

T.C.

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

HİSERSAN A.Ş. ARTIKLARINDAN KAOLEN KAZANMA OLANAKLARININ
ARAŞTIRILMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HAZIRLIYAN

SABİHA ÖNÇEK

YÖNETEN

Yard.Doç.Dr.EROL OKUR

İ Ç İ N D E K İ L E R

ÖZET	
ABSTRACT	
GİRİŞ VE AMAÇ... ..	1
1. GENEL BİLGİLER... ..	2
1.1.- KAOLEN	2
1.2.- KAOLEN YATAKLARI... ..	3
1.3.- KULLANIM ALANLARI, ARANAN ÖZELLİKLER... ..	5
1.3.1.- Kağıt Sanayiinde Kullanılacak Kaolende Aranılan Özellikler	5
1.3.2.- Boya ve Plastik Sanayiinde Aranılan Özellikler... ..	7
1.3.3.- Seramik Sanayiinde Kullanılan Kaolenlerde Aranılan Özellikler	7
1.3.4.- Beyaz Çimento Üretiminde Kullanılan Kaolende A- ranan Özellikler... ..	8
1.3.5.- Refrakter Malzeme Üretiminde Kullanılacak Kaol- ende Aranılan Özellikler	9
1.4.- KAOLEN REZERV VE ÜRETİMİ... ..	9
1.4.1.- Dünya	9
1.4.2.- Türkiye..	12
1.5.- KAOLENLERİN ZENGİNLEŞTİRİLMESİ	14
1.5.1- Boyuta Göre Sınıflandırma ile Zenginleştirme	14
1.5.2- Flotasyon ile Zenginleştirme	15
1.5.2.1.- Çeşitli Safsızlıklardan Arındırılması.	17
1.5.2.2.- Kaolen'in Kuvârs'dan Arındırılması	21
1.5.3.-Selektif Flokülasyon ile Zenginleştirme	23
1.5.4.-Manyetik Ayırma ile Zenginleştirme..	24
2. HİSERSAN A.Ş. KAOLEN TESİSİ	25
2.1.- YERİ... ..	25
2.2.- TEKNOLOJİK ÖZELLİKLERİ... ..	25

2.3.-	NUMUNELERİN ALINIŞI...	27
2.3.1.-	Kimyasal Analizler ...	27
2.3.2.-	Tane Serbestleşmesi...	28
2.3.3.-	Elek Analizleri...	29
3.	HİSERSAN A.Ş. KAOLEN KAZANMA ÇALIŞMALARI ...	31
3.1.-	BOYUT KÜÇÜLTME VE BOYUTA GÖRE SINIFLANDIRMA İLE ZENGİNLEŞTİRME ...	31
3.1.1.-	Öğütme Deneyleri ...	34
3.1.2.-	Hidrosiklon ile Zenginleştirme ...	37
3.2.-	FLOTASYON İLE ZENGİNLEŞTİRME ...	47
3.2.1.-	En Uygun Tane Boyutu ve Kollektör Cinsinin Tespiti İçin Yapılan Deneyler...	48
3.2.2.-	pH Değerinin Flotasyona Etkisini İncelemek İçin Yapılan Deneyler...	54
3.2.3.-	Flotasyonda Katı Oranının Etkisini İncelemek İçin Yapılan Deneyler ...	55
3.2.4.-	En Uygun Kollektör Miktarının Tespiti İçin Yapılan Deneyler ...	57
3.2.5.-	Flotasyon Zamanının Flotasyona Etkisini İncelemek İçin Yapılan Deneyler...	58
3.2.6.-	Kıvam Zamanının Flotasyona Etkisini İncelemek İçin Yapılan Deneyler...	60
3.2.7.-	Flotasyonda pH Ayarlayıcısı(HF ve H ₂ SO ₄)'nın Flotasyona Etkisini İncelemek İçin Yapılan Deneyler ...	61
3.2.8.-	Flotasyon ile Zenginleştirme Deneylerinden Elde Edilen Sonuçlar ...	62
4.	SONUÇLAR ...	63
	YARARLANILAN KAYNAKLAR..	

T E Ş E K K Ü R

Yüksek lisans çalışmalarımın yönetimini kabul eden ve bana bu tezi hazırlama olanağı sağlayan, çalışmalarım süresince yakın ilgi ve yardımlerini esirgemiyen Sayın Hocam Yar. Doç. Dr. Erol OKUR'a en içten teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalarımda her konuda yardımlarını gördüğüm Bölüm Başkanımız Sayın Hocam Doç. Dr. Rifat BOZKURT'a, öneri ve fikirlerinden yararlandığım Sayın Hocalarım Yar. Doç. Dr. Hüseyin ÖZDAĞ'a ve Yar. Doç. Dr. Faruk EMRULLAHOĞLU'na teşekkürlerimi sunarım.

Analizlerimin yapılmasında yardımını gördüğüm Kim. Müh. Vedat SEVERCAN'a teşekkür ederim.

Sabiha ÖNÇEK

ÖZET

Bu çalışmada Seramik ve Kağıt sanayiinin hammaddelerinden olan Kaolenin yatakları, oluşumu kullanım alanları beğirtilmiş ve Hisersan A.Ş. de artık olarak atılan malzemenin zenginleştirilme olanekları çeşitli yöntemler tatbik edilerek araştırılmıştır.

Tesisten alınan artıklardan kaolenin kazanılması için yapılan araştırmalarda boyuta göre sınıflandırma ile zenginleştirme ve flotasyon ile zenginleştirme yöntemleri uygulanmıştır.

1- Boyuta göre sınıflandırma çalışmalarında. önce numune hiç bir boyut küçültme işlemine tabii tutulmadan. daha sonra öğütme işlemi uygulayarak sınıflandırma (eleme ve dekantasyon yöntemiyle) yapılmış ancak bu boyut aralıklarında bir zenginleşme görülmemistir . Hidrosiklonla yapılan ayırma işleminde de hassas bir ayırma olmamış ve olumlu bir sonuç alınamamıştır .

2- Flotasyon ile zenginleştirme deneylerinde 0.105 mm altına öğütölmüş cevher kullanılmış. asit ortamda (pH=3.0) Flotigam PA kollektörü kullanılarak %40 katı oranında kaolen yüzdürölmüştür. %82.20 Al_2O_3 verimiyle %23.7 Al_2O_3 tenör içeren kaolen konsantresi elde edilmiştir.

ABSTRACT

In this work, occurrence, using areas of kaolinite, being one of the most important crude materials of ceramic-paper industry have been reviewed. And the beneficiation possibilities of Hisersan A.Ş. mineral processing plant's tailings have been sought by means of various kind of concentration methods.

Flotation, sieving according to size, and both grinding and sieving according to size methods have been used to obtain kaolinite from quartz

1- Beneficiation experiments due to both sieving and grinding and sieving methods were unsuccessful.

A number of experiment have been carried out by means of hydrocyclone in hope to obtain desirable material to be used in the industry, but the results obtained were unsuccessful.

2- In the flotation experiments, material was ground under 105 microns and flotation experiments, have been accomplished under the conditions of $\text{pH}=3.0$, solid concentration : 40 %, the collector used in the experiments was Flotigom PA amine with a concentration of 500 gr/ton and kaolinite was floated with a recovery of 82.20 % Al_2O_3 , and a grade of 23.7 % Al_2O_3 .

GİRİŞ VE AMAÇ

Seramik ve Kağıt sanayinin ana hammaddelerinden olan Kaolenin temininde bir çok özellikler gözönünde bulundurulmaktadır.

Aranan özelliklerden en önemlileri $\%40-30\text{Al}_2\text{O}_3$ içermesi ve Fe içeriğinin düşük ($\%0.5-0.3$) olmasıdır.

Bu çalışmada amaç, Hisersan A.Ş Kaolen yıkama tesisinde artık olarak atılan (Kaolen+ Kuvarslı), malzemenin zenginleştirilmesi, Kaolenin Kuvarstan arındırılmasıdır. Dolayısıyla son senelerde hızlı bir gelişme gösteren seramik ve diğer sanayi dallarında kazanılan kaolenin değerlendirilmesi olanağı sağlanmış olmaktadır. Ve böylece Hisersan A.Ş. atılan bu artığın kazanılarak, gelişen seramik ve diğer sanayiilerin hizmetine sokulmasının ve zenginleştirile olanaklarının araştırılmasının ulusal ekonomimiz açısından yararlı olacağı düşünülmüştür.

Kaolenin Kuvarstan arındırılması olanaklarının araştırılmasını kapsayan bu tez dört bölüme ayrılmaktadır .

- 1- Kaolenin yatakları, oluşumu, kullanım alanları ve zenginleştirilmesini içeren genel bilgiler
- 2- Hisersan A.Ş. Kaolen tesisinin özellikleri.
- 3- Hisersan A.Ş. artıklarından kaolenin kazanılması olanakları.
- 4- Sonuçlar.

1.GENEL BİLGİLER

1.1.KAOLEN

Kaolen bir kil mineralidir. Ve Çince "Yüksek dağlar" anlamındaki "Kev-ling" kelimelerinden adını alır.

Alümina silikatların (özellikle feldispatların) bozunması veya düşük sıcaklıktan hidrotermal etmenlerle ayrışması ile oluşan alüminyum hidro silikatlardır (1).

Kaolen beyaz pisen kil olup. $Al_2O_3 \cdot 2H_2O \cdot 2SiO_2$ formülü ile gösterilir. Tabakalı bir yapıya sahiptir. Kristal yapısı bir dörtyüzlülerden ve birde sekizyüzlülerden oluşan birbirine bağlı iki tabakadan meydana gelmiştir. Ve tabakalar arasında zayıf van der Waals bağı vardır (2).

Porselen toprağı adıyla da bilinen kaolenin, sertliği 2-2,5 yoğunluğu 2.6 dir. Mat. gevsek toprağımsı görünümde nadiren kristal halde bulunur. Saf olduğunda beyaz, bazen yeşilimsi sarımsı renklerde olabilir. Havadan nem çeker. Nemli olduğunda özel bir kil kokusu needer. Su ile yoğrulup her şekle girer. (3.45)

Üfleçte ergimez. 770 C ısıda suyunu kaydeder. HCl de erimez. Yalnız kaynır H_2SO_4 te erir.

Elektron mikroskopunda altıgen şekilli pullar halinde görülürler. (4)

Kimyasal Bileşimleri (6)

	<u>Ortalama %</u>	<u>İdealde %</u>
Al_2O_3	25-36	37.7
SiO_2	59-63	46.7
CaO	0-1	0.15
MgO	0-1	0.24
K_2O	0-1	1.49
Fe_2O_3	0-0.5	0.56

Diğer kaolen grubu mineralleri Nekrit ve Dikittir. Bu üç mineral aynı kimyasal bileşime sahip olup. tabakalı yapı gösterirler. Kaolen küçük pulcuklar veya küçük kurtçuklar şeklinde bulunur. Dikit ve Narit kristalleri daha iyi oluşurlar. Bu üç mineralin yapıları, SiO_4 dörtyüzlüleri ve AlO_6 sekizyüzlülerinden oluşan kaolen tabakalarının birbiri üzerine dizilmelerindeki farklardan ötürü ayrıcalık gösterirler. Kaolen triklinik sistemde kristalleşmişlerdir. (3,4,7) Kaolene benzer kimyasal bileşimde olan Halloysit de montmorillonit grubu minerali olup boru şeklinde kristallerden oluşmuştur (3,7)

1.2.KAOLEN YATAKLARI

Kaolen ana kayacının başlıca minerali olan ortoklaz %64,63 SiO_2 i %18,49 Al_2O_3 , %16.88 oranında potas ihtiva eder. Yeraltı ve yerüstü sularının veya asit bünyeli termal eriyiklerin etkisi ile feldispatlar ihtiva ettikleri potasın tamamını ve SiO_2 'nin bir kısmını kaybedip bunların yerine bünyelerine bir miktar su olarak bileşimi %39.56 Al_2O_3 , %46.50 SiO_2 ve %13.94 H_2O olan kaolen mineraline dönüşürler(8)

Kaolen grubu minerallerin oluşumunda yerinde bozuma (Keller 1964) ve hidrotermal alterasyon (Sales, Mayer 1949) temel jeolojik ilkelerdir. (7)

Primer kaolin yatakları kayalardan oluşurlar. Hidrotermal yataklarda kaolenleşmenin tam olması sıcak su eriyiklerinin yeterli ve uzun süre etkili olmasıyla mümkündür. Aksi halde yatağın içersinde sert, primer yapısı bozulmamış, bol kuvarslı kütleler kalmaktadır. Hidrotermal kaolen yataklarının derinliği yüzlerce metreyi bulabilir.

İyi ve saf kaolenler karbondioksitli sıcak su kaynaklarının derinliklerdeki granit ve pegmatikler üzerine etkileri sonucu meydana gelir. Yeryüzünde teşekkül eden kaolenler ise az çok karışıktır. Ekonomik değeri olmayan sert ve kirlenmiş primer kaolinlerin ve kaolinize tüflerin yaygın olduğu bölgelerde yatak değiştirme sonucu feldispat artışı kuvars ve mikadan ayrılan yumuşak ve ince seramikte kullanılabilir kaolen yataklarını meydana getirebilirler (3,7,9).

Kaolen yataklarını eksojen ve endojen yataklar olmak üzere iki kısma ayırmak mümkündür (8).

Eksojen yataklar feldispat ihtiva eden kayalardan dış alterasyon yolu ile oluşur. Bir alterasyon örtüsü halinde olup, tabanda toprak örtüsüne geçişli ve kirlenmiş olarak, tabanda ise ana kayaca geçişli sert silisleşmiş ve düşük kaliteli olarak ortaya çıkarlar. Feldispat minerali bakımından zengin arkoz kumtaşı ve tüfler sık sık bu tip yatakların ana kayacı olarak ortaya çıkarlar. Eksojen yatakların oluşumunda karbonik asitli sular büyük rol oynarlar. Bu sular karbondioksit uçması veya civardakarbonatlı kayaların bulunması sonucu nötr veya bazik hale gelerek silisin ortamdan uzaklaşması ve kuvars ihtiva etmeyen yumuşak kaolenlerin meydana gelmesine sebep olabilir.

Endojen yataklar; Volkanik ve magmatik oluşumlu kaolen yataklarının kalitesi ve jeolojik yapı özellikleri magmanın katılaşması derinliğe ve onun kimyasal bileşimine bağlıdır. Lavların ve magmanın bazik, nötr ve asit özellikte oluşu volkanik, subvolkanik veya plütonik derinliklerde katılaşması Hipomagmatik, Piromagmatik ve Epimagmatik kaolen yatakları gibi değişik tip kao-

len yataklarının oluşumuna sebep olmaktadır.

Hipomagmatik kaolen yatakları; Plütonik derinliklerde katılaşma bir yandan kristallesme dolayısıyla alttan yukarı doğru gelişirken, bir yandan da erken soğuma dolayısıyla üst kontakt zonu-na paralel felsitik dokulu bir kabuk ortaya çıkar. Feldispat feno kristalleri bakımından fakir olan bu porfirik tavan ile ana kütle arasında mağmatik ayrışma sonucu meydana gelen gaz ve asit eriyik-lerce zengin artık magma, eğer çok yüksek iç basınç altında değilse ve yan kayaç killi ve tektonik yapı yönünden sağlam ise o zaman hem porfirik kabuğun hemde feldispatça zengin ana kütlenin yer yer lateral kaolenlesmeye uğradığı görülmektedir.

Epimagmatik kaolen yatakları; Volkanizmanın son fazında çı-kan sıcak termal suların ve asit eriyiklerin veya volkanik faali- yetler sırasında ısınan yeraltı sularının bazı tüflü seviyeler için- de yayılarak, tüfleri kaolenleştirdiği görülür. Eriyikler yetersiz ve pH değişiklikleri düzensiz olduğundan tabakalı kaolinize tüfler genellikle silisleşir ve çoğu zaman yıkanmayan sert kaolen yatak- larını meydana getirirler (8).

1.3. KAOLENLERİN KULLANIM ALANLARI VE ARANAN ÖZELLİKLER

Bir çok endüstri dalında kullanım alanı bulan kaolenin en fazla kullanıldığı sanayii dalı kağıt sanayii olup, üretilen toplam kaolen miktarının % 60' ını teşkil eder. Diğer kullanım alanları ise miktarları ile şöyledir; % 10 seramik, % 10 lastik, % 10 ref- rakter, % 5 beyaz çimento ve % 5 boya, tıbbi ilaçlar, zirai ilaç- lar, kozmetik, tekstil, gübre, marley yer döşemeleri ve özellikle dolgu sanayiinde kullanılmaktadır (3).

1.3.1. Kağıt Sanayiinde Kullanılacak Kaolende Aranılan

Özellikler

Kağıt sanayiinde kullanılan kaolenin beyaz tabii parlaklığa

sahip, yumusak ve suda kolay daşılabilir. mürekkep emen ve kimya ca aktif olmaması istenir. Beyazlık dolgu kaoleninde %83-84, kaplama kaoleninde %87-88 olmalı tane boyutu daşılımının ho- mojen ve dolgu kaoleninde %100 ünün 325 mesh altında ve kap- lama kaolenininde 15 mikronun altında ve enaz 470 ininde 2 mikrondan küçük olmaları istenir (10).

Dünya kağıt sanayinin kullandığı bazı kaolenlerin bile- şimleri şöyledir(11).

<u>Kaolenin Bileşimi</u>	<u>Kaynağı</u>	
	<u>İngiliz Kaoleni</u>	<u>A.B.D Kaoleni</u>
SiO_2	%46.77	%45.26
Al_2O_3	%37.79	%36.89
Fe_2O_3-FeO	% 0.56	% 0.27
TiO_2	% 0.02	% 1.35
MgO	% 0.02	% 0.06
Na_2O	% 0.05	% 0.04
K_2O	% 1.49	Çok az

Ülkemizde SEKA'nın kullandığı kaolende istediği özellikler ise(11).

<u>Kimyasal Bileşim</u>	<u>Dolgu Kaoleni</u>	<u>Kaplama Kaoleni</u>
SiO_2	%45	%45
Al_2O_3	%39	%39
Diğer Özellikler:		
Kırılma indisi	1.56	1.56
Özgül ağırlık	2.58	2.58
Tane boyutu	0.5-10mikron	0.5-5mikron
Tane şekli	Tablacık	Tablacık

Kağıt üretiminde, kağıdın mürekkebi dağıtmasını önlemek ve dayanıklılık sağlamak için bir miktar alüminyum sülfat kullanılmaktadır. Bu bakımdan alümitli kaolenler kağıt sanayiinde kullanılabilir. $\approx 0.1\% \text{ SO}_3$

1.3.2.Boya Ve Plastik Sanayiinde Aranan Özellikler:

Boya ve plastik sanayiinde elektriksel direnç ve tane inceliği önem kazanmaktadır. Tane inceliği "Hegman number" esas olarak alınır. Hegman number bilhassa İngiliz boya endüstrisinde kullanılan ve öğütme inceliği 0-8 arasında değişen sayılarla ifade eden bir terimdir.

1.3.3.Seramik Sanayiinde Kullanılan Kaolenlerde Aranan Özellikler

<u>Kimyasal Bileşim</u>	<u>%</u>
SiO_2	43-73
Al_2O_3	14-38
$\text{Na}_2\text{O}-\text{K}_2\text{O}$	0,5
$\text{CaO}-\text{MgO}$	1
SO_3	1
$\text{Fe}_2\text{O}_3-\text{MnO}-\text{TiO}_2$	0.8 max
A.Z	8-14

Yukarıdaki çizelgede seramik sanayiinde kullanılacak kaolenin kimyasal bileşimi gösterilmiş olup. mineral bileşimi ise Kaolenit %40 - 70, Kuvars % 30-60, Feldispat %1-5 olarak verilmiştir. Kaolende bulunması mümkün olan karbonat, sülfat ve sülfürler pişme sırasında gaz haline geleceğinden üründe gözenek ve kabarcıklar yaptığı için, metal oksit ve sülfürler renklenmelere sebep olduklarından, mika mineralleri şekillendirme sırasında tabaka

hâlinde dizilerek gerilime ve dolayısıyla çatlamağa sebep olduklarından. filtre preslerinden tıkanmasına sebep oldukları için istenmemektedir.

