. 1166-68.
- McKay, J.D., Foot, D.G.Jr. and Shirts, M.B., 1988, "Column flotation and bubble generation studies at the Bureau of Mines", in Column Flotation'88 (K.V.S. Sastry, ed.), SME Annual Meeting Phoenix, Arizona, p. 173-186.



- Matis, K.A., Balabanidis, N. and Gallios, G.P., 1988, "Processing of Magnesium Carbonate Fines by dissolved-air flotation", *Colloids and Surfaces*, 29, 191-203, Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam-Printed in the Netherlands.
- Matis, K.A. and Gallios, G.P., 1989, "Anionic flotation of magnesium carbonates by modifiers", *Inter. Journal of Mineral Processing*, 25.261-274.
- Mauro, F.L. and Grundy, M.R., 1984, "The application of flotation columns at Lornex Mining Corp. Ltd." CIM District 6 Meeting, October.
- Nicol, S.K., Roberts, T., Bensley, C.N., Kidd, G.W. and Lamb, R., 1988, "Column flotation of ultra-fine coal: experience at BHP-Utah Coal Limited's Riverside Mine", in *Column Flotation'88* (K.V.S. Sastry, ed.), SME Annual Meeting Phoenix, Arizona, p. 7-11.
- Norton, F.H., 1974, "Element of Ceramics", 2nd Ed., Addison-Wesley Publishing Comp., USA, 311 p.
- Predali, J.J. and Cases, J.M., 1973, "Zeta potential of magnesium carbonate in inorganic electrolytes", *J. Colloid Interface Sci.*, Vol. 45, 449-458.
- Rice, R.G., Tupperainen, J.M.I. and Hedge, R.M., 1981, "Dispersion and holdup in bubble columns comparison of rigid and flexible spargers, *Canadian J. Chem. Eng.*, 59, p. 677-687.
- Sastry, S.R.S., Sengupta, D.K., Sahoo, R.K. and Narasimhan, K.S., 1981, "Scope and Limitations for the Utilisation of Low Grade Magnesites of India", *International Symp. on Beneficiation and Agglomeration*, Bhubaneswar,

## 3.23.1-3.23.8.

- Sengupta, D.G., Sastry, S.R.S. and Narasimhan, K.S., 1978, "Beneficiation of low-grade magnesite", Regional Research Laboratory, Bhubaneswar, 13.
- Schneider, J.C. and Van Weert, G., 1988, "Design and operation of the Hydrochem flotation column", in Column Flotation'88 (K.V.S. Sastry, ed.), SME Annual Meeting Phoenix, Arizona, p. 287-292.
- Shah, Y.T., Kelkar, B.G., Godbole, S.P. and Decwer, W.D., 1982, "Design parameter estimations of bubble column reactors", AIChE Journal, 28(3), p. 353-379.
- Sherve, R.N. and Bring, J.A., 1967, "Magnesium and Magnesium Compounds", Chem. Process Industries, 174-178
- Shulze, H.J., 1984, "Physico-Chemical Elementary Processes in Flotation", Ed. Elsevier, N.Y., chap.4, p. 234-237.
- Szatkowski, M. and Freyberger, W.L., 1985, "Kinetics of flotation with fine bubbles", Trans. Instn. Min. Metall. (Section C), 94, p. 60-70.
- Tyurnikova, V.I. and Naumov, M.E., 1981, "Improving the Efficiency of Flotation", Technicopy Limited, Gloster, England, Chapter 5.2.2.
- Weasth, R.C., 1981, "CRC Handbook of Chemistry and Physics", CRC press., Inc., Boca Raton, Florida, 33431.
- Wheeler, D.A., 1966, "Big flotation column mill tested", E & MJ, 167(11), p. 98-99.
- Wheeler, D.A., 1983, "Column flotation seminar", McGill University, Montreal, Canada, May.

- Wheeler, D.A., 1986, "Column flotation-the original column, in Froth Flotation", Proc. 2nd Latin American Congress on Froth Flotation (S.H. Castro and V. Alvarez, eds.), Chile 19-23 Aug. 1985, Developments in Mineral Processing, Vol. 9, Elsevier, 1988, p. 17-40.
- Wheeler, D.A., 1988, "Historical view of column flotation development", in Column Flotation '88 (K.V.S. Sastry, ed.), SME Annual Meeting Phoenix, Arizona, p. 3-4.
- Yang, D.C., 1988, "New packed column flotation system", (K.V.S. Sastry, ed.), SME Annual Meeting Phoenix, Arizona, p. 257-266.
- Yianatos, J.B., Finch, J.A. and Laplante, A.R., 1986a, "Apperant hindered settling in a gas-liquid-slurry cauntercurrent column", Int. Mineral Processing, 18(3/4), p. 155-166.
- Yianatos, J.B., Finch, J.A. and Laplante, A.R., 1986b, "Holdup profile and bubble size distribution of flotation column froths", Canadian Metallurgical Querterly, 25(1), p. 23-29.
- Yianatos, J.B., 1987, "Flotation column froths", Ph.D. thesis, McGill University, Montreal, Canada.
- Yianatos, J.B., Finch, J.A. and Laplante, A.R., 1987, "The cleaning action in column flotation froths", Trans. Inst. Min. Metall. (Section C), 96, p. 199-205.
- Yianatos, J.B., Espinosa-Gomez, R. and Finch, J.A., 1988a, "Column Flotation Manual", Department of Mining and Metallurgical Engineering McGill University, Montreal, Canada, H3A2A7.