Seramik sanayiinde kaolenin plastik özelliği önemlidir. Seramik çamurunun plastik hale gelinceye kadar aldığı su miktarı yüzdesine. Plastiklik sayısı denir. Kaolen de istenen plastiklik suyu %25-35 civarında olup seramik ürünlerinin elle ve tornada şekillendirilmesi için önemlidir. 1150-1300 C de pismesi istenir ve pişme renginin beyaz olması istenir.

Pişmemiş seramik ürünlerinin kuruma ve nakliye sırasında kırılıp dağılmamaları için bir kuru mukavemete sahip olmaları gerekir. bunun için Plastik kaolenin kuru mukavemeti $40-55 \text{ kg/cm}^2$ olmalıdır.(12.13)

Üretilen mamül maddelerin istenilen boyutlarda olmasını sağlamak için kuruma ve pişme küçülmelerini bilmek gerekir. Seramik sanayiinde kullanılan kaolenin, kuruma küçülmesi %5-7 olmalıdır. Ve ayrıca pişmiş mamül belli bir oran üzerinde su emmemelidir.

Seramik ürünlerinden olan elektroporselen üretiminde kullanılan kaolende Al_2O_3 içeriğinin yüksek olması, Fe_2O_3 ve benzeri oksitlerin bulunmaması istenir.

1.3.4.Beyaz çimento Üretiminde Kullanılan Kaolende Aranılan Özellikler

Beyaz çimento üretiminde renk verici Fe,Mn,Ti oksitleri ihtiva etmeyen, beyaz pisen kaolen kullanılmaktadır. İhraç edilen çimento kaolenlerinde istenen bileşim şöyledir.

Al_2O_3 %26, SiO_2 %50, $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{-Fe-MnO-TiO}_2$ %0.05, SO_3 %10 max olmalıdır(11).

1.3.5.Refrakter Malzeme Üretiminde Kullanılacak Kaolende
Aranan Özellikler (11).

Üretilecek Malzemenin Cinsi	
Kalsine Hammaddelerin	Genel Araç
Bileşimi	Ürünleri
Al_2O_3	%30-34
Fe_2O_3	%3
TiO_2	-
Na_2O-K_2O	-
Refrakterleşme	1670-1710 C
Sıcaklığı	

1.4.KAOLEN REZERV VE ÜRETİMİ

1.4.1 Dünya

Dünya Kaolen yatakları ve rezervleri şöyledir(7).

Amerika Birleşik Devletleri, toplam 1 milyar ton kaolen rezervine sahiptir. İyi Kaliteli rezervleri 100-200 milyon ton arasındadır. Kaolen yatakları Georgia, Güney Carolina, Texas, Alabama California, Florida, Idaho. Kuzey Carolina, eyaletlerinde bulunmaktadır.

İngiltere dünyada en çok kaolen üreten ve ihraç eden ülkeler arasındadır. En önemli kaolen yatağı, granitlerin kasite-rit filonları boyunca kaolenleştiği Cornwall bölgesindedir.

Rusya'da reziduel, hidrotermal ve sedimanter kökenli yataklar bulunmaktadır. Bu yataklar Ural dağlarında, Batı Sibirya'da

ve Güney Rusyada toplanmaktadır. Prosyanovskinin rezervi yaklaşık 160 000 000 ton civarındadır.

Meksika'da, riyolitin hidrotermal alterasyonu sonucu oluşan kaolen yatakları 500 milyon ton rezerve sahiptir. Meksika kaolenleri kaplama ve kâğıt sanayinde kullanılmaya elverişlidir.

50 milyon ton rezerve sahip olan Brezilya kaolenleri, granit pegmatit ve diğer kristalin kayalara bağlı olarak bulunmuştur.

Çekoslovakya. Doğu Avrupa'da en çok kaolen üreten ülkelerdendir. Kaolenler yüksek kaliteli olup yaklaşık 1 milyar ton rezervi sahiptir.

Doğu Almanya'da primer ve sekonder kaolen yatakları rezervlerinin 100 milyon ton civarında olduğu sanılmaktadır.

Fransanın Brittany ve Orta Fransada Central masifinde birkaç kaolen yatağı ve işletmesi vardır.

Polonya'nın granit ve gneyslara bağlı oluşmuş primer kaolen yataklarının toplam rezervi 10 milyon ton civarındadır.

İspanya'da primer ve sekonder oluşmuş kaolen yataklarının toplam rezervi 300 milyon ton civarındadır.

İranda 15 milyon ton rezerv bulunmaktadır.

Japonya kaolen yatakları, granitlerden oluşmuştur. Ve toplam rezerv 5-20 milyon ton civarındadır.

Kıta Çin'indeki "Kaoling" sıradağları bugünde porselen sanayinin merkezidir. Buradaki kaolenlerin ana kayacı granit ve pegmatitlerdir.

Dünya Kaolen Üretimi (ton) (14)

Ülkeler	1981	1982
Amerika	6 949 472	6 362 000
Arjantin	67 000	84 000
Doğu Almanya	--	220 000
Batı Almanya	--	370 000
Avusturya	79 214	77 000
Avustralya	170 472	254 000
Belçika	120 000	130 000
Bulgaristan	221 000	248 000
Brezilya	469 757	418 000
Cezayir	19 000	17 000
Çekoslovakya	508 000	550 000
Çin	-	60 000
Endonezya	80 000	80 000
Ethyopya	9 000	22 000
Fransa	402 000	36 400
Güney Afrika	150 003	128 000
Hindistan	505 745	132 000
İngiltere	2 629 000	2 421 000
İspanya	189 990	89 000
İran	100 000	175 000
Kore	223 424	218 000
Japonya	153 544	150 000
Mısır	32 113	32 000
Meksika	207 824	205 000
Malezya	44 084	441 000
Macaristan	60 000	55 000
Polonya	43 207	52 000

Portekiz	107 968	63 000
Paraguay	70 000	61 000
Peru	6 000	4 000
Pakistan	40 000	44 000
Romanya	90 000	90 000
Rusya	2 500 000	2 900 000
Türkiye	44 795	38 000
Taiwan	90 836	96 000
Tayland	14 086	20 000
Yeni Zelanda	49 300	24 000
Yunanistan	45 467	55 000
Yugoslavya	224 790	220 000
Venezuela	65 000	72 000

1.4.2.Türkiye

Bu güne kadar, ülkemizin kaolen potansiyelini tam anlamıyla ortaya çıkaracak etüdler yapılamamıştır. M.T.A. tarafından şimdiye kadar çeşitli bölgelerde, prospeksiyon ve edüdlerle görünür ve muhtemel rezervler tespit edilmiş ise de, bunlar genellikle "isletilebilir ekonomik rezerv" i ifade etmemektedir. (15)

Türkiye Kaolen Yatakları Rezervleri

<u>İL</u>	<u>MEVKİ</u>	<u>MIKTAR(ton)</u>	<u>REZERV CİNSİ</u>
Amasya	Merzifon	1 000 000	Mümkün
Artvin	Yusufeli	300 000	Muhtemel
Balıkesir	Düvertepe	80 000	Görünür
Bilecik	Esiriköy	5 000 000	Jeolojik
	Küreköy	1 000 000	Gör-Muhtemel
	Çaltıköy	576 000	Mümkün

<u>İL</u>	<u>MEVKİ</u>	<u>MIKTAR(ton)</u>	<u>REZERV CİNSİ</u>
Bingöl	Kurudereköy	60 000	Jeolojik
Bolu	Gerede	485 000	Muhtemel
	Yeniçağ		
Çanakkale	Camdere	300 000	Görünür
Eskişehir	Mihallıççık		
	Ahırözü	2 000 000	Görünür
	Üçbaşı	186 622	Potansiyel
	Çamdan	404 490	Gör-Muhtemel
	Ayının tepe	1 091 530	Muhtemel
İstanbul	Arnavutköy	8 800 000	Muhtemel
	Boğazköy	1 890 000	Muht-Mümkün
	Şile-Beykoz	87 000 000	Gör -Muhtemel
Kütahya	Dumlupınar		
	Akörenköyü	71 000	Gör-Muhtemel
	Gevrekseydi	1 193 200	Gör-Müm-Muhtemel
Nevşehir	Avonoz	1 180 000	Gör-Muhtemel
Uşak	Karaçayır	320 000	Gör-Muhtemel

Türkiyedeki kaolen üretimi ise, ocakların büyük bir kısmı özel sektör tarafından işletilmekte olduğundan üretim miktarları kesin olarak bilinmemektedir. Ayrıca, bu konuda yeterli istatiki bilgi mevcut olmadığından toplam üretim miktarı kesin olarak belirlenememektedir. D.P.T. ye göre 1983 Mayıs ayı Maden İhracat bültenine göre ihracat şöyledir (15).

1982 Ocak-Mayıs

1983 Ocak-Mayıs

Ton

Ton

81

41.5 olarak belirtilmiştir.

1.5.KAOLENLERİN ZENGİNLEŞTİRİLMESİ

Primer yataklarda bulunan kaolenlerin ana kayacın unsur - larını bol miktarda ihtiva etmeleri cevher hazırlama işlemlerini zorunlu kılmaktadır. Kaolenlerin zenginleştirilmesinde amaç kaolenlerde bulunan çeşitli mineralleri ve dolayısıyla istenmeyen saf-sızlıkları ayırmaktır.

Kaolen ile birlikte bulunması mümkün olan mineralleri ve kaolen üzerinde etkilerini aşağıdaki gibi özetlemek mümkündür (7,12,16).

a-Kuvers: Plastisiteyi azaltır. Kuruma ve pisme çekmesini, kopya ve kırılma mukavemetini, refrakterliği azaltır.

b-Alümina: Kaolende mikalar hidrobiyotit, hidromuskovit halinde bulunur. Bunun yanında diğer alüminyum silikatlar, mikalar plas-tikliği azaltırlar.

c- Kaolende bulunan demir bileşikleri, rengi değiştirirler, refrakterliği azaltırlar. pişmiş üründe renkli lekeler meydana getirirler.

d- Kaolende bulunan başlıca alkaliler. mineral yüzeyinde bulunan kasyonlar, potasyum sülfat, sodyum sülfat gibi tuzlar, refrakterliğ ve camlaşma sıcaklığını azaltır.

e- Titan mineralleri de Rutil ve anataz olarak bulunurlar.

Cevheri oluşturan minerallerin özellikleri ve boyutlarına göre zenginleştirme yöntemleri farklı olmaktadır . En çok uygulanan zenginleştirme yöntemleri boyuta göre sınıflandırma ile flotasyon ile zenginleştirme, selektif flokülasyon ile zenginleştirme , manyetik ayırma ile zenginleştirmedir.

1.5 1.Boyuta Göre Sınıflandırma İle Zenginleştirme

Mineralin kırılış şekli, dilinim gibi yapısal özelliklerine bağlı olarak farklı büyüklük ve şekilde kırılmaları esasına dayanan

bir zenginleştirme yöntemi olup, özellikle kil mineralleri açısından önemli uygulama alanı olan ve çok uygulanan bir yöntemdir.

Kaolenin, kırma ve dağıtma işlemleri esnasında cevheri oluşturan diğer minerallere nazaran daha küçük boyutlara inmesi bu yöntemin dayandığı en önemli özelliktir.

Bu yöntemin en çok karşılaşılan uygulaması yıkama ve dağıtma tane serbestleşmesi açısından yeterli olduğu halde bazı sert kayaç şeklindeki cevherlerde kırma ve öğütme işlemleride gerekli olmaktadır. Dağıtma işlemlerinde kullanılan aygıtlar, pervaneli ve basınçlı su ile çalışan dağıtıcılardır. Bu işlemten sonra boyutlandırıcı olarak iri boyutlarda (0,5 mm üstünde) elekler, ince boyutlarda (0,5 mm altında) ise hidrosiklonlar kullanılmaktadır. Boyuta göre sınıflandırma cevheri oluşturan mineral sayısına ve boyutlarına göre tek ve çok kademede gerçekleştirilmektedir (17). Bu çeşit zenginleştirme yönteminde genellikle cevhere uygulanan işlemler sırası ile şöyledir.

Kırma-Eleme

Öğütme-Klasifikasyon

Yıkama ve Dağıtma

Susuzlandırma ve Kurutma

1.5.2.Flotasyon İle Zenginleştirme

Çok ince tane büyüklüğünde ayrılması mümkün olan minerallere tatbik edilen bir zenginleştirme yöntemidir, Flotasyon yöntemi, gravite yöntemi ile zenginleştirilmeleri mümkün olmadığı için kıymesiz kabul edilen, pek çok düşük dereceli veya kompleks yapıları cevher yatağının işletilmesini mümkün kılacak madencilik endüstrisinin gelişmesine yol açmıştır. Bu yöntemde, mineralin yoğunluğu ve bunun gibi fiziksel özellikleri etkin olmayıp, ayırmada mineral yüzeylerinin fiziko-kimyasal özellikleri ve ara yüzeylerinin

durumu önemli rol oynamaktadır. (18)

Metalik olmayan minerallerin flotasyon ile zenginleştirilmesinde etken olan faktörler. pülp'teki katı oranı, pH. flotasyon zamanı, suyun sertliği ve şlam oluşumudur. (19,20)

Pülp'teki katı oranı:

Bir çok metalik olmayan minerallerin flotasyonunda pülp'te katı oranı %5-35 arasında değişmekte, ancak ortalama değer %15 katı olmaktadır. Anyonik ve katyonik devreler arasında katı oranları çok az farklılık gösterirler. Ancak temizleme kademesinde anyonik devreler de katyoniklere nazaran daha yüksek katı oranında çalışılır.

pH Sınırı:

Anyonik ve Katyonik devrelerde farklılıklar gösterir. Yağ asitleri nötr ve alkali ortamda, petrol sülfanatları asit ve nötr ortamda, amin tipi kollektörler ise asit ortamda daha tesirlidirler.

Flotasyon Zamanı

Anyonik kollektörler, katyonik kollektörlere nazaran daha uzun flotasyon zamanı isterler. Genelde katyonik devrelerde zaman 2-5 dakika arasındadır.

Suyun Sertliği:

Reaktif sarfiyatını arttırması ve seçiciliği önlemesi açısından önemlidir.

Yumuşak su kullanmak genellikle ekonomik sonuçlar vermektedir. Bunun yanında devrelerde kullanılan suyun tekrar kazanılmasının reaktif sarfiyatını azaltmak yönünden ekonomik sonuçlar vereceği şüphesizdir.

Şlam oluşumu:

Kil minerallerinin flotasyonunda şlam problemi ile karşılaşılır.

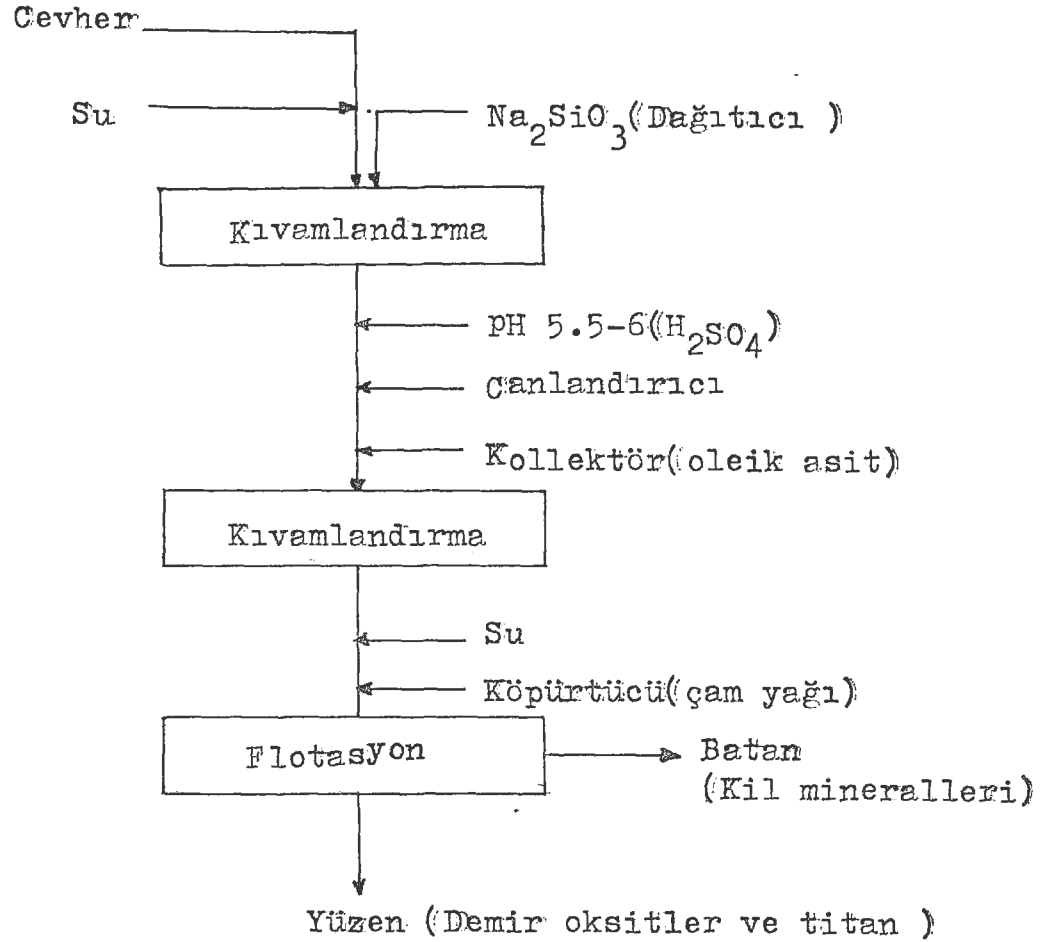
Kil minerallerin yüzeyi suda kolaylıkla ıslanır. Yüzdürülmeleri kolaydır. fakat slam sebebi ile kollektör sarfı fazla olur (18).

1.5.2.1.Çesitli Safsızlıklardan Arındırılması

Kaolende mevcut safsızlıkların arındırılmasında en çok uygulama alanı bulan flotasyon şekilleri, köpük flotasyonu, taşıyıcı mineral flotasyonu, yağ flotasyonu, iki-sıvı ayırımı veya emülsiyon flotasyonudur.

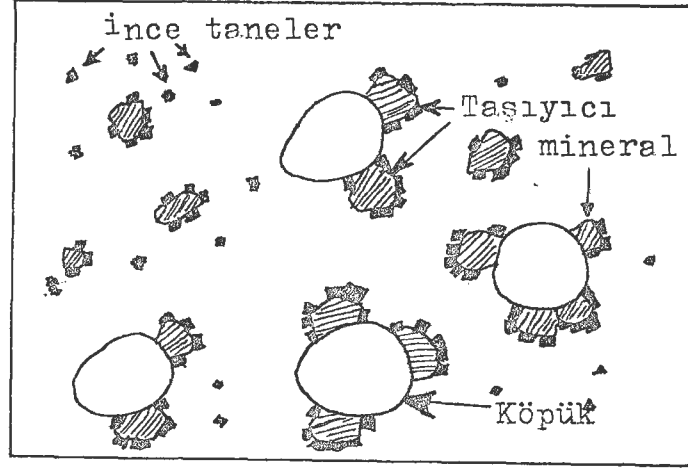
Bilindiği gibi köpük flotasyonu. ortama verilen kimyasal maddelerle yüzdürülmesi istenen mineral yüzeylerinin ıslanmaz duruma gelmelerine ve hava kabarcıklarına yapışmasına. diğer mineral yüzeylerininde suyla ıslanıp batmasına dayanan fiziko-kimyasal bir işlemdir (18).

Köpük flotasyonunda, mevcut çeşitli safsızlıklar (demiroksitler ve Titan mineralleri gibi) yüzdürülerek. kaolenin bastırılması en fazla tercih edilen yoldur. Cevherde bulunan safsızlıkların yüzdürülmesinde karşılaşılan güçlüklerin basında kaolenin ters işaretli diğer mineral yüzeylerini kaplaması (slam kaplama) gelmektedir. Bu durumda dağıtma ve kaolenin bastırılması için etkili tedbirlerin alınması gereklidir. Dağıtma ve bastırmada kullanılan reaktifler Kalgon (sodyum heksametafosfat) Na_2SiO_3 , Na_2CO_3 tır. Anyonik kollektörler kullanılarak (demiroksitler ve titan mineralleri) yüzdürme sağlanır. pH ayarlayıcı olarak ise H_2SO_4 ve NaOH kullanılmaktadır.



ŞEKİL.1. Kil Minerallerinin Köpük Flotasyonu ile Zenginleştirilmesi.

Kaolen'lerin anatas (TiO_2) dan arındırılmasında uygulanan diğer bir flotasyon şekli de taşıyıcı mineral flotasyonudur. Taşıyıcı mineral flotasyonunda, zenginleştirilmesi istenen mineral tanelerinden daha iri boyutta uygun taşıyıcı mineralin sisteme ilavesi ve taşıyıcı mineral tanelerine ilişkin ince tanelerin verimli bir şekilde beraber yüzdürülmesi söz konusudur. (21,22) Kaolen flotasyonunda taşıyıcı mineral olarak kalsit kullanılmaktadır. Diğer taraftan barit, kyanit, fluorit ve silis kumu da taşıyıcı olarak kullanılabilir.



ŞEKİL.L.2 Taşıyıcı mineral (Carrier Mineral)
Flotasyonunun şematik gösterilişi

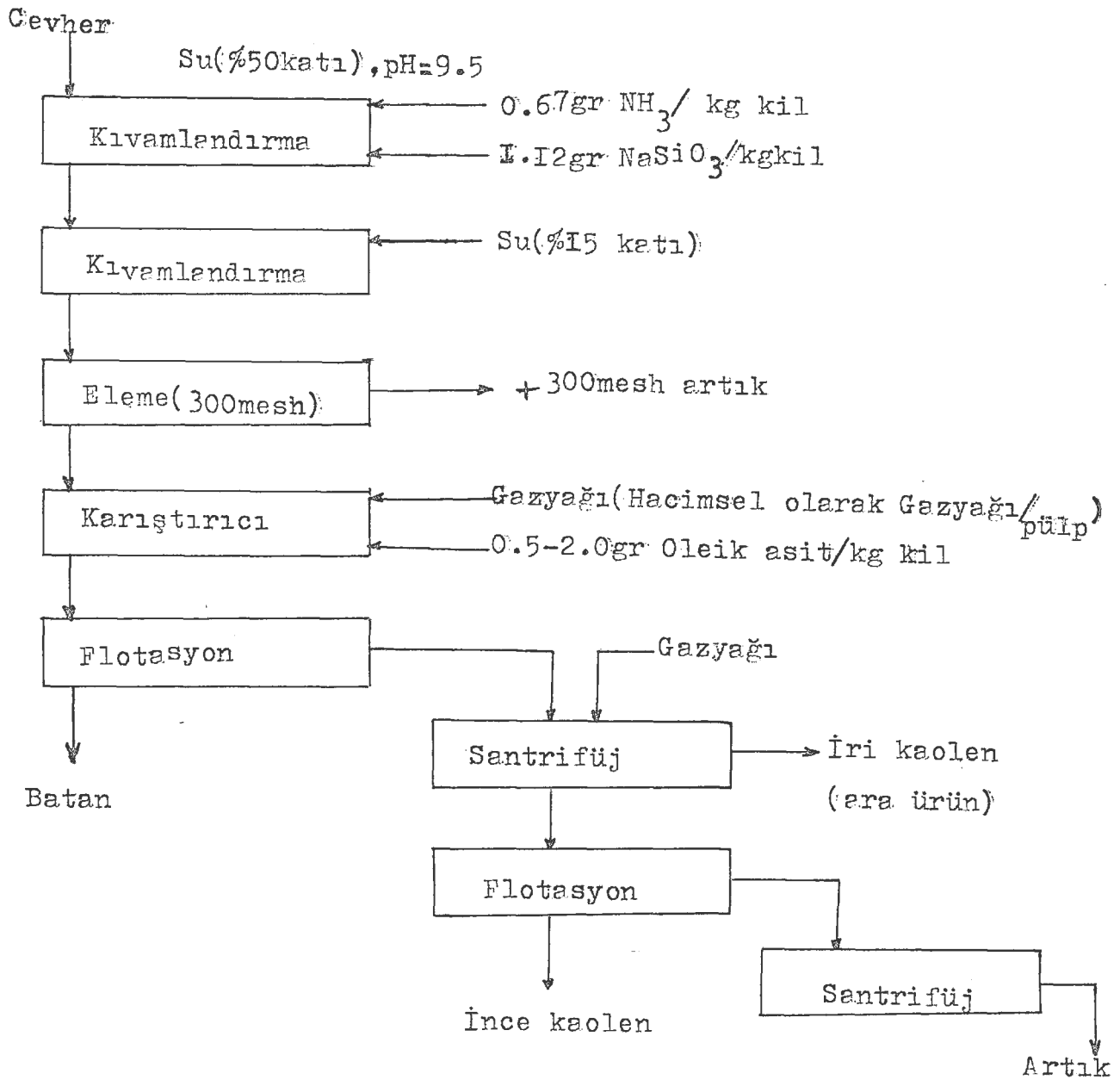
Anyonik toplayıcı oleik asit kullanılarak, taşıyıcı mineral kalsit ve yüzeylerine ilişen çok ince anatas tanelerinin beraber yüzdürülmesi ile kaolenin safsızlıklardan arındırılmasında etken olan değişler. Oleik asit miktarı, pH, kıvam zamanı ve ısı, taşıyıcı mineral miktarı ve boyutudur.

Kaolenler yağ flotasyonu ile de anataz bileşimindeki safsızlıklardan ve diğer safsızlıklardan arındırılırlar. Yağ flotasyonunun köpük flotasyonu yönteminden ayrıldığı tek özellik mineral tanelerinin hava kabarcığı yerine suda-çözünmeyen sıvı-yağ damlalarına yapışmasıdır.

Diğer taraftan bu yöntem sıvı-sıvı veya iki sıvı flotasyonu adıyla da tanımlanmaktadır.

Laboratuvar ve pilot tesis çalışmaları bir çok uygulama alanı bulan yağ flotasyonu özellikle çok ince boyutlarda dağılım gösteren ve diğer flotasyon yöntemleri ile iyi sonuç alınamayan kil minerallerinin safsızlıklardan arındırılması işlemlerinde etkili bir şekilde uygulanmaktadır. Emülsiyon flotasyonunda mekanizma olarak aynıdır.

Pilot tesis düzeyinde İngilizChina Clay Ltd.şirketinde yapılan çalışmalarda 5 μ altındaki kaolen'lerin çeşitli safsızlıklardan arındırılmasını gösteren akım şeması ŞEKİL.3de görülmektedir.



ŞEKİL.3.Kaolenlerin safsızlıklardan arındırılması amacıyla pilot tesis düzeyinde English Chine Clay şirketinde yapılan yağ flotasyonu akım şeması

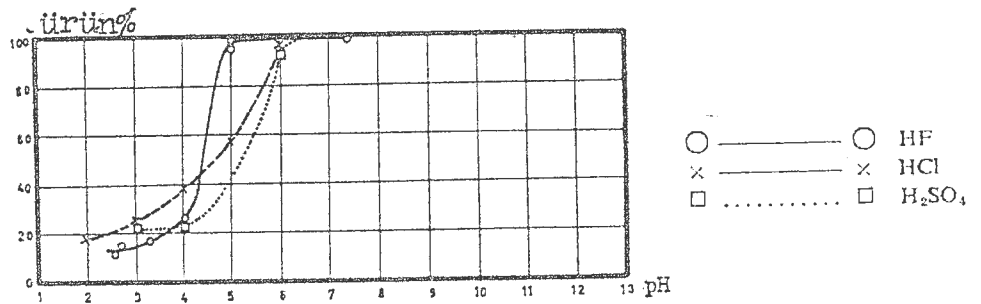
1.5.2.2. Kaolen'in Kuvars'dan Arındırılması

Genellikle büyük oranda kuvars içeren ve ince boyutlarda dağılım gösteren cevherlere uygulanan yoldur.

Kaolen bir çok endüstrilerce aranan bir hammadde olduğundan flotasyonu önemlidir. Cevherler ince boyutlarda dağılım gösterdiklerinden Özgül yüzey alanlarının çok büyük olması fazla toplayıcı reaktif tüketimine sebep olmaktadır. Şlam atılması verim kaybına yol açtığından tercih edilmez.

Kaolenin sabit negatif yüzey yüküne sahip olduğu, silikatların büyük çoğunluğunun S.Y.N (sıfır yük noktası) nın pH=2-5 arasında değiştiği ancak kuvarsın S.Y.N sı pH=2-2,5 civarında olduğu dikkate alındığında katyonik toplayıcılarla kaolen kuvars ayırımının asit ortamda yapılabileceği anlaşılar (23)

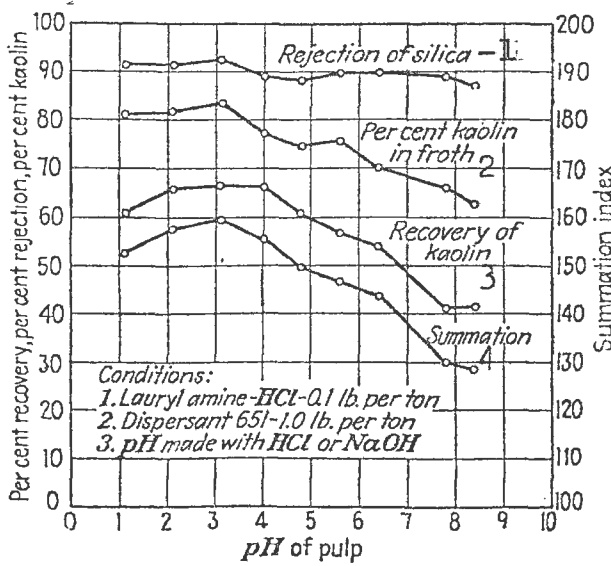
Kuvars, anyonik toplayıcılarla yüzemez, ancak Ca^{++} , Ba^{++} , Fe^{+++} , Pb^{++} ve Al^{+++} iyonları ile canlandırılarak belirli pH değerlerinde yüzdürülebilir. Katyonik toplayıcılarla hafif alkali ortamda (pH=8-10,5) kolaylıkla yüzer. Kuvars için en uygun bastırıcılar, HCL, H_2SO_4 , HF ve sodyum silikattır. Ancak bunların içinde hidroklorik asit diğerlerinden daha az bastırma etkisi göstermektedir. (24,26)



ŞEKİL.1.4. Kuvarsın HF, HCL, H_2SO_4 ile Bastırılması (24).

Kellogg. H,H tarafından çok ince boyutlu (2.5 mikron) dağılılı gösteren yüksek silisli kaolenlerde katyonik toplayıcılar ile flotasyon denemeleri yapılmıştır. Bu denemeler sonucunda Lauryly Amin hidroklorür kaolenin kuvarstan flotasyonu için uygun bir kollektör olduğu bulunmuştur.

pH 3 civarında çalışılmıştır. Bu deneylerde kuvarsasid ilavesiyle bastırılmıştır. Yazar tarafından yapılan çalışmalar L.AmHCl solusyonunda Kuvarsın kontakt açısının 0 derece olduğunu göstermiştir. pH artıkça bu kontakt açısıda artmaktadır. Böylece şekildeki eğrilerde de görüldüğü gibi en iyi flotasyonun asidik ortamda olduğu kanıtlanmıştır. (25)



- 1) Artıkta kalan silika %,
- 2) Köpükteki kaolin % si,
- 3) Kaolin verimi,
- 4) Toplam.

Şartlar :

- 1) L.Amin-HCl-0.116 lb.pn.
- 2) Dağıtıcı 651-1.0 lb.pn.
- 3) pH ayarı HCl veya NaOH.

ŞEKİL : 1.5

Bu flotasyon deneylerinde dağıtıcı olarak sodyum lignin sülfanat (American Cynamid reaktifi) kullanılmış ve kuvars içermeyen saf bir kaolen elde edilmiştir. (25)

1.5.3. Selektif Flokülasyon ile Zenginleştirme

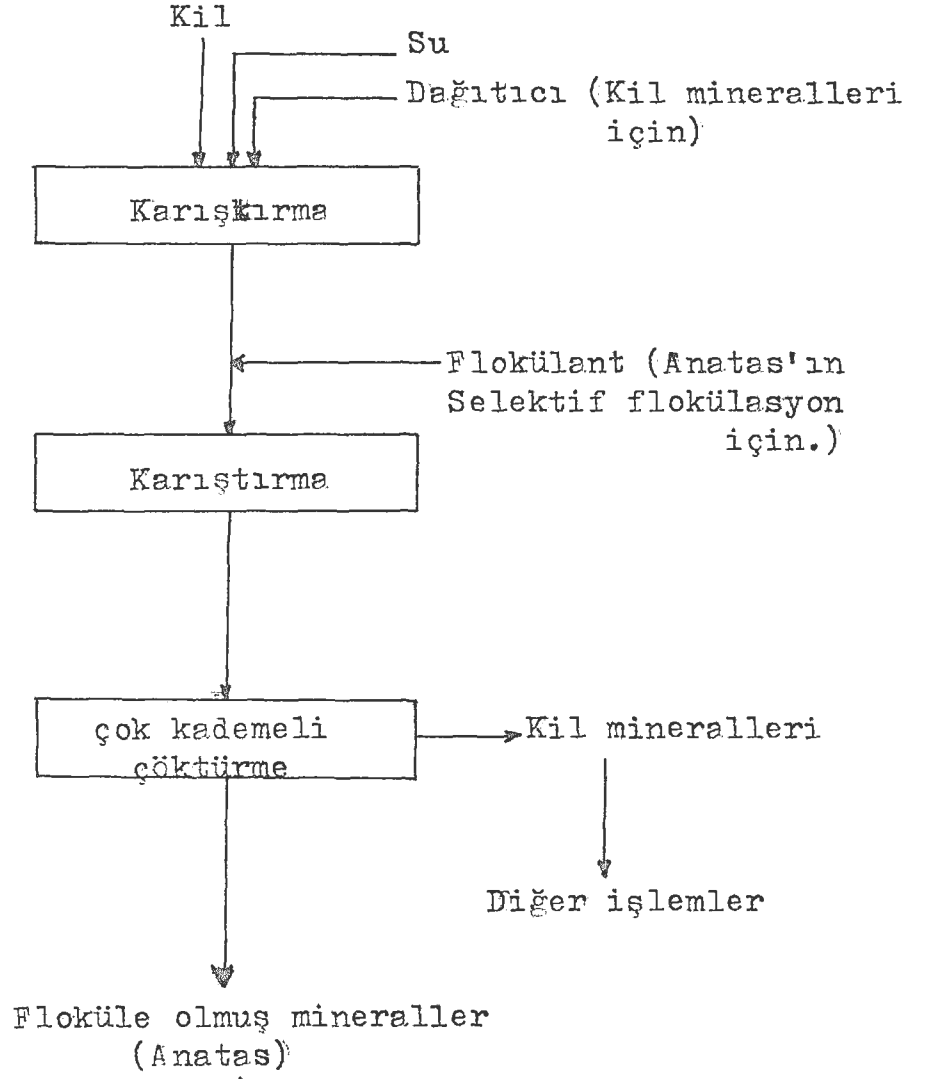
İnce öğütülmüş mineral taneleri ile suyun meydana getirdiği süspansiyonlarda minerallerin birbirine yapışarak büyük parçalar meydana getirmelerine salkımlasma denir.

Sentetik. suda çözünen ve yüksek molokül ağırlığına sahip organik polimerler ile mineral yüzeyleri arasında köprü oluşturarak meydana getirilen salkımlasmaya ise flokülasyon denmektedir (18).

Sulu süspansiyonlarda tek bir cins mineral tanelerinin polimerler yardımıyla diğer cins mineral tanelerine nazaran daha büyük flok'lar oluşturmaları selektif flokülasyon olarak tanımlanmaktadır.

Herhangi bir selektif flokülasyon işleminde birinci kademe. sulu süspansiyon içindeki tanelerin mekanik veya ultrasonik karıştırma ile iyonik yapı ve ortamın pH'sına göre uygun organik veya inorganik reaktiflerin ilavesiyle dağıtılmasıdır. Daha sonra uygun polimerler kullanmak suretiyle belirli mineral taneleri arasında köprü oluşturularak selektif flokülasyon sağlanır (21).

Kaolenlerin selektif flokülasyon yardımıyla çeşitli sızlıklardan ayrılması mümkündür. Kaolenlerin anatas minerallerin selektif flokülasyonu, kaolenlerin ise dağıtılması gerekir. Dolayısıyla daha büyük floküller oluşturan anataz flok'larının kaolen'e nazaran daha yüksek çökme hızlarından yararlanılır. Kaolenlerin dağıtılmasında en çok tetrasodyum pirofosfat veya sodyum hekza metafosfat (kalgon) kullanılır. (21)



ŞEKİL:1.6Kaolen'lerin anatas'dan arındırılması için basit bir selektif flokülasyon akım şeması.

1.5.4. Manyetik Ayırma İle Zenginleştirme

Farklı manyetik duyarlıktaki mineral tanelerinin uygun bir manyetik alan içinde, manyetik. sürtünme yerçekimi ve merkezkaç kuvvetlerinin bileşik etkilerine dayanılarak birbirinden ayrılması yoluyla gerçekleştirilen zenginleştirmeye manyetik ayırma denilmektedir. (17)

Kaolenin. demir ve titan içeren çeşitli safsızlıklardan arındırılması işleminde yüksek alan şiddetli yavaş manyetik ayırıcılar ile 20 000 gauss alan şiddeti ile bir mikrondan daha küçük düşük manyetik duyarlılıklı safsızlıkların ayırımı yapılabilir (21)

2.HİSERSAN A.Ş. KAOLEN TESİSİ

2.1. YERİ

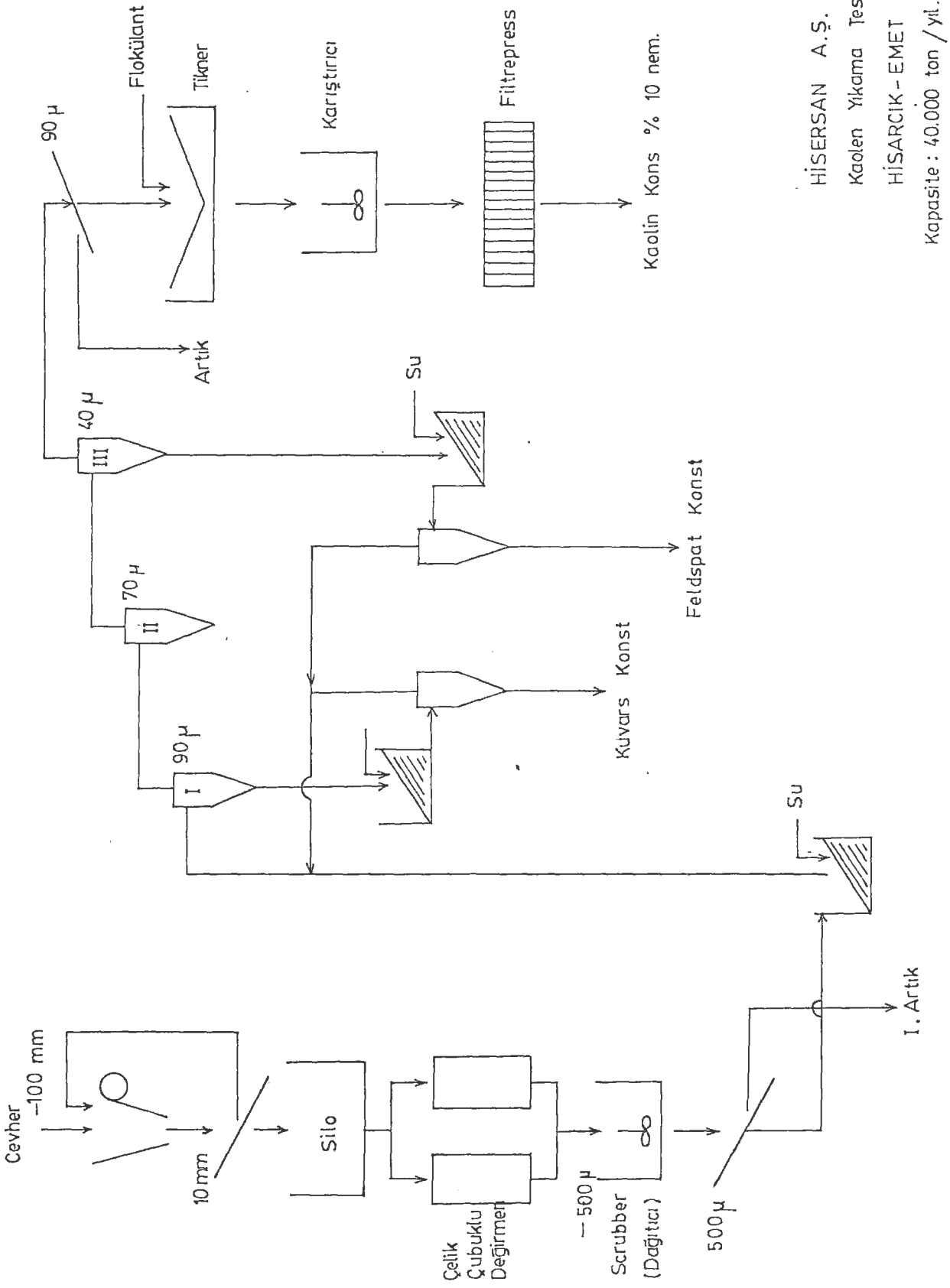
Hisersan A.Ş. Kaolen yıkama tesisi Kütahyanın Emet ilçesine bağlı Hisarcık nahiyesine 2 km uzaklıkta kurulmuş bir tesis-tir. 1978 yılında özel kuruluşlar ve tüzel kişilerin ortaklığı ile kurulmuştur.