- Yianatos, J.B., Espinosa-Gomez, R., Finch, J.A., Laplante, A.R. and Dobby, G.S., 1988b, "Effect of column height on flotation column performance", Minerals and Metallurgical Processing, 4(1), p.11-14.
- Yianatos, J.B., Finch, J.A., Dobby, G.S. and Manqiu Xu, 1988c, "Bubble size estimation in a bubble swarm", J. Coll. Inter. Sci., 126(1), p.37-44.
- Yu, 1985, "Particle collection in a flotation column", M. Eng. Thesis, McGill University, Montreal, Canada.
- Zipperian, D.E. and Svensson, U., 1988, "Plant practice of the Flotaire column flotation machine for metallic, nonmetallic and coal flotation", in Column Flotation '88 (K.V.S. Sastry, ed.), SME Annual Meeting Phoenix, Arizona, p. 43-54.

## EK 1. MAGNEZİTİN KİMYASAL ANALİZİ

Analizi yapılacak numune, porselen bir havanda öğütülerek 100 mesh'lik elekten elenir. Daha sonra belirli bir miktar alınarak etüvde 100°C'de 1-1.5 saat kadar bekletilmek suretiyle neminden kurtarılır. Daha sonra aşağıdaki işlemler yapılarak kimyasal analiz metodu uygulanır.

### -Magnezitte SiO<sub>2</sub> tayini:

Kurutulmuş numune, oda sıcaklığında hassas terazi yardımıyla belirli bir miktar (0.5000-0.8000 gr.) tartılıp behere konulur. Beherdeki numunenin üzerine 30 ml. HCl, 10 ml. HNO<sub>3</sub> koyup, elektrikli ısıtıcının üzerinde kuruluğa kadar gözündürmeye devam ederiz. Kuruluğa gelen numune tekrar 5 ml. HCl ile sıcakken gözündürülür. Katı taneler kalmayınca 200 ml. saf su eklenip, beyaz bant filtre kağıdından 250 ml.'lik balon jöjeye süzülür. Oluşan çökelek metasilisilik asit (SiO<sub>2</sub>.H<sub>2</sub>O)'dir. Filtre kağıdındaki çökelek 1000°C'de fırında 1 saat yakılır (T<sub>1</sub>). Bu şekilde;



Pilatin krozedeki SiO<sub>2</sub> fırından çıkarılınca hızlı bir şekilde desikatöre konulup soğutulur. Pilatin kroze hassas olarak tartılır. Daha sonra üç damla H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ile krozedeki çökelek ıslatılıp, üzerine 5 ml. HF konulur. Elektrikli bir ısıtıcıda kuruluğa kadar buharlaştırılır. 1000°C'deki fırında 15 dakika bekletilir. Fırından çıkan kroze, desikatörde soğutulduktan sonra hassas olarak tartılır (T<sub>2</sub>). Aradaki fark (T<sub>1</sub>-T<sub>2</sub>) numunedeki SiO<sub>2</sub> miktarını verir. Buradan;

$$\% \text{SiO}_2 = \frac{T_2 - T_1}{W} \times 100$$

W : Analiz için alınan numune tartımı.

Silisin süzüntüsü, 250 ml.'lik balon jodedeki çözelti saf su ile 250 ml.'ye tamamlanır. Bu çözeltide  $Ca^{+2}$ ,  $Mg^{+2}$  ve  $Fe^{+3}$  iyonları vardır.

### **Magnezitte CaO tayini:**

-Silis süzüntüsünden 10 ml. erlene alınır.

-Ortamın içindeki, reaksiyona zarar verecek katyonlar iki damla trietanolamin ile maskelenir.

-Ortamın pH'ı, % 25'lik KOH ile 12.8'e ayarlanır.

-Kalgon karboksilik asit indikatöründen spatülün ucuyla çok az eklenir. Oluşan renk, pembe şarap rengidir.

-0.02 M. EDTA ile renk maviye dönüncüye kadar titre edilir. Titrasyonda renk önce eflatuna, daha sonra iki yada üç damla EDTA ilavesi rengi maviye dönüştürecektir. Sarf edilen EDTA miktarından % CaO hesaplanır.

$$\% \text{CaO} = \frac{\text{S.M.O,04008}}{W} \times 100 \times (250/10) \times (56/40)$$

### **Magnezitte MgO tayini:**

-Silis süzüntüsünden 2 ml. erlene alınıp, üzerine 5 ml. kadar saf su konulur.

-iki damla trietanolamin konulur.

- $NH_3$  tampon çözeltisi ile pH=10 yapılır.

-Bir kaç damla indikatör Erichrom Black-T ilave edilir. Renk pembeden maviye dönüncüye kadar 0.02 M. EDTA çözeltisiyle titre edilir. Titrasyonda renk mor olunca EDTA çözeltisinden en çok bir damla ilave edilince yavaş yavaş renk maviye döner. EDTA sarfiyatından % MgO hesaplanır.

$$\% \text{MgO} = \frac{\text{S.M.O,0243}}{W} \times 100 \times (250/2) \times (40/24)$$