2.2 TEKNOLOJİK ÖZELLİKLER

Hisersan A.Ş. Kaolen tesislerinde. boyuta göre sınıflan-dırma (Hidrosiklon) yoluyla kaolen konsantresi eldi edilmektedir. Tesis yılda 40 000 ton kaolen cevheri işleyecek bir kapasiteye sahiptir.

Emet-Ulaşlar (Kod No EU-1) ocağından gelen 100 mm altındaki cevher çeneli kırıcıda 10 mm altına indirilmekte ve siloya gitmektedir. Silodan gelen cevher çelik cubuklu değirmenlerde 0,5 mm altına indirilir. Ve buradan bir karıştırıcıya gelir. 0,5mm boyutlu elekten geçer.Elek üstü birinci artık olarak atılır. Elek altı ise bir dizi hidrosiklona giderek , Kuvars, Feldspat ve Kaolen konstreleri elde edilir. Kaolen Konsant-resi filtrepreslerden geçmekte ve %10 nem içermektedir.

Elde edilen kaolen ile çevre illerdeki seramik fabri-kalarının hammadde ihtiyaçlarının karşılanmasına çalışılmaktadır.



ŞEKİL 2.1 HİSERSAN A.Ş. Kaolen Yıkama Tesisinin Akım Şeması

HİSERSAN A.Ş.
Kaolen Yıkama Tesis
HİSARCIK - EMET
Kapasite : 40.000 ton / yıl.

2.3. NUMUNELERİN ALINIŞI

Hisersan A.Ş. Kaolen tesislerinde birinci artık olarak atılan ürün, Anadolu Üniversitesi Müh. Mim. Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümü Cevher Hazırlama Laboratuvarına getirilmiştir. Getirilen numuneler uygun şekilde harmanlama ve bölme işlemleri ile kimyasal analizlere ve daha sonraki zenginleştirme işlemlerine hazır duruma getirilmiştir.

2.3.1. Kimyasal Analizler

Max tane boyutu 0,5 cm olan örnekten numune bölücü ile temsili numune alınmış ve komple kimyasal analiz yapılmıştır.

Komple kimyasal analizler ve diğer tüm işlemlerdeki analizlerde gravimetrik, volumetrik ve aletli analiz (klorimetre, fleym fotometre) yöntemleri uygulanmıştır.

Numuneye $\text{Na}_2\text{CO}_3\text{-NH}_4\text{Cl}$ eritisi yapılarak çözeltiye alınmış, gravimetrik yöntemle SiO_2 , Al_2O_3 , MgO , volumetrik yöntemle CaO , Kalorimetrik yöntemle Fe_2O_3 tayinleri yapılmıştır. Na_2O , K_2O tayini için numune HF ile (teflon krozed) buharlaştırılıp (1/1 lik) HCl ile çözeltiye alınmış ve fleym fotometrede okuma yapılmıştır.

Laboratuvara getirilen numunenin komple kimyasal analizi ÇİZELGE 2.1 de görülmektedir.

ÇİZELGE 2.1. Alınan Numunenin Komple Kimyasal Analizi

Madde	% Miktar
SiO ₂	66.20
Al ₂ O ₃	17.60
Fe ₂ O ₃	3.50
Na ₂ O	0.07
K ₂ O	0.09
CaO	3.82
MgO	5.72
AZ	
Toplam	100.00

2.3.2 Tane Serbestleşmesi

Tane serbestleşmesi, tane sayımı ve zenginleştirme yöntemi ile saptanmıştır.

Tane sayımı yönteminde tanelerin renk olarak birbirlerine benzemeleri ve kuvars tane yüzeylerinin kaolenle kaplı olması nedeniyle yapılan tane sayımı sonuçları sağlıklı olarak saptanamamıştır. Bu nedenle zenginleştirme yöntemi ile serbestleşme boyutu saptanmıştır.

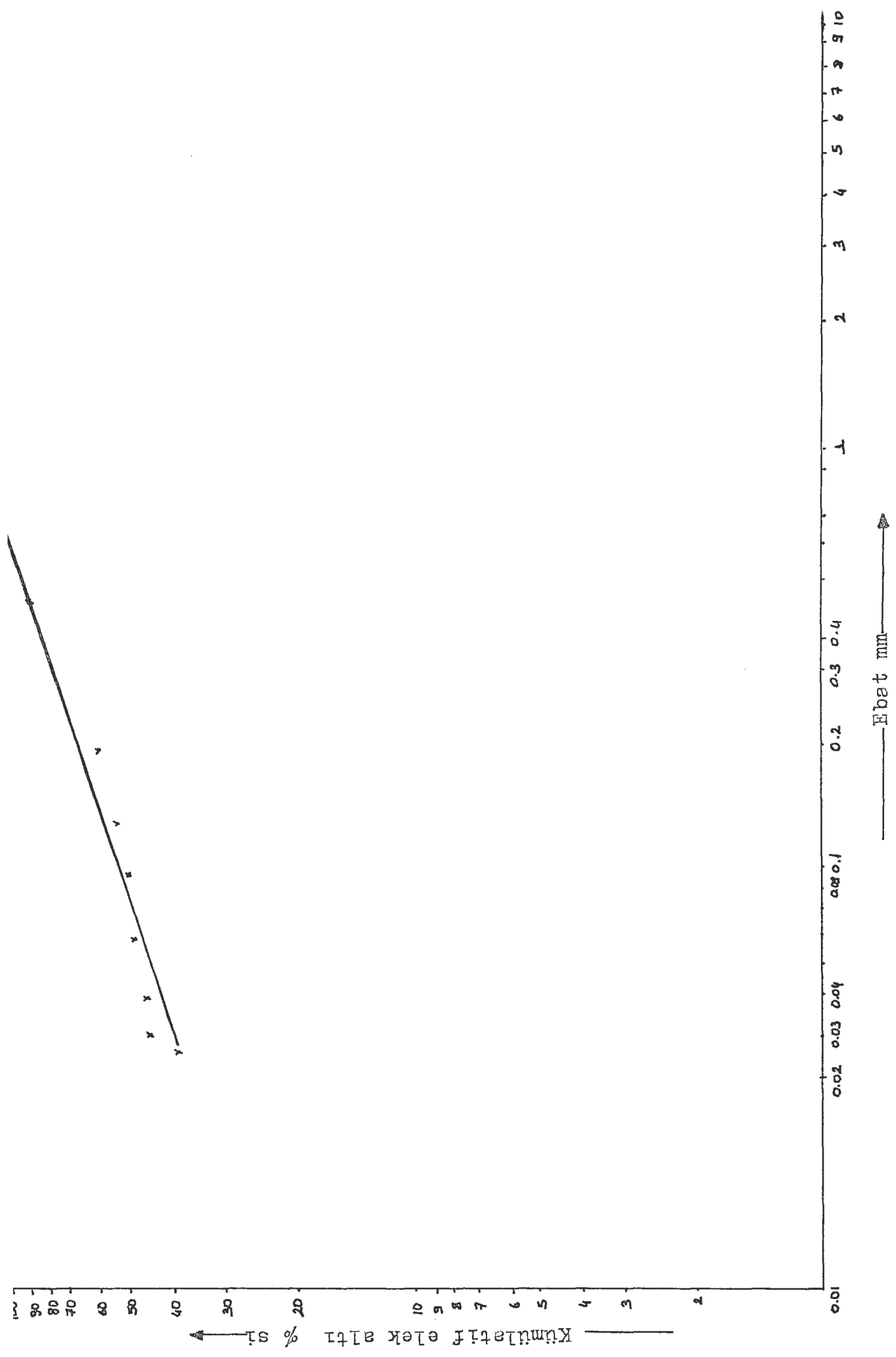
Bu yöntemde alınan temsili numuneler değişik boyutlara indirilerek her numune için flotasyonla zenginleştirme deneyleri yapılmıştır. Tenör ve verim açısından en iyi sonuçlar 0,105 mm altındaki boyutta elde edildiğinden, serbestleşme boyutu 0,105 mm olarak saptanmıştır.

2.3.3. Elek Analizleri

Alınan temsili numune önce %50 katı yoğunluğunda %10 luk Na_2SiO_3 (1000 gr/ton) ilave edilerek yarım saat süre ile karıştırıcıda dağıtılmış, ve elek analizi yapılmıştır. Elek analizi Çizelge 2.2 de ve elek eğrisi Şekil 2.2 de gösterilmiştir.

ÇİZELGE 2.2. Hisersan Kaolen Yıkama Tesisinden Alınan
Örneğin Elek Analizi

Boyut (mm)	%Miktar	Küm. Elek üstü %	Küm. Elek Altı %
+0.420	19.6	19.6	100.0
-0.420 +0.297	8.0	27.6	80.4
-0.297 +0.210	12.6	40.2	72.4
-0.210 +0.149	6.4	46.6	59.8
-0.149 +0.105	2.4	49.0	53.4
-0.105 +0.074	3.6	52.6	51.0
-0.074 +0.053	1.7	54.3	47.4
-0.053 +0.044	1.4	55.7	45.7
-0.044	44.3	100.0	44.3
Toplam	100.0		



ŞEKİL 2.2

3.HİSERSAN A.Ş. KAOLEN KAZANMA ÇALIŞMALARI

Hisersan A.Ş. kaolen tesisinde birinci artık olarak atılan artıklardan alınan numuneler üzerinde zenginleştirme ve kaolen kazanma çalışmaları yapılmıştır. Numunenin max tane boyutu 0,5 cm olup kuvars ve kaolen minerallerinden oluşmuştur. Bu iki mineralin özgül zenginleştirme söz konusu değildir.

Bu çalışmada tane boyutuna göre sınıflandırma ile ve flotasyon yöntemleri denenmiş ve kaolenin kazanılmasına çalışılmıştır.

3.1. BOYUT KÜÇÜLTME VE BOYUTA GÖRE SINIFLANDIRMA İLE ZENGİNLEŞTİRME

Laboratuvara getirilen numune, harmanlanıp konileme, dörtleme yöntemi ile bölme işlemleri yapılmış ve alınan numuneler yapılacak çalışmalar için hazır duruma getirilmiştir.

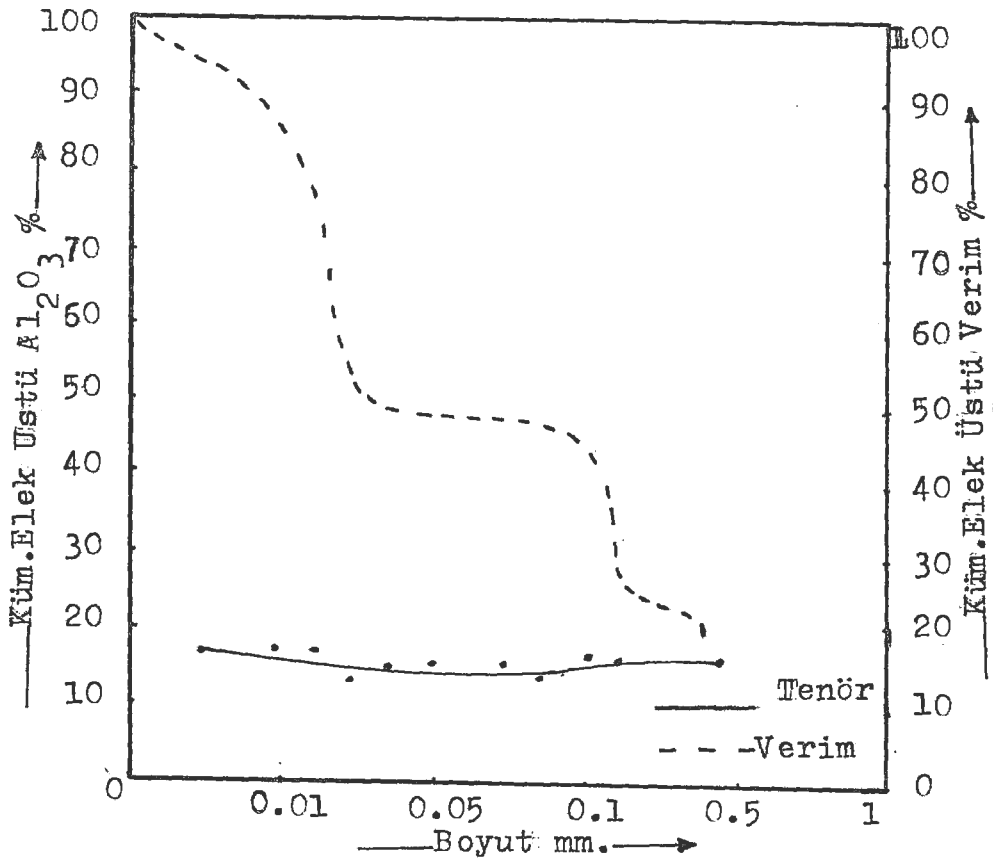
Boyut küçültme işlemlerine geçilmeden önce numuneye %10 luk Na_2SiO_3 (1000 gr/ton)ten ilave edilip yarım saat süre ile karıştırıcıda dağıtılmış, yaş eleme yapılmıştır. Ve bu boyut aralıklarında zenginleşme olup olmadığı araştırılmıştır.

Daha sonra 0,044 mm altındaki boyutta zenginleşme olabileceği düşünülerek bu boyut altında dekantasyon işlemi yapılmıştır.

Dekantasyon yöntemi ile yapılan çalışmada 1000 ml.t.lik bir beherde işlem yapıldı. Sifon derinliği $h=10$ cm. kabul edilerek çökme zamanları hesaplandı.

Tane Boyutu (μ)	Sifon Derinliği(h) (cm.)	Çökme Süresi (dk.)
30	10	2.02
25	10	3.50
15	10	7.90
10	10	18.12
5	10	72.50

Bu süreler sonunda çökme miktarları bulunmuştur. Analizle ve hesaplamalar yapılmış ÇİZELGE 3.1 ve ŞEKİL 3.1 de gösterilmiş tir.



ÇİZELGE : 3.1 Boyuta Göre Sınıflandırma Sonuçları.

Elek Boyutu mm.	Fraksiyonel %			Küm.Elek üstü % ↓		
	Miktar	Tenör	Verim	Miktar	Tenör	Verim
+0.420	19.60	16.90	18.82	19.60	16.90	18.82
-0.420 +0.297	8.00	16.20	7.36	27.60	16.69	26.18
-0.297 +0.210	12.60	15.20	10.80	40.20	16.25	36.98
-0.210 +0.149	6.40	14.90	5.41	46.60	16.07	42.39
-0.149 +0.105	2.40	14.70	2.00	49.00	16.00	44.39
-0.105 +0.074	3.60	14.30	2.92	52.60	15.88	47.31
-0.074 +0.053	1.70	13.90	1.34	54.30	15.81	48.65
-0.053 +0.044	1.40	12.40	0.98	55.70	15.70	49.63
-0.044 +0.030	2.33	14.00	1.85	58.03	15.60	51.48
-0.030 +0.025	13.49	21.50	16.50	71.52	16.70	67.98
-0.025 +0.020	6.89	20.80	8.14	78.41	17.06	76.12
-0.020 +0.015	9.34	22.03	11.69	87.75	17.58	87.81
-0.015 +0.010	4.60	13.02	3.45	92.35	17.37	91.26
-0.010 +0.005	3.86	14.50	3.28	96.22	17.25	94.54
-0.005	3.79	25.50	5.46	100.00	17.56	100.00
Toplam	100.00	17.60				

3.1.1 Öğütme Deneyleri

Tesisten getirilen numunenin boyutu küçük olduğundan boyut küçültme işlemi olarak kırmaya gerek duyulmamış, doğrudan öğütme işlemi yapılmıştır.

Alınan numuneler dört ayrı boyuta kademeli olarak öğütülmüş, tanelerin istenenden fazla incelmesini önlemek düşüncesiyle öğütülecek numune, öğütme boyutundaki elekten elenerek elek üstü öğütmeye alınmıştır. Öğütme ürünlerinde (yaş eleme ile) elek analizleri yapılmıştır. Ayrıca öğütme süreleri saptanmıştır. Bunun dışında numuneyi flatasyon tane boyutuna indirmek içinde öğütme deneyleri yapılmıştır.

Deneyler 20 cm. çaplı laboratuvar tipi çelik gövdeli değirmende yapılmış, porselen bilya kullanılmıştır. Her deneye 500 gr. numune + değirmen iç hacminin % 40 ı kadar bilya (sabit) kullanılmıştır. Değirmen hızı 60 devir/dak. dır.

Çeşitli boyutlara yapılan öğütmelere ait kademeler aşağıdadır.

0.420 mm. Altına öğütme : Öğütme süresi- 20 dak. (2+2+3+3+5+5)

0.297 mm. Altına öğütme : Öğütme süresi- 23 dak. (2+3+3+5+5+5)

0.210 mm. Altına öğütme : Öğütme süresi- 25 dak. (2+2+3+3+5+5+5).

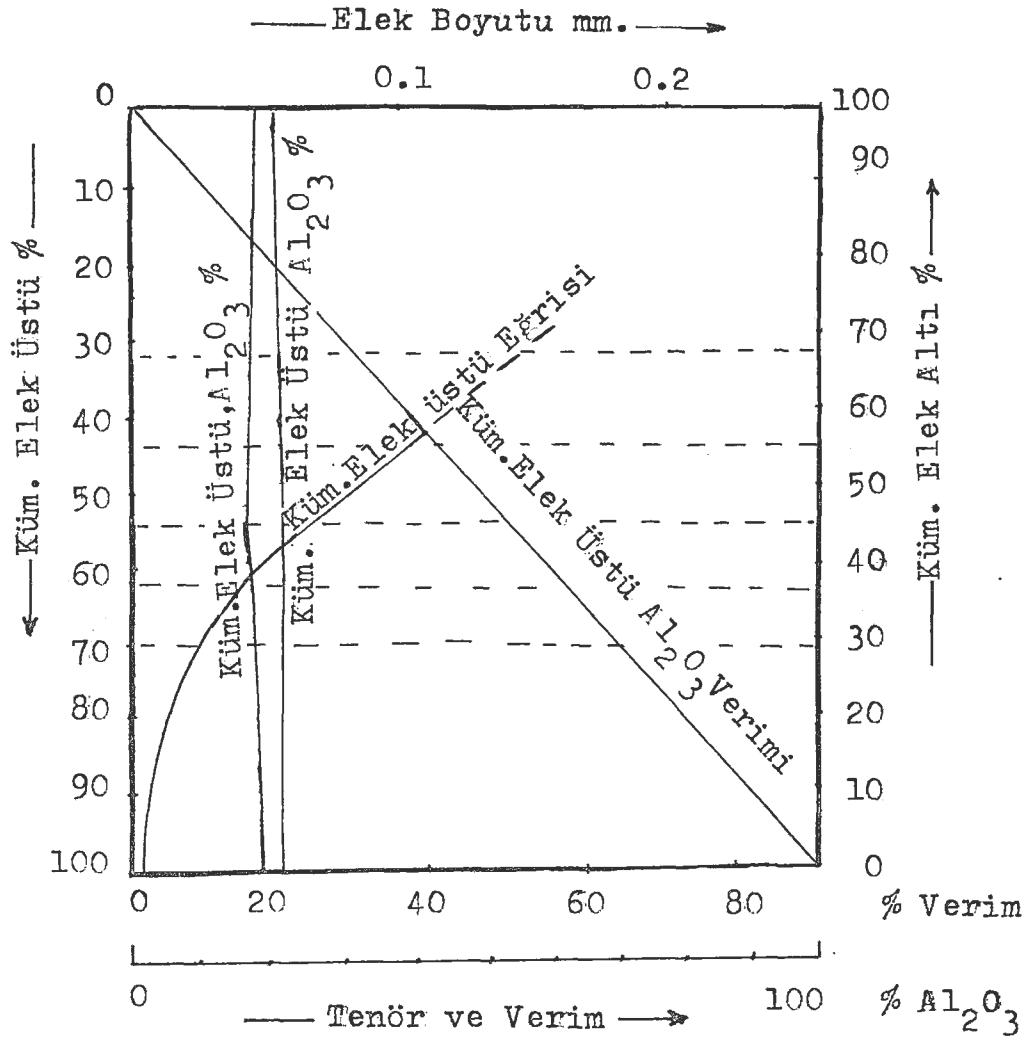
Sonuçlar - ÇİZELGE.3.2,

ŞEKİL.3.2

0.149 mm. Altına öğütme : Öğütme süresi- 30 dak. (2+2+3+3+5+5+5+5)

Sonuçlar - ÇİZELGE.3.3,

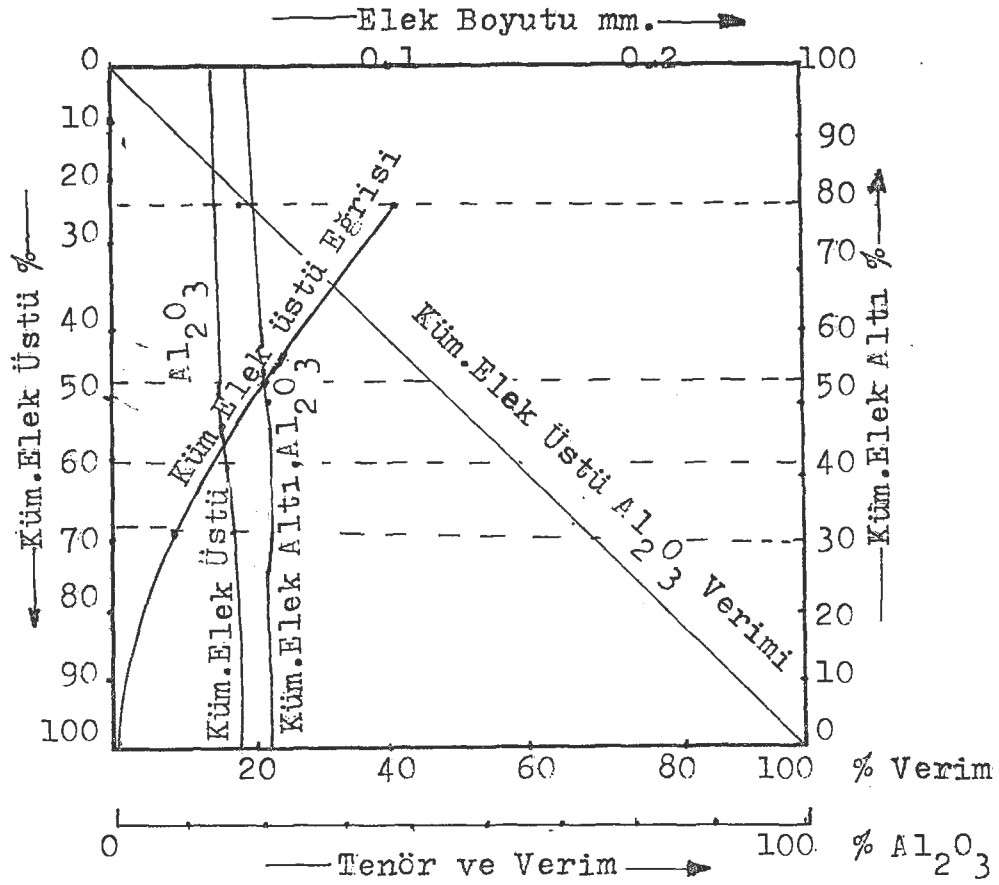
ŞEKİL.3.3



ŞEKİL : 3.2

ÇİZELGE : 3.2, 0.210 mm. Altına Öğütülmüş Cevherin Elek Analizi ve Al_2O_3 Tenör Verimi.

Elek Boyutu mm.	Fraksiyonel %			Küm. Elek üstü			Küm. Elek altı	
	Miktar	Tenör	Verim	Miktar	Tenör	Verim	Miktar	Tenör
+0.149	33.6	14.5	27.68	33.6	14.5	27.68	100.0	17.6
0.149+0.105	12.2	15.6	10.81	45.8	14.7	38.49	66.4	19.1
0.105+0.074	10.3	19.0	11.12	56.1	15.5	49.61	54.2	19.9
0.074+0.053	8.2	20.5	9.55	64.3	16.1	59.16	43.9	20.2
0.053+0.044	7.2	20.7	8.46	71.5	16.6	67.62	35.7	20.1
0.044	28.5	20.0	32.38	100.0	17.6	100.00	28.5	20.0
Toplam	100.0	17.6	100.00					



ŞEKİL : 3.3

ÇİZELGE : 3.3, 0.149 mm. Altına Öğütülmüş Cevherin Elek Analizi ve Al_2O_3 Tenör ve Verimi.

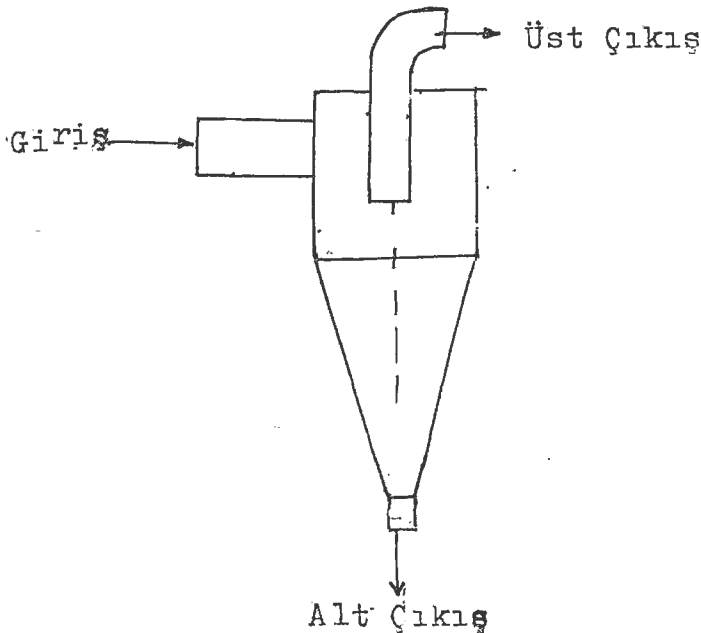
Elek Boyutu mm.	Fraksiyonel %			Küm.Elek üstü % ↓			Küm.Elek altı % ↑	
	Miktar	Tenör	Verim	Miktar	Tenör	Verim	Miktar	Tenör
+0.105	21.5	13.5	16.49	21.5	13.5	16.49	100.0	17.6
-0.105 +0.074	24.7	14.8	20.77	46.2	14.1	37.26	78.5	18.7
-0.074 +0.053	11.9	19.9	13.45	58.1	15.3	50.71	53.8	20.5
-0.053 +0.044	9.7	22.4	12.34	67.8	16.3	63.05	41.9	20.7
-0.044	32.2	20.2	36.95	100.0	17.6	100.00	32.2	20.2
Toplam	100.0	17.6	100.00					

Alınan numuneler 0.210 mm ve 0.149 mm altına öğütülmüş Al_2O_3 tenör ve verimi hesaplanmıştır. Bu boyut altına indirilmiş numunelerin elek analizleri yapılmış ve bu boyut aralıklarında bir zenginleşme görülmemiştir.

3.1.2 Hidrosiklon ile zenginleştirme

Bir klasifikatör olarak günümüzde yaygın uygulama alanı bulan hidrosiklon prensip yönünden diğer klasifikatörlerden farklıdır. Hidrosiklonda diğer etkenlere ilaveten santrifüj kuvvetten yararlanılmaktadır.

Hidrasiklon bir koni ile silindirik bir parçadan meydana gelmiştir . Bir hidrosiklonda ayırma olayı santrifüj kuvvetlerin etkisine dayanır. Siklonların çapları 10 mm' den 2.5 mikrona kadar değişebilir. Akış oranları her birim için 0.1'den 7200 m³./h. kadar, operasyon basıncı ise 35 bardan 6 bar'a kadar değişen oranlarda düşer. genellikle küçük birimler büyüklerden daha yüksek basınçlarda çalıştırılırlar. Hidrosiklonlarda ulaşılabilecek alt çıkış katı oranları % 40 veya nadiren %50' ye ulaşır, bu da siklonu boyutlarına, dizaynına, operasyon şartlarına ve ayrılacak katının yapısına bağlıdır.(27)



Modern kaolin zenginleştirme ünitelerinde artık çökertme tankları, yıkayıcı gibi araçların yerini genellikle hidrosiklonlar almışlardır. Bu araçla yapılan zenginleştirmede, santrifüj kuvvetlerin hakim olduğu bir ortamda sedimentasyona dayanır.

Hidrosiklonlar kaolenin zenginleştirilmesinde ve kuvarsın susuzlandırılmasında dünya çapında bir uygulama alanı bulmuştur. Kaolen zenginleştirilmesinde, hidrosiklonların çapı 200 mm. ile 10 mm. arasında değişir.(28)

Kaolen zenginleştirilmesinde kullanılan hirosiklonlar porselen veya vulkollan (polymer) denilen iki maldzmeden yapılırlar. Kaolen endüstrisi için porselen hidrosiklonlar özellikle uygun olarak açıklanmaktadır. Çünkü demirden tamamen serbest olduklar ve kabul edilebilir uzunlukta bir kullanım yaşamları vardır.

Hidrosiklinlarda minerallerin ayrılması sağlanan yüksek basınçlar ile elde edilir. Bu da yüksek işletme masrafları gerektirmektedir. Kaolen zenginleştirilmesinde hidrosiklonlar 30 psi basıncında işletilirler. Bunların kapasiteleride 200 litre/saat ve $25 \text{ m}^3/\text{saat}$ arasında değişir.

Kaolen zenginleştirme tesislerinin kapasiteleri birkaç yüz m^3/saat olduğundan değişik boyutlarda 10 - 1000 hidrosiklonun kombinasyonundan oluşan bir zenginleştirme devresi kullanılmaktadır. Bu durum hidrosiklonlarda uygun yapısal değişiklikler yapılmasına yol açmıştır. Pratik çalışmalardan görülen sorunların en başında ayrı siklonlar kullanıldığında beslenen maldzemenin aynı özellikleri göstermediğidir. Bu sakıncayı yok etmek için beslemeni bir merkezden yapıldığı örümcek şeklinde Annuar örümcek denilen hidrosiklonlar geliştirilmiştir. (29)

Bu deneylerde, 325 meşh altına indirilmiş cevher, önce 100 mm çaplı hidrosiklona beslenmiş ve hidrosiklonun üst çıkışından alınan malzeme daha sonra 40 mm çaplı hidrosiklona beslenerek ayırma yapılmıştır. 100 Ø mm lik hidrosiklon ve 40 Ø mm larından alınan numunelerin andersan pipeti ile boyut analizleri yapılmıştır. Sonuçlar ÇİZELGE 3.4-3.5-3.6-3.7 ve 3.8-3.9-3.10-3.11 ŞEKİL 3.5-3.6

ÇİZELGE 3.4 100 Ø mm lik hidrosiklon alt çıkışının andersan pipetiyle yapılan deney sonuçları.

Zaman t(sn)	Yükseklik h(cm)	Çekilen katı (mg)	Pipet Hacmi (ml)	Kolon Hacmi (ml)	Stokes Çapı (M)	Elek altı % Pn
30	19.7	200.0	10	500	81.03	100.0
60	19.4	195.3	10	490	56.86	97.65
120	19.0	180.2	10	480	39.79	90.1
240	18.6	171.0	10	470	27.83	85.5
480	18.2	163.4	10	460	19.47	81.7
960	17.9	146.8	10	450	13.65	73.4
1920	17.4	124.0	10	440	9.51	62.0
3840	17.1	80.7	10	430	6.65	40.3
7680	16.8	46.8	10	420	4.67	23.4
15360	16.5	29.9	10	410	3.27	14.9

ÇİZELGE 3.5 100 Ø mm lik hidrosiklon üst çıkışının andersan pipetiyle yapılan deney sonuçları.

Zaman t(sn)	Yükseklik h(cm)	Çekilen katı (mg)	Pipet Hacmi (ml)	Kolon Hacmi (ml)	Stokes Çapı (M)	Elek Altı %Pn
30	19.7	184.0	10	500	81.03	92.0
60	19.4	178.2	10	490	56.86	89.1
120	19.1	155.0	10	480	39.89	77.5
240	18.8	142.3	10	470	27.98	71.1
480	18.4	107.9	10	460	19.37	53.9
960	18.0	90.1	10	450	13.69	45.0
1920	17.7	85.6	10	440	9.60	42.8
3840	17.3	72.4	10	430	6.71	36.2
7680	17.0	40.9	10	420	4.70	20.4
15360	16.5	23.2	10	410	3.27	11.6

100 Ø mm lik hidrosiklonda siklon altına giden miktar yapılan hesaplamalar sonucunda %54.73, siklon üstüne giden miktar %45.27 olarak bulunmuştur. Ve siklon üstü ürününün %20.6 Al_2O_3 siklon altı ürününün %19.4 Al_2O_3 içerdiği saptanmıştır.

100 Ø mm lik hidrosiklonda , beslenen pülpün lt ağırlığı 1.31kg/lt, siklon altının lt ağırlığının 1.875 kg/lt, siklon üstü ağırlığı 1.175 kg/lt olarak tespit edilmiştir.

Bu siklonda verim $54.73 \times 20.6 / 100 \times 17.6 = 63.55$ olarak bulunmuştur.

ÇİZELGE 3.6 100 Ø mm lik hidrosiklonun performans değerleri

Boyut mm	%Ağırlık		%Ağırlık Beslenen		%Ağırlık Beslenen Malzeme	Aritm. Ort. boy.	Siklon Alt. Geçen mik. %
	Alt Ç	Üst Ç	Alt Ç	Üst Ç			
+0.081	2.00	1.84	1.09	0.83	1.92	-	56.7
+0.056	1.95	1.78	1.06	0.80	1.86	0.068	56.9
+0.039	1.80	1.15	0.98	0.52	1.50	0.047	65.3
+0.027	1.71	1.42	0.93	0.64	1.57	0.033	59.2
+0.019	1.63	1.07	0.89	0.48	1.37	0.023	64.9
+0.013	1.46	0.90	0.79	0.40	1.19	0.016	66.3
+0.009	1.24	0.85	0.67	0.38	1.05	0.011	63.8
+0.006	0.80	0.72	0.43	0.32	0.75	0.007	57.3
+0.004	0.46	0.40	0.25	0.18	0.43	0.005	58.1
+0.003	0.29	0.23	0.15	0.10	0.25	0.003	60.0
-0.003	86.62	89.62	47.4	21.4	68.8	-	-
-	100.0	100.0	54.7	45.2			

$y' = y - R / 1 - R$ formülünden aşağıdaki hesaplamalar yapılır.

y' = Alt çıkışa geçen her fraksiyondaki % miktarı

y = Alt çıkışa geçen her fraksiyondaki hakiki % miktarı

R = İri malzeme ile birlikte alt çıkışa (su ile beraber) geçen ince malzeme oranı

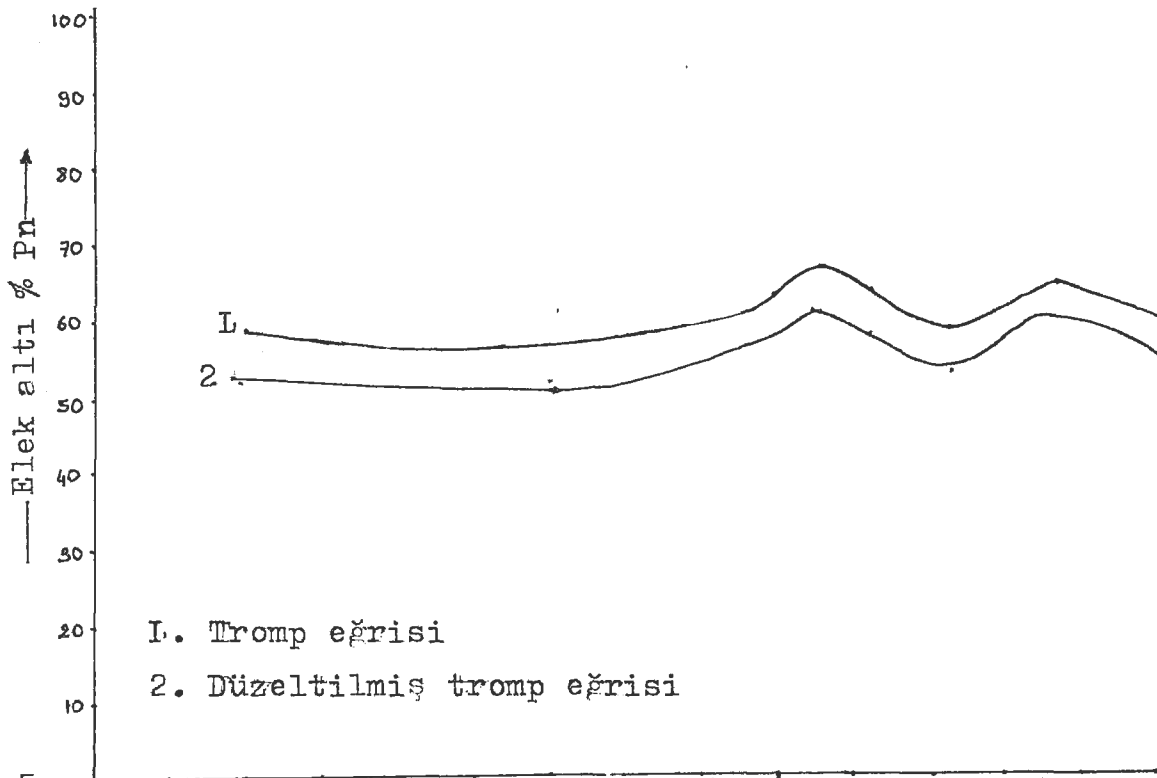
$$R = 54.73 \times 0.33 / 100 \times 1.62 = 0.11$$

$$y' = 0.547 - 0.11 / 1 - 0.11 = 0.49$$

Alt çıkışta düzeltilmiş değerimiz 0.49 dur. Üst çıkışta ise 0.51 olur.

ÇİZELGE 3.7 100 Ø mm lik hidrosiklonun düzeltilmiş performans değerleri

Boyut mm	%Ağırlık		%Ağırlık Beslenen		%Ağırlık Beslenen Malzeme	Aritm. Ort. boy.	Siklon Alt. Geçen mik. %
	Alt Ç	Üst Ç	Alt Ç	Üst Ç			
+0.081	2.04	1.84	0.99	0.93	1.92	-	51.0
+0.056	1.95	1.78	0.95	0.90	1.85	0.068	51.3
+0.039	1.80	1.15	0.88	0.58	1.46	0.047	60.2
+0.027	1.71	1.42	0.83	0.72	1.55	0.033	53.5
+0.019	1.63	1.07	0.79	0.54	1.33	0.023	59.3
+0.013	1.46	0.90	0.71	0.45	1.16	0.016	61.2
+0.009	1.24	0.85	0.60	0.43	1.03	0.011	58.2
+0.006	0.80	0.72	0.39	0.36	0.75	0.007	52.00
+0.004	0.46	0.40	0.22	0.20	0.42	0.005	52.3
+0.003	0.29	0.23	0.14	0.11	0.25	0.003	56.0
- 0.003	86.62	89.64	42.4	45.6			
	100.0	100.0	49.0	51.0			



ÇİZELGE 3.8 40 Ø mm lik hidrosiklon alt çıkışının andersan pipetiyle yapılan deney sonuçları.

Zaman t(sn)	Yükseklik h(cm)	Çekilen Katı (mg)	Pipet Hacmi (ml)	Kolon Hacmi (ml)	Stokes Çapı (M)	Elek Altı %Pn
30	19.7	176.7	10	500	81.03	88.35
60	19.5	170.0	10	490	57.0	85.0
120	19.1	148.5	10	480	39.8	74.0
240	18.8	134.0	10	470	27.9	67.25
480	18.4	90.6	10	460	19.5	45.3
960	18.0	82.9	10	450	13.6	41.45
1920	17.7	78.5	10	440	9.6	39.25
3840	17.3	50.8	10	430	6.7	25.4
7680	17.0	41.5	10	420	4.7	20.7
15360	16.6	22.4	10	410	3.2	11.2

ÇİZELGE 3.9 40 Ø mm lik hidrosiklon üst çıkışının andersan pipetiyle yapılan deney sonuçları.

Zaman t(sn)	Yükseklik h(cm)	Çekilen Katı(mg)	Pipet Hacmi (ml)	Kolon Hacmi (ml)	Stokes Çapı (M)	Elek Altı %Pn
30	19.7	146.0	10	500	81.03	73.0
60	19.4	135.4	10	490	56.86	67.7
120	19.1	120.5	10	480	39.89	60.2
240	18.8	115.0	10	470	27.98	57.5
480	18.4	80.0	10	460	19.57	40.0
960	18.0	57.8	10	450	13.69	28.9
1920	17.7	45.3	10	440	9.60	22.6
3840	17.4	40.5	10	430	6.73	20.2
7680	17.0	39.1	10	420	4.7	19.5
15360	16.6	20.1	10	410	3.2	10.0

40 Ø mm çaplı hidrosiklonda siklon altına giden ve siklon üstüne giden miktarlar hesaplanmış, siklon alt çıkışı beslenen malzemenin % 73.7 si, siklon üst çıkışı beslenen malzemenin %26.3 ü olarak bulunmuştur. Ve siklon üst ürünün %21.8 Al_2O_3 siklon altı ürününün %19.9 Al_2O_3 içerdiği saptanmıştır.

40 Ø mm lik hidrosiklonda beslenen pülün litre ağırlığı 1.125 kg/lt, siklon altının lt ağırlığı 1.175 kg/lt, siklon üstünün lt ağırlığı 1.07 kg/lt olarak tespit edilmiştir.

ÇİZELGE 3.10 40 Ø mm lik hidrosiklonun performans değerleri

Boyut mm	%Ağırlık Beslenen		%Ağırlık Beslenen		%Ağırlık Beslenen Malzeme	Aritm. Ort. boy.	Siklon Alt. Geçen mik. %
	Alt Ç	Üst Ç	Alt Ç	Üst Ç			
+0.081	1.76	1.46	1.29	0.38	1.67	-	77
+0.056	1.70	1.35	1.25	0.35	1.6	0.068	78
+0.039	1.48	1.20	1.09	0.31	1.4	0.047	77
+0.027	1.34	1.15	0.98	0.30	1.28	0.033	76
+0.019	0.90	0.80	0.66	0.21	0.87	0.023	75
+0.013	0.82	0.57	0.60	0.14	0.74	0.016	81
+0.009	0.78	0.45	0.57	0.11	0.68	0.011	83
+0.006	0.50	0.40	0.36	0.10	0.46	0.007	78
+0.004	0.41	0.39	0.30	0.10	0.40	0.005	75
+0.003	0.22	0.20	0.16	0.05	0.21	0.003	76
-0.003	90.09	92.03	65.7	24.1			
	100.00	100.00	73.7	26.3			

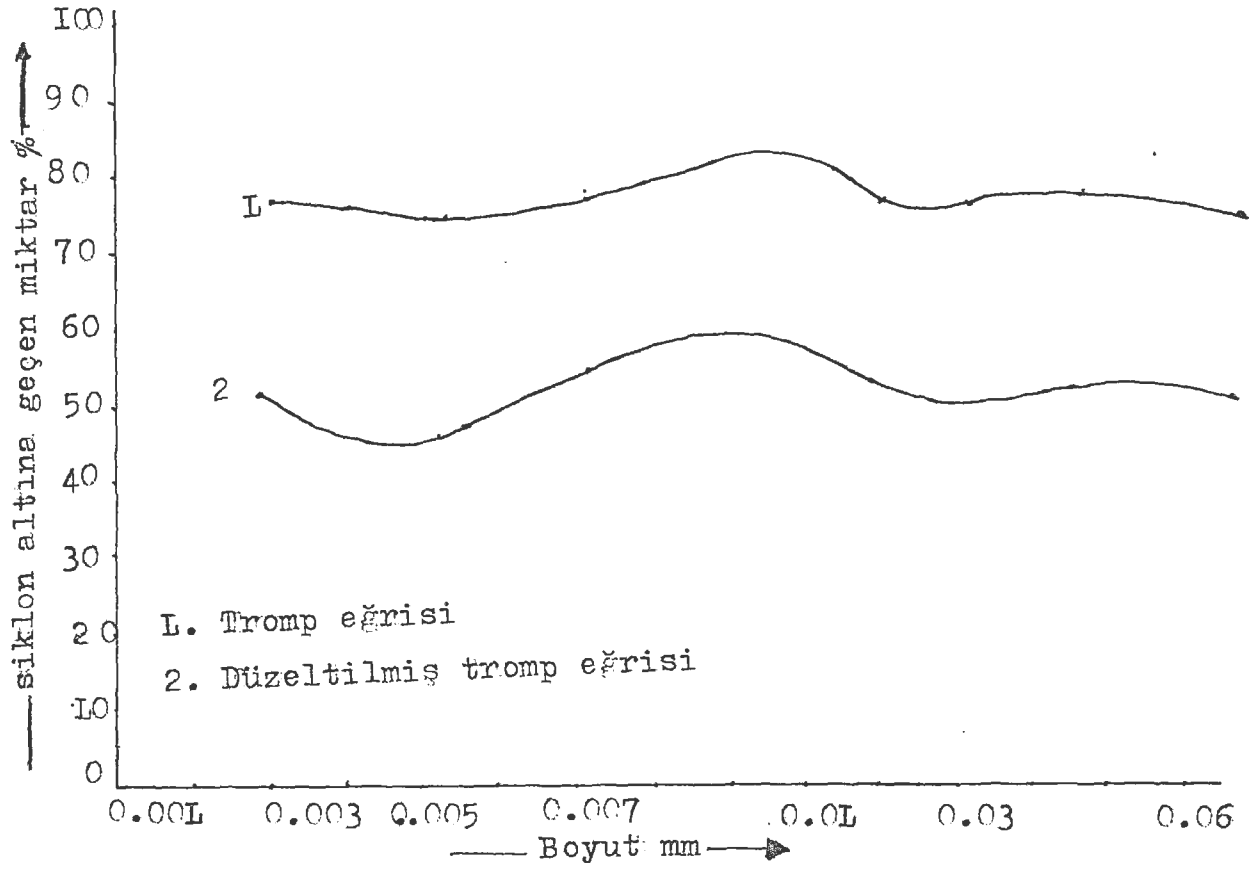
ÇİZELGE 3.11 40 Ø mm lik hidrosiklonun düzeltilmiş performans değerleri

Boyut mm	%Ağırlık		%Ağırlık Beslenen		%Ağırlık Beslenen	Aritm. Ort. boy.	Siklon Alt. Geçen mik. %
	Alt Ç	Üst Ç	Alt Ç	Üst Ç	Malzeme		
+ 0.081	1.76	1.46	0.80	0.78	1.58	-	50
+ 0.056	1.70	1.35	0.78	0.72	1.50	0.068	52
+ 0.039	1.48	1.20	0.68	0.64	1.32	0.047	51
+ 0.027	1.34	1.15	0.61	0.62	1.23	0.033	49
+ 0.019	0.90	0.80	0.41	0.43	0.81	0.023	51
+ 0.013	0.82	0.57	0.37	0.30	0.67	0.016	55
+ 0.009	0.78	0.45	0.35	0.24	0.59	0.011	59
+ 0.006	0.50	0.40	0.23	0.21	0.44	0.007	52
+ 0.004	0.41	0.39	0.18	0.21	0.39	0.005	46
+ 0.003	0.22	0.20	0.80	0.10	0.20	0.003	50
- 0.003	90.11	93.03	41.4	50.2			
	100.00	100.00	46.0	54.0			

$$R = 73.7 \times 3.18 / 100 \times 4.58 = 0.51$$

$$y' = 0.737 - 0.51 / 1 - 0.51 = 0.227 / 0.49 = 0.46$$

Düzeltilmiş değerimiz 0.46



ŞEKİL 3.6

Hidro-siklonla yapılan deneyler sonucunda ,basıncın ve siklonun yapısındaki değişkenlerin ayarlanamaması nedeniyle hassas bir ayırma yapılamamış,bu nedenle iyi bir verim elde edilememiştir.

3.2 FLOTASYON İLE ZENGİNLEŞTİRME

Kaolen flotasyonunda amin tipi Katyonik kollektörler kullanılır. Katyonik kollektörler, azota bağlanmış hidrokarbon zincirinin meydana getirdiği kollektörlerdir. Azota birden dörde kadar çeşitli hidro karbon zincirleri bağlanarak çeşitli değişik amin tipleri meydana gelir. Yani aminler hidrojen yerine geçen hidrokarbon zincirinin sayısına göre primer, sekonder, tersiyer, kuaterner olmak üzere dört gruba ayrılır.(18). Ayrıca hidrokarbon zincirinin düz veya halka şeklinde olusuna göre alkil amin, aril amin veya aril-alkil amin olarak adlandırılırlar(18).

Amin tipi kollektörlerin klorürlü ve asetatlı tuzları ticari adlar altında çeşitli firmalarca üretilmektedir. Genel formülü $RNH_3^+ CH_3COO^-$ şeklindedir

Aminlerin, kaolen flotasyonunda kuvarstan ayrılmaları için kullanılmaları Dean tarafından 1937'de araştırılmıştır.(25)

Phelps ise kaolinitin kumlu artıklardan flotasyon yolu ile arındırılmasını başarmıştır (1941). Reaktif olarak sülfid wasteliyor kullanmıştır.(25)

Kuvars ve silikatların aminle flotasyonunda, yüzey reaksiyonundan çok elektrostatik etkilerin önemli olduğu çeşitli incelemelerle ortaya konulmuştur.

Mineral tanelerinin yüzebilmesi amin adsorbsiyonuna bağlıdır. Amin adsorbsiyonunun esasını pozitif RNH_3^+ iyonları ile, negatif yüklü mineral yüzeyi arasındaki elektrostatik akım teşkil eder. Yani flotasyonda kimyasal reaksiyonla birlikte elektriksel etkilerde rol oynar (10).

Yapılan literatür çalışmalarından kaolinitin kuvarstan daha yüksek flotasyon kabiliyeti olduğu anlaşılmıştır.(Kuvars saf suda çok az miktarda silikat iyonu verir.) Bu bilgiler ışığında

Kaolinitin kuvarstan flotasyonu başarılmış ve amin iyonu ile kaolinitin reaksiyonunun kuvarstan daha önce olduğu görülmüştür. Ayrıca pülpe katılan asid kuvarsın bastırılmasına yardımcı olmuştur (25).

Kuvars ve silikat minerallerinin flotasyonuna kollektör ile bağlanan ve flotasyonu saflayan silikat iyonudur. Silikat tenörü arttıkça, mineralin flotasyon kabiliyeti artmaktadır. Silikat içeriği silikat kumlarının asitliliğinin bir ölçüsüdür ve silikatlarca bağlı olan oksijen moleküllerini simgeler. Flotasyon ürünleri silikat içerikleri düştükçe azalmaktadır. Ancak kaolin bu genellemeye dahil değildir. Kaolin iki boyutlu yapıya sahiptir ve asıl oksijen - silikon bağları öğütme ile kırılmadığında su içlerine işleyemez ve bu da onların flotasyonuna zarar verir(24).

Flotasyon deneyleri laboratuvar tipi Denver flotasyon hücresinde (500 gr.), 24 - 25°C çesme suyu ile yapılmıştır. Deneyler asit ortamda yapılmış ve her deney öncesi numuneye NaOH ilave edilerek dağıtma işlemi yapılmıştır. Flotasyon için hazırlanan örnekler 40 dak.(kademeli) öğütme ile hazırlanmıştır.

Flotasyon deneylerinin amacı, en uygun reaktif cinsini, miktarını, ortamın pH değerini, kıvam zamanının belirlenmesi ve optimum şarkların saptanmasıdır.

3.2.1 En Uygun Tane Boyutu ve Kollektör Cinsinin Tespiti İçin Yapılan Deneyler.

En uygun tane boyutu ve kollektör cinsini belirlemek için dört ayrı boyutta ve dört ayrı cins kollektörle flotasyon deneyleri yapılmıştır. Bu deneylerde Armour Industrial Chemical Divisor Comp.nin ürettiği ticari adı ARMAC - T (Tallow Amin Asetat), Hoechst firmasının ürettiği ticari adları Flotigam PA, Flotigam ENA ve F 3326 reaktifleri kollektör olarak kullanılmıştır.

pH ayarlayıcısı olarak HCl kullanılmıştır.

Deneylerde aşağıdaki şartlar sabit tutulmuştur.

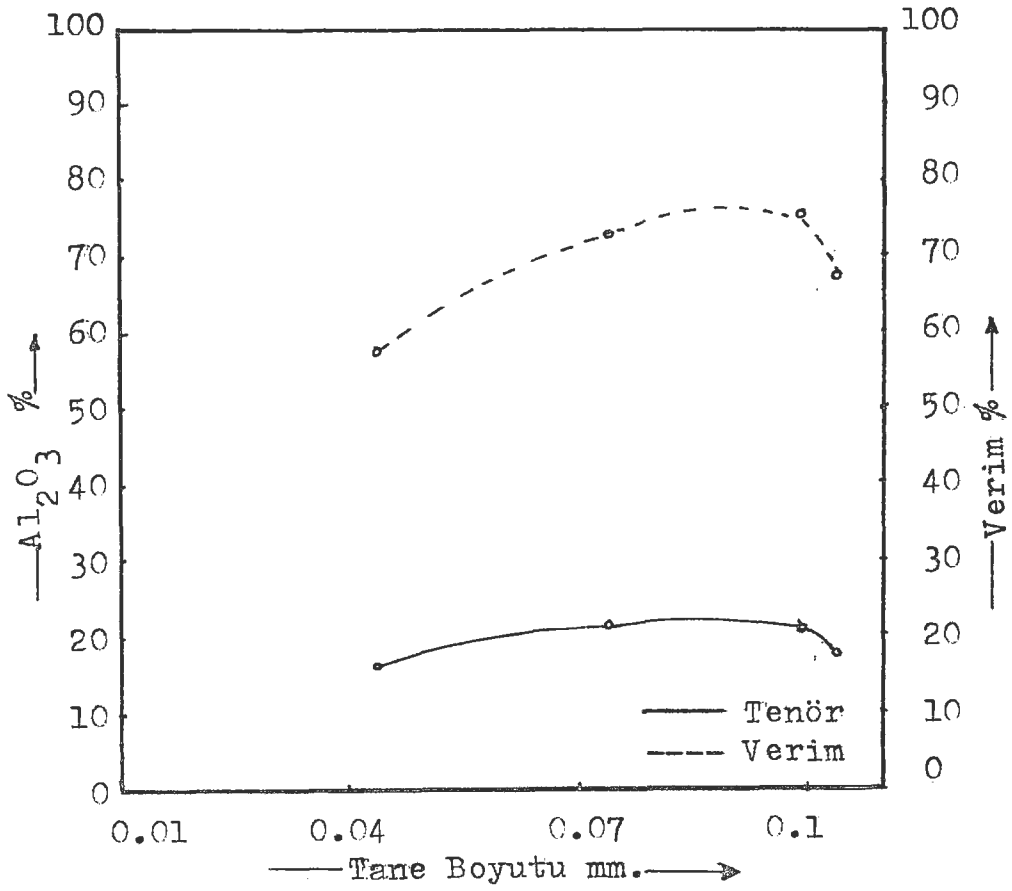
pH : 3.0
 HCl miktarı : 16.1 kg./ton
 Flotasyon zamanı : 7 dakika
 Kivam zamanı : 5 dakika
 Pülp yoğunluğu : % 30 katı
 Kollektör miktarı : 500 gr./ton

Köpürtücü sadece Tallow Amin Asetat ve F 3326 kollektörleri ile yapılan deneylerde kullanılmış diğer kollektörlerle yapılan deneylerde ise kullanılmamıştır.

Sonuçlar ÇİZELGE : 3.12,3.13,3.14,3.15 ve ŞEKİL 3.7,3.8

3.9,3.10 da gösterilmiştir.

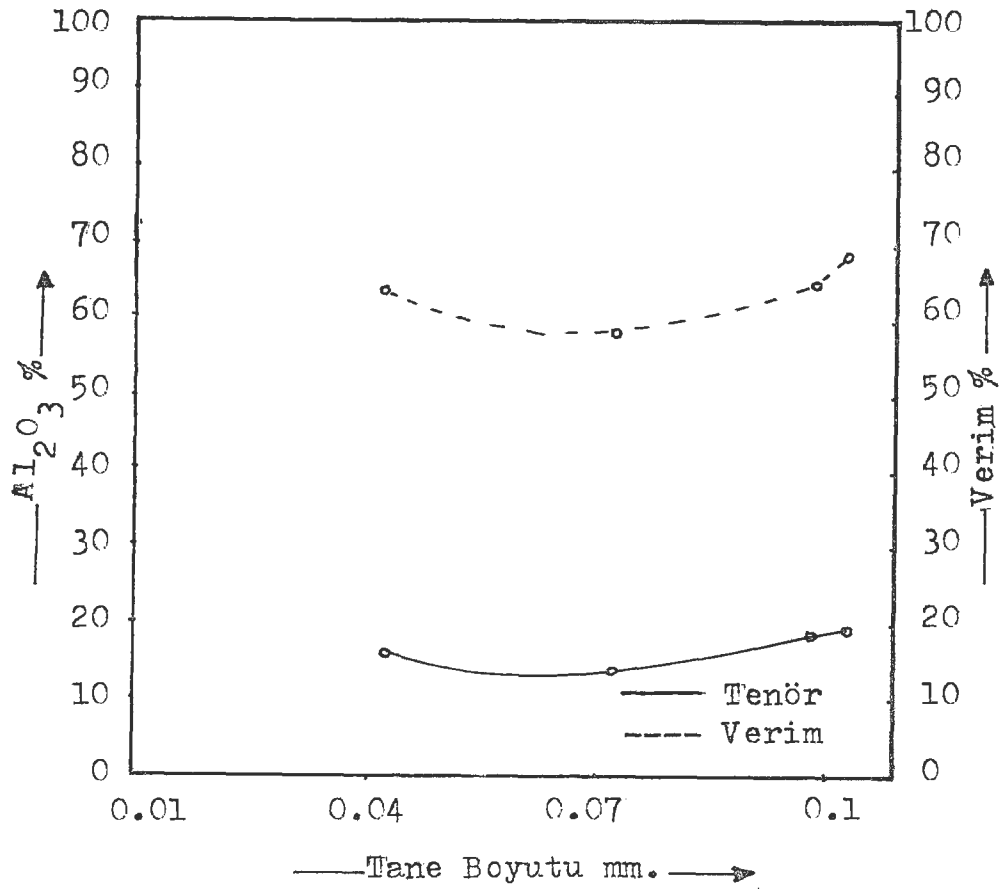
Bu deneyler sonucunda en uygun tane boyutu - 0.105 mm ,
 en uygun kollektör olarak ta Flotigom PA Kollektörü seçilmiştir.



ŞEKİL:3.7 Konsantredeki Al_2O_3 Tenör ve Veriminin
Tane Boyutuna Göre Değişimi.

ÇİZELGE:3.12 Flotigom PA Kolektörü İle En Uygun Tane Boyutunun
Tespiti İçin Yapılan Deney Sonuçları.

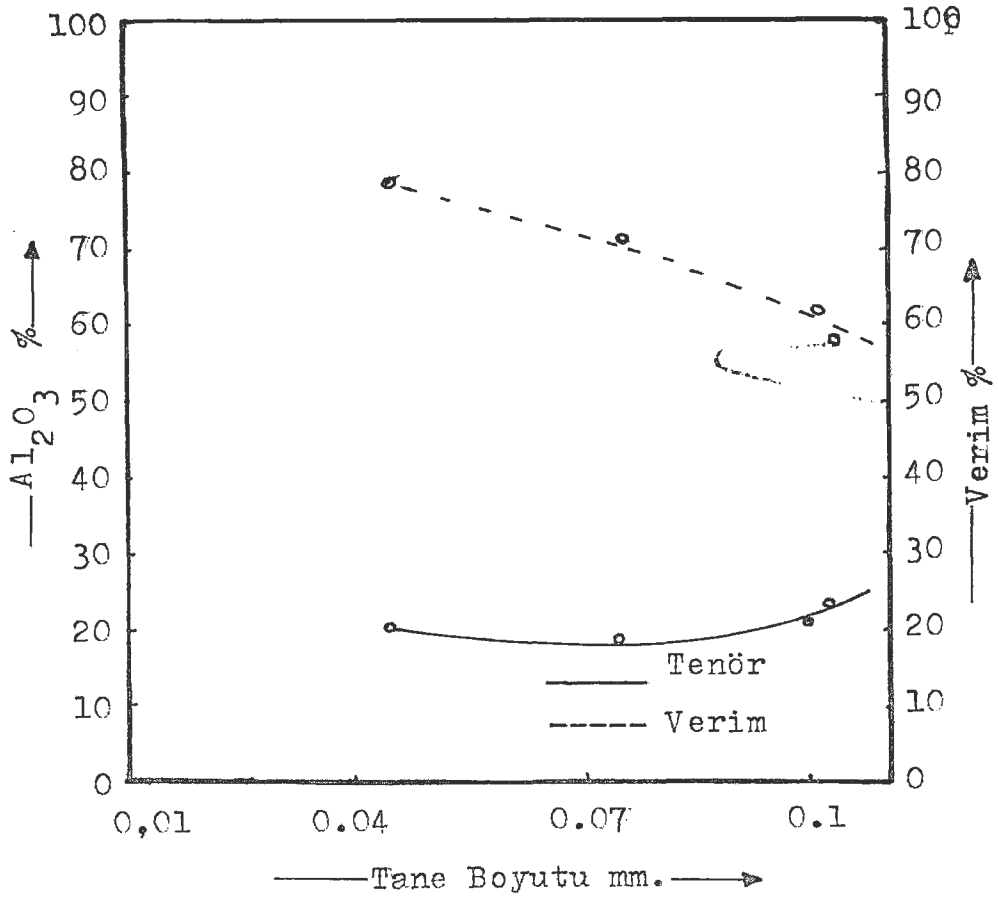
Tane Boyutu mm.	Ürünler	Miktar %	Al_2O_3 Tenör %	Al_2O_3 Verim %
-0.149	Konsantra	63.33	19.00	68.36
	Artık	36.67	15.18	31.64
-0.105	Konsantre	60.66	23.00	79.27
	Artık	39.34	9.27	20.73
-0.074	Konsantre	56.66	23.20	74.68
	Artık	43.34	10.20	25.32
-0.044	Konsantre	60.66	17.30	59.62
	Artık	39.34	18.06	40.38



ŞEKİL: 3.8 Konsantredeki Al_2O_3 Tenör ve Veriminin Tane Boyutuna Göre Değişimi.

ÇİZELGE 3.13 HOE 3326 Kollektörü İle En Uygun Tane Boyutunun Tespiti İçin Yapılan Deneylerin Sonuçları.

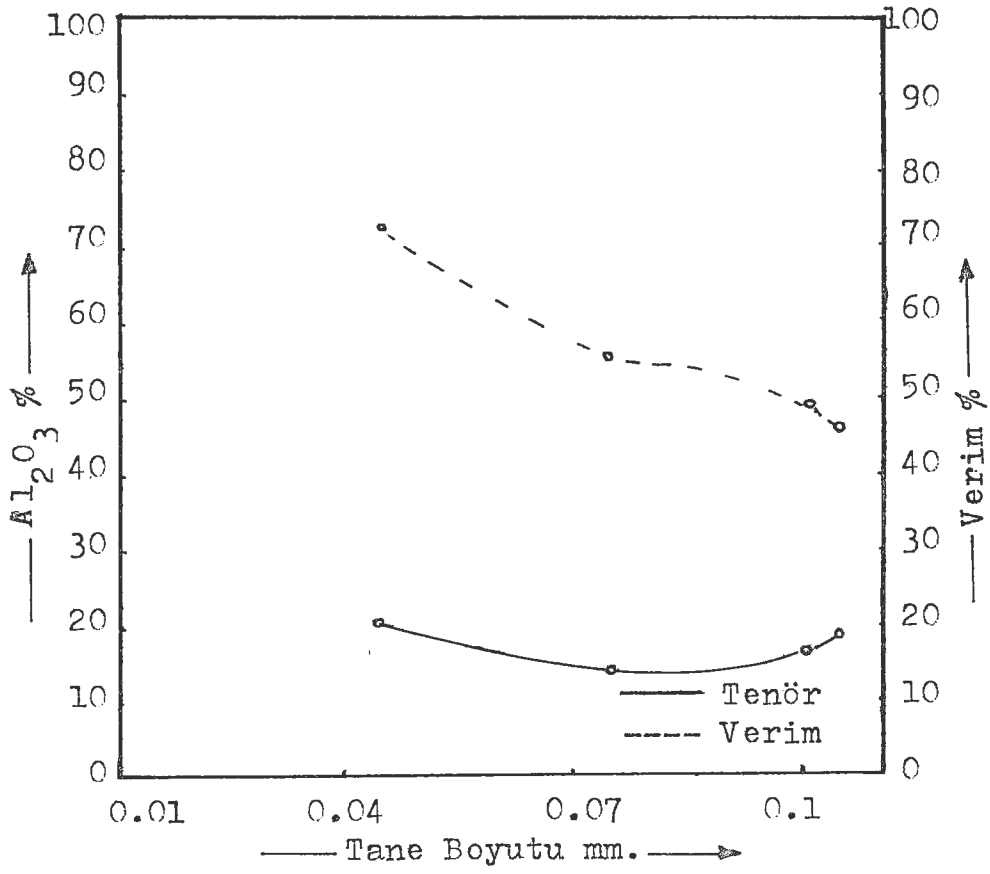
Tane Boyutu mm.	Ürünler	Miktar %	Al_2O_3 Tenör %	Al_2O_3 Verim %
-0.149	Konsantre	61.66	19.80	69.36
	Artık	38.34	14.06	30.64
-0.105	Konsantre	59.00	19.40	65.03
	Artık	41.00	15.01	34.97
-0.074	Konsantre	70.00	14.60	58.06
	Artık	30.00	24.60	41.94
-0.044	Konsantre	70.00	16.20	64.43
	Artık	30.00	20.86	35.57



ŞEKİL :3.9Konsantredeki Al_2O_3 Tenör ve Veriminin Tane Boyutuna Göre Değişimi.

ÇİZELGE3.14Flotigom ENA Kollektörü ile en Uygun Tane Boyutunu Tespiti İçin Yapılan Deneylerin Sonuçları.

Tane Boyutu mm.	Ürünler	Miktar %	Al_2O_3 % Tenör	Al_2O_3 % Verim
-0.149	Konsantre	43.33	23.5	57.85
	Artık	56.67	13.0	42.15
-0.105	Konsantre	53.33	20.8	63.41
	Artık	46.67	13.8	36.59
-0.074	Konsantre	61.66	20.5	71.81
	Artık	38.34	12.9	21.19
-0.044	Konsantre	68.33	20.3	78.81
	Artık	31.67	11.7	21.19



ŞEKİL.3.10 Konsantredeke Al_2O_3 Tenör ve Veriminin Tane Boyutuna Göre Değişimi.

ÇİZELGE 3.15 Tallow Amin Asetat Kollektörü İle En Uygun Tane Boyutunun Tespiti İçin Yapılan Deneylerin Sonuçları.

Tane Boyutu mm.	Ürünler	Miktar %	Al_2O_3 Tenör %	Al_2O_3 Verim %
-0.149	Konsantre	40.83	19.6	45.66
	Artık	59.17	16.2	54.54
-0.105	Konsantre	50.00	17.3	49.14
	Artık	50.00	17.9	50.86
-0.074	Konsantre	60.00	14.8	50.45
	Artık	40.00	21.8	49.55
-0.044	Konsantre	64.16	20.0	72.90
	Artık	35.84	13.3	27.1

3.2.2 pH Değerinin Flotasyona Etkisini İncelemek İçin Yapılan Deneyler.

Deneylerde pH değeri ve ayarlayıcı reaktif (HCl) dışındaki şartlar aşağıda belirtildiği şekilde sabit tutulmuştur. Ve köpürücü kullanılmamıştır.

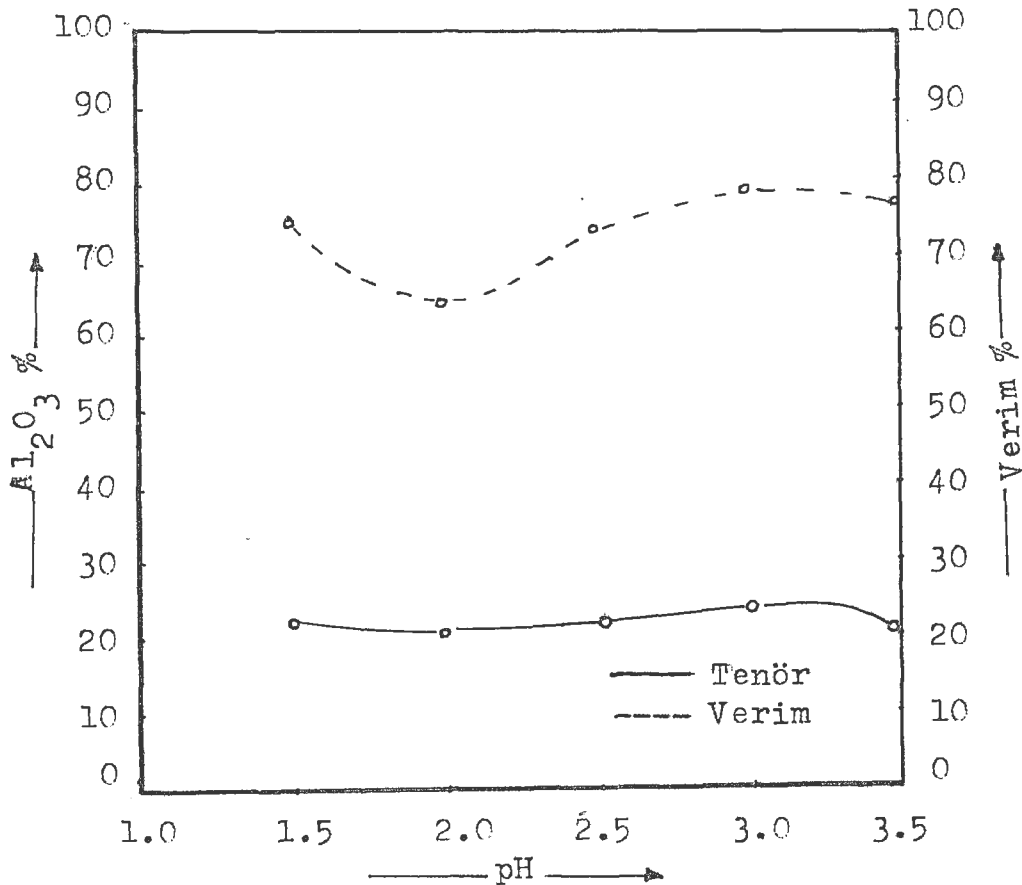
Kollektör : Flotigam PA (500 gr./ton),

Kıvam zamanı : 5 dakika

Pülp yoğunluğu : % 30 katı

Tane boyutu : -0.105 mm.

Değişik pH değerlerinde yapılan deneylerin sonuçları ÇİZELGE 3.16 ve ŞEKİL 3.11 verilmiştir. Bu deneyler sonunda verim ve Al_2O_3 tenörü bakımından en iyi sonuç pH = 3'te alınmıştır.



Şekil:3.11 Konsantredeki Al_2O_3 Tenör ve Veriminin pH Değerine Göre Değişimi.

ÇİZELGE:3.16 pH Değerinin Flotasyona Etkisini İncelemek İçin Yapılan Deneylerin Sonuçları.

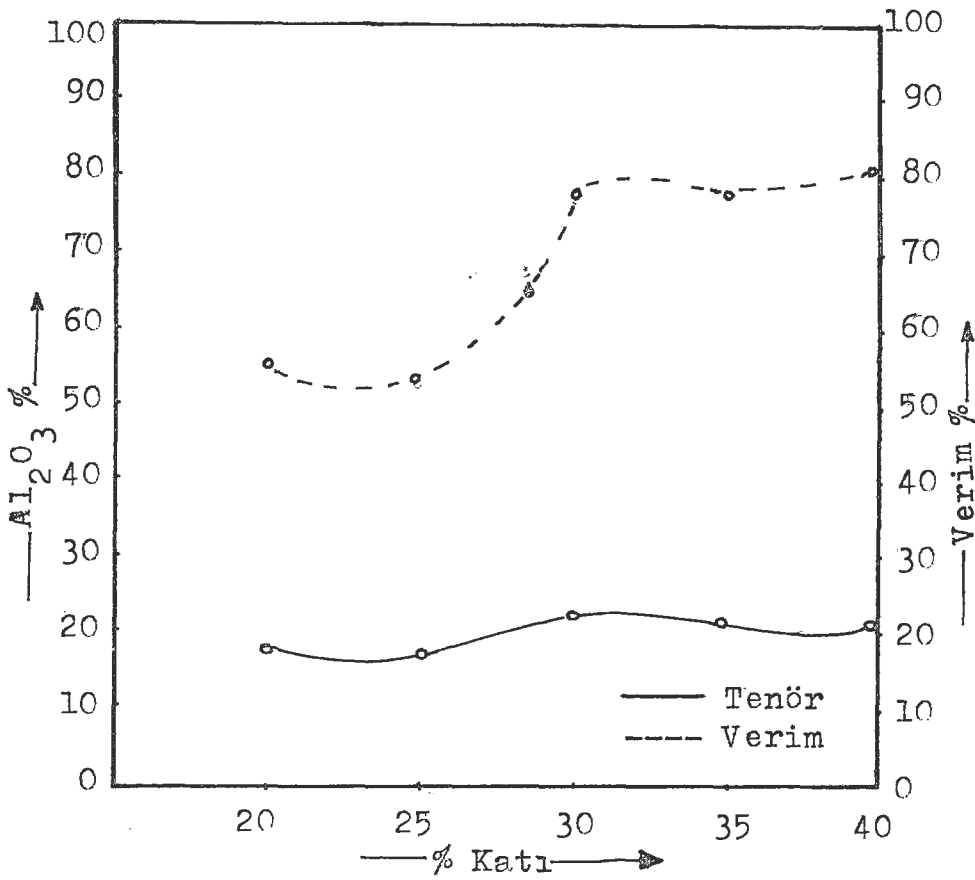
pH	Ürünler	Miktar %	Al ₂ O ₃ Tenör %	Al ₂ O ₃ Verim %
1.5	Konsantre	59.33	22.40	75.51
	Artık	40.67	10.50	22.49
2.0	Konsantre	53.33	21.40	64.84
	Artık	43.67	15.20	35.16
2.5	Konsantre	59.33	20.90	70.45
	Artık	40.67	12.70	29.55
3.0	Konsantre	60.66	23.00	79.27
	Artık	39.34	9.27	20.73
3.5	Konsantre	61.66	20.20	70.76
	Artık	38.34	13.40	29.24

3.2.3 Flotasyonda Katı Oranının Etkisini İncelemek İçin Yapılan Deneyler:

En uygun pülpte katı oranının tespiti için yapılan deneylerde aşağıdaki şartlar sabit tutulmuştur.

pH : 3.0
HCl miktarı : 16.1
Kollektör : Flotigam PA (500 gr./ton)
Kıvam zamanı : 5 dakika
Flotasyon zamanı : 7 dakika
Tane boyutu : -0.105 mm.

ÇİZELGE:3.17 ve ŞEKİL:3.12 de verilen deney sonuçlarına göre pülpe katı oranı arttıkça Al₂O₃ veriminin arttığı tespit edilmiştir. En fazla verimin elde edildiği % 40 katı oranı seçilmiştir.



ŞEKİL:3.13 Konsantredeki Al_2O_3 Tenör ve Veriminin Pülp'te Katı Oranına Göre Değişimi.

ÇİZELGE:3.18 Flotasyonda Katı Oranının Etkisini İncelemek İçin Yapılan Deneylerin Sonuçları.

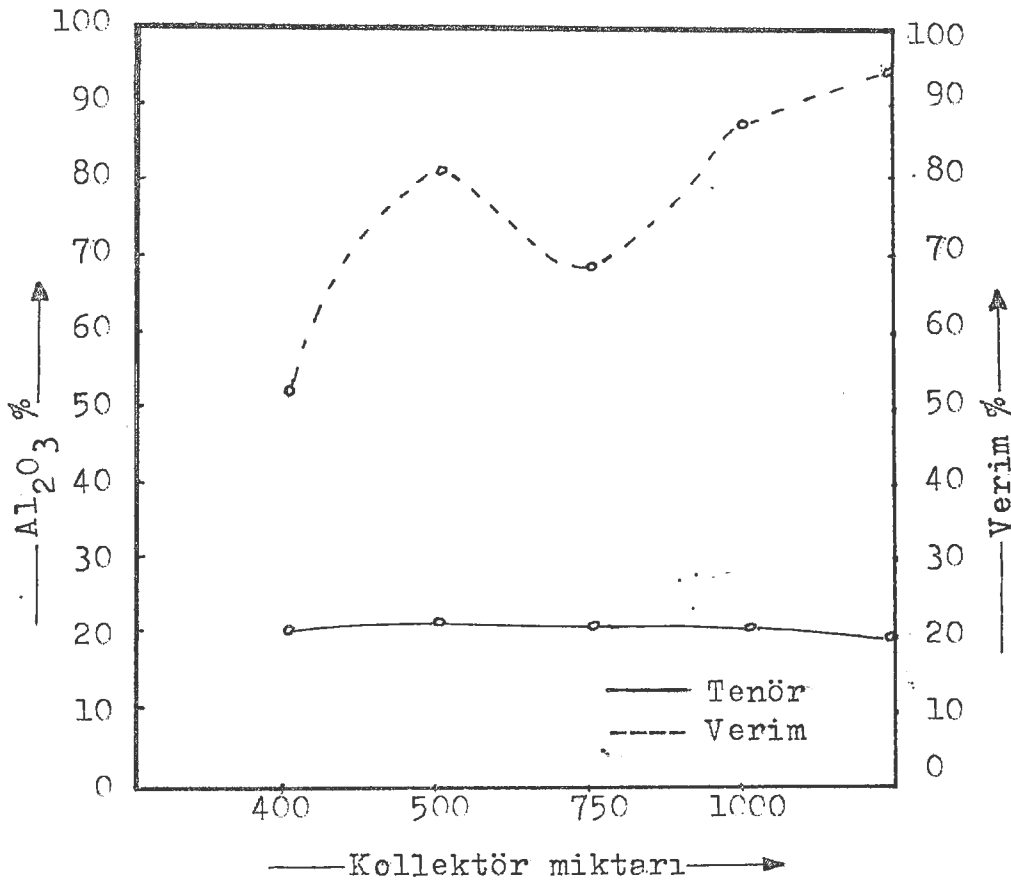
Katı %	Ürünler	Miktar %	Al_2O_3 Tenör %	Al_2O_3 Verim %
20	Konsantre	52.50	18.60	55.48
	Artık	47.50	16.40	44.52
25	Konsantre	52.00	18.20	53.77
	Artık	48.00	16.90	46.23
30	Konsantre	60.66	23.00	79.27
	Artık	39.44	9.25	20.73
35	Konsantre	61.80	22.40	78.60
	Artık	38.20	10.30	22.40
40	Konsantre	65.00	22.00	81.20
	Artık	35.00	9.45	18.80

3.2.4 En Uygun Kollektör Miktarının Tespiti İçin Yapılan Deneyler.

Bu deneylerde kollektör olarak Flotigam PA kullanılmış ve aşağıdaki şartlar sabit tutulmuştur.

pH : 3.0
HCl miktarı : 16.1
Kıvam zamanı, : 5 dakika
Flotasyon zamanı : 7 dakika
Pülp yoğunluğu : % 40 katı
Tane boyutu : -0.105 mm.

ÇİZELGE : 3.19 ve ŞEKİL : 3.14 de verilen deney sonuçlarına göre Al_2O_3 verimi bakımından en uygun kollektör miktarı 500 gr./t. olarak seçilmiştir.



ŞEKİL:3.14 Konsantredeki Al_2O_3 Tenör ve Veriminin Kollektör miktarına Göre Değişimi.

ÇİZELGE:3.19 Flotasyonda Kollektör Miktarının Etkisini
İncelemek İçin Yapılan Deneylerin Sonuçları.

Kollektör miktarı FlotigamPA (gr./t.)	Ürünler	Miktar %	Al ₂ O ₃ Tenör %	Al ₂ O ₃ Verim %
400	Konsantre	44.00	20.90	52.25
	Artık	56.00	15.00	47.75
500	Konsantre	65.00	22.00	81.20
	Artık	35.00	9.45	18.80
750	Konsantre	58.00	21.00	69.20
	Artık	42.00	12.90	30.80
1000	Konsantre	74.00	20.70	87.03
	Artık	26.00	8.77	12.97
1500	Konsantre	83.50	20.00	94.88
	Artık	16.50	5.46	5.12

3.2.5 Flotasyon Zamanının Flotasyona Etkisini İncelemek
İçin Yapılan Deneyler.

Deneylerde aşağıdaki şartlar sabit tutulmuştur.

pH : 3.0

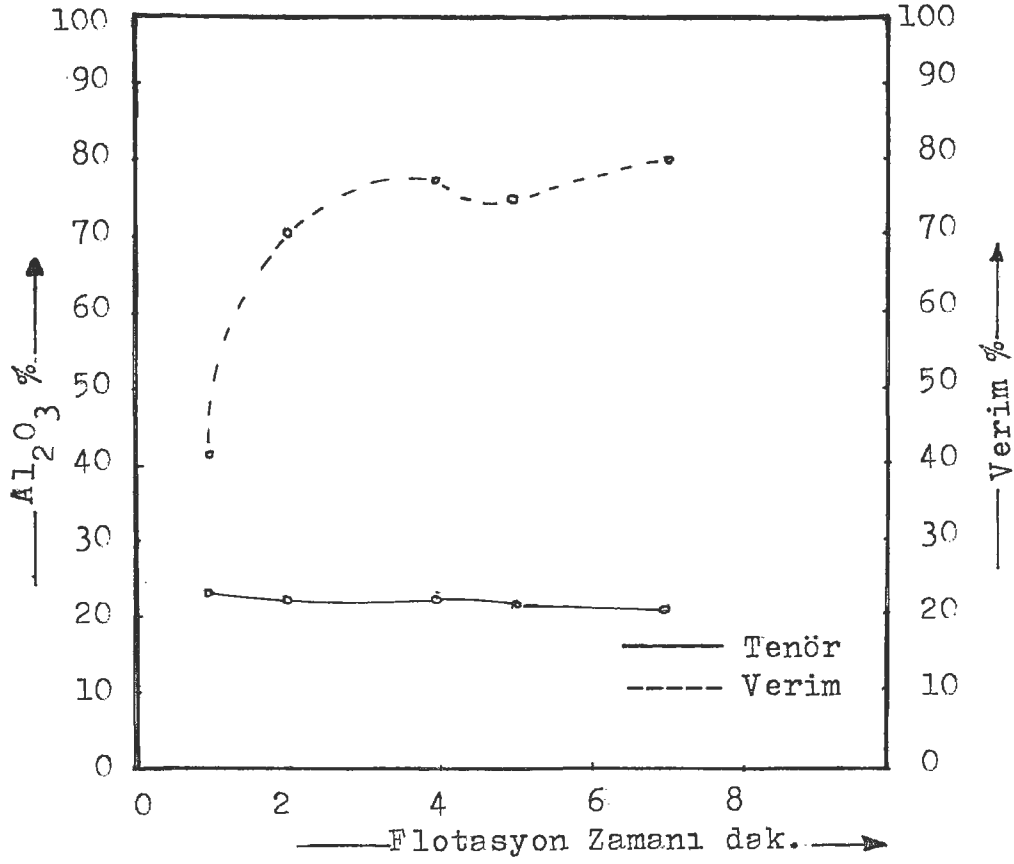
Kıvam zamanı : 5 dakika

Pülp yoğunluğu : % 40 Katı

Kollektör : Flotigam PA (500 gr./ton)

Tane Boyutu : -0.105 mm.

ÇİZELGE:3.20 ve ŞEKİL: 3.15 de verilen deney sonuçlarına göre
4 dakika flotasyon zamanı olarak seçilmiştir.



ŞEKİL:3.15 Konsantredeki Al_2O_3 Tenör ve Veriminin Flotasyon Zamanına Göre Değişimi.

ÇİZELGE:3.20 Flotasyonda Flotasyon Zamanının Etkisini İncelemek İçin Yapılan Deneylerin Sonuçları.

Flotasyon Zamanı (dak.)	Ürünler	Miktar %	Al_2O_3 Tenör %	Al_2O_3 Verim %
1	Konsantre	31.00	24.1	42.44
	Artık	69.00	14.6	57.56
2	Konsantre	54.20	23.5	72.36
	Artık	45.80	10.6	27.64
4	Konsantre	59.60	23.4	70.24
	Artık	40.40	9.0	20.76
5	Konsantre	60.65	22.2	75.50
	Artık	39.35	10.5	23.50
7	Konsantre	65.00	22.0	81.20
	Artık	35.00	9.45	18.80

3.2.6 Kıvam Zamanının Flotasyona Etkisini İncelemek İçin Yapılan Deneyler.

Kıvam zamanının flotasyona etkisini incelemek için yapılan deneylerde aşağıda belirtilen şartlar sabit tutulmuş olup ÇİZELGE 3.21 ve ŞEKİL:3.16 de gösterilmiştir.

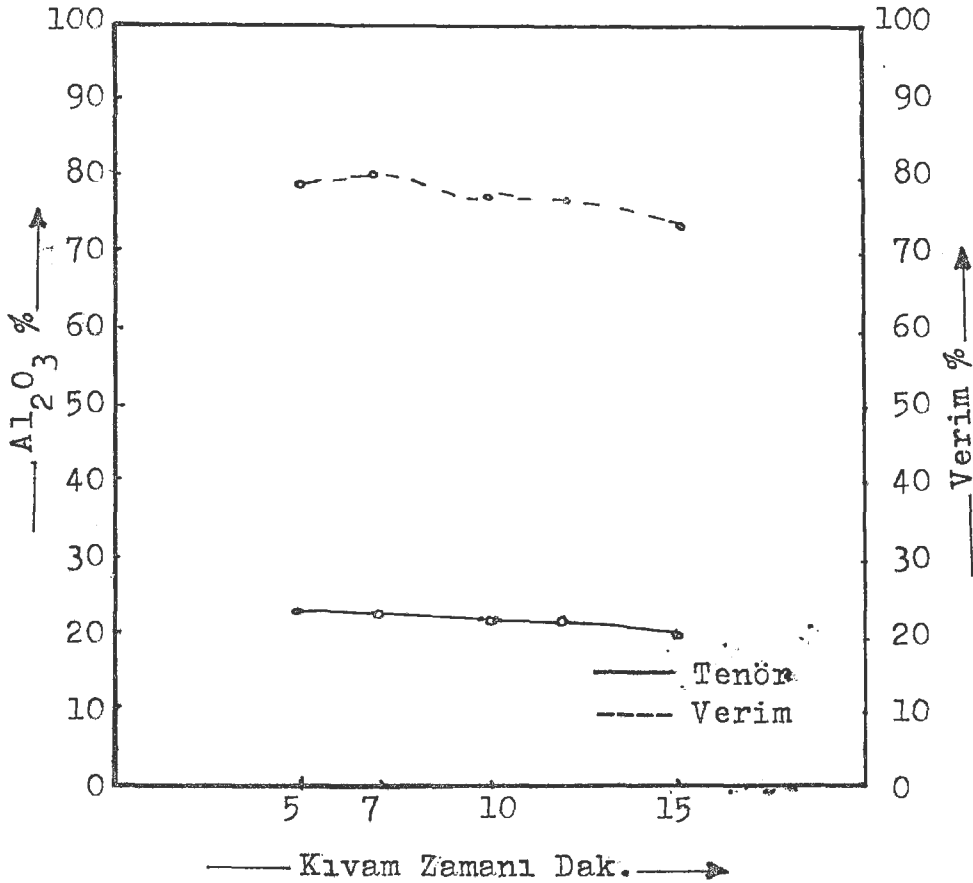
pH : 3.0

Pülp yoğunluğu : %40 Katı

Kollektör : Flotigam PA (500 gr./ton)

Tane Boyutu : -0.105 mm.

ÇİZELGE 3.21 ve Şekil 3.16 de verilen deney sonuçlarına göre 7 dakika kıvam zamanı olarak seçilmiştir.



ŞEKİL: 3.16 Konsantredeki Al_2O_3 Tenör ve Veriminin Kıvam Zamanına Göre Değişimi.

ÇİZELGE: 3.21 Flotasyonda Kıvam Zamanının Etkisini İncelemek
İçin Yapılan Deneylerin Sonuçları.

Kıvam Zamanı (dak.)	Ürünler	Miktar %	Al ₂ O ₃ Tenör %	Al ₂ O ₃ Verim %
5	Konsantre	59.60	23.4	79.24
	Artık	40.40	9.0	20.76
7	Konsantre	61.09	23.2	80.52
	Artık	38.91	8.8	19.48
10	Konsantre	62.19	22.0	77.73
	Artık	37.81	10.3	22.27
15	Konsantre	70.00	20.0	79.54
	Artık	30.00	12.0	20.46

3.2.7 Flotasyonda pH Ayarlayıcısı (HF ve H₂SO₄) nın
Flotasyona Etkisini İncelemek İçin Yapılan Deneyler.

Bu deneylerde aşağıdaki şartlar sabit tutulmuş ve sonuçlar
ÇİZELGE 3.22te gösterilmiştir.

pH : 3.0

Pülp yoğunluğu : % 40 Katı

Kollektör : Flotigam PA (500 gr./ton)

Tane Boyutu : -0.105 mm.

Bu deney sonuçlarına göre pH ayarlayıcı olarak H₂SO₄
seçilmiştir.

ÇİZELGE:3.22 HF ve H_2SO_4 Kullanılarak Yapılan Deneylerin Sonuçları.

pH Ayarlayıcı	Ürünler	Miktar %	Al_2O_3 Tenör %	Al_2O_3 Verim %
HF	Konsantre	59.00	24.0	80.45
	Artık	41.00	8.3	19.55
H_2SO_4	Konsantre	61.05	23.7	82.20
	Artık	38.95	8.0	17.80

3.2.8 Flotasyon İle Zenginleştirme Deneylerinden Elde Edilen Sonuçlar.

1 - 0.105 mm. altına öğütülen cevher ile yapılan deneylerde tenör (% 23 Al_2O_3) ve verim (% 79.27) bakımından uygun sonuçlar alınmıştır.

2 - Kollektör olarak Flotigam PA diğerlerine nazaran daha uygun sonuçlar vermiş ve 500 gr./ton miktarında kullanılarak verimli sonuçlar elde edilmiştir.

3 - pH = 3' te çalışılarak yapılan deneylerde katı oranı arttıkça tenör ve verimin arttığı görülmüştür.

4 - Flotasyon zamanı azaltılarak tenörlerde artış olduğu septanmıştır.

5 - En uygun pH ayarlayıcısı H_2SO_4 olduğu belirlenmiş, tenörü (% 23.7 Al_2O_3), verimi (% 82.20) olan kaolen konsantresi elde edilmiştir.

SONUÇLAR

1- Hisersen A.Ş. Kaolen yıkama tesisinden alınan artıñın boyuta göre sınıflandırılma çalışmalarında,

a- Boyut küçültme ve boyuta göre sınıflandırma işlemleri sonunda olumlu bir sonuç alınamamıştır .

b- Hidrosiklonla yapılan ayırma işlemlerinde de besincin ve siklonun yapısındaki değişkenlerin ayarlanamaması nedeniyle hassas bir ayırma yapılamamış, bu nedenle iyi bir verim elde edilememiştir.

2- Şlamin atılması sonucu verim düşeceğinden ince kısım atılmamıştır. Ancak bu durumda flotasyonda kollektör sarfiyatı artmaktadır.

3- Flotasyon ile zenginleştirme deneylerinde :
 $\text{pH} = 3$ (16.0 kg/t H_2SO_4) Flotigam pA (500 gr/t) ile pülp yoğunluğu %40 katı koşullarında kaolen yüzdürülmüştür.
 %23.7 Al_2O_3 tenöründe %82.20 Al_2O_3 verim ile kaolen konsantresi elde edilmiştir. Batın kısım (kuvars) ta artık olarak alınmıştır .

Y A R A R L A N I L A N K A Y N A K L A R

- 1- MILLOT,G.,-Geology of Clays. Chapman-Hall. London - 1970.
- 2- IŞIK,K.,-Silikat Mineralleri İ.T.Ü. Matbaası Gümüşsuyu - 1977.
- 3- TAGGART,A.F.,-Handbook of. Mineral Dressing, John Wiley and Sons Inc, -New York - 1945.
- 4- YAVUZ,E.,- Kayaç Oluşturan Mineraller. 1978 h.ü.y.no: 29
- 5- PRYOR,E.3.,-Mineral Processing, III. edt., Elsevier Pub Comp.Lmt -England - 1974.
- 6- D.P.T.-Dördüncü 5 yıllık Kalkınma Planı Özel İhtisas Komisyonu Raporu, Metal Dışı Madenler.
- 7- ROGERS,C.P.3r.,-NEAL,3.R.,-Industrial Minerals and Rocks. 4 th. edition.American Ins.of. Min.-Met.and Petroleum Eng.Inc. New York - 1975.
- 8- SEYHAN,İ.,-Kaolen, Bentonit, Kil ve Jeolojisi. M.T.A. Eğitim Serisi No:13 -Ankara - 1972.
- 9- WOLFE,A.J.,-Mineral Resarces, Dowdnt Culver. Inc.,London - 1984. Sayfa: 207-210.
- 10- PHILLIPS,M.W.-Transactions AIME-Vol.226-1963. Sayfa:219-222.
- 11- OKUT,M., ve diğer.,M.T.A. Raporu, Balıkesir ili Sındırgı ilçesi Düvertepe ve dolaylarındaki Kaolen Etüdlerinin Raporu.
- 12- SÜMER,G.,-Seramik Sanayii El kitabı Meslek Yüksek Okulları Ders Kitapları. Ankara - 1977.
- 13- GENEL Seramik Teknolojisi. Seminer Notları Cilt-2- İstanbul Por-selen Sanayii A.Ş.- 1980.
- 14- MINING Annual Review. Published by Minning Journal,LONDON-June 1984. Sayfa:108.
- 15- Türkiye Maden Envanteri (illere göre) M.T.A. Yayınları No:179. Ankara - 1980.

- 16- SIMPSON,B., -Rocks and Minerals. Pergamon Press. ltd.-1966.
Sayfa: 190-196.
- 17- ÖNAL,G.,-Flotasyon dışındaki Cevher Hazırlama Yöntemleri.İ.T.Ü.
Maden Fak. İstanbul - 1970.
- 18- ATAK,S.,-Flotasyon İlkeleri ve Uygulaması İ.T.Ü. Maden Fak.sayı
101, İstanbul - 1974.
- 19- OKUR,E.,Simav- Dağardı Feldspatlarının Zenginleştirilme olanak-
larının araştırılması Doktora Tezi. A.Ü. Yayınları Eski-
şehir - 1984.
- 20- BARSON,R.E.-RAY,C.L.-TREWEEK,H.B.,-Plant Practice in Non meta-
lik Mineral Flotation. Froth Flotation 50 th. Aniversary
Vol. 427, AIMME, New York - 1962.
- 21- SOMASUNDARAN,P.-ARBITER,N.,-Benefication of Mineral Fines Prob-
lems and Research Needs. The American Ins. of Mining, Met.
and Petroleum En.Inc.Michigan, 1979 U.S.A..
- 22- SOMASUNDARIN,P.,-Fine Particles Pocesing. American Ins. of Mining
Metallurgical and Petroleum Eng.Inc. Vol. 2 New York-1980.
- 23- BRUYN,P.L.,-Flatation of Quartz by Cationic Collectors., Mining
Engineering Vol.7 - 1955. Sayfa:291-295.
- 24- LIDSTRON,L.,-Amine Flotation of Ore Minerals and Silicates. Acta
Polytechnica Scandinavia No:66 - Stocholm. 1967,Sayfa:71-
100.
- 25- KELLOGG,H.H.,-Flotation of Kaolinite for Removal of Quartz.Trans.
American Inst. Mining Eng. 1946. Sayfa: 548-555.
- 26- GAUDIN.A.M. and FUERSTENAU,D.W.Quartz Flotation with Cationic
Collectors Mining Engineering Vol.7, 1955- Sayfa:958-962.
- 27- MEDRONHS,R.H., and L. Svarovsky Tests to Verify hydrocyclone Scale-
up Procedure. 2 nd. International Conference on hydrocyc-
lones. England, 19-21 September, 1984.
- 28- TRAWINSKI,H.,1968, Interceram, Vol.17, Part.4,P. 300-304.

29- WILLIAMSON, P.D.; T.R. Jott; I.H. Newson. Small Particle separation
in a hydrocyclone - 2 nd. International Conference
England, September- 1984.

T. C.
Yükseköğretim Kurulu
Dokümantasyon Merkezi

