

## Feldispat Cevherinin Flotasyon ile Zenginleştirilmesinde Tane Boyutu Değişiminin Etkisi

Fırat BURAT\*<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Istanbul Teknik Üniversitesi, Maden Fakültesi, Cevher Hazırlama Mühendisliği Bölümü, İstanbul*

*Geliş tarihi: 13.03.2017*

*Kabul tarihi: 25.09.2017*

### Öz

Bu çalışma kapsamında farklı boyut aralıklarında hazırlanmış feldispat cevherinin flotasyon ile zenginleştirilmesi amaçlanmıştır. İlk aşamada mika, ikinci aşamada demirli ve renk verici mineraller yüzdürülmüş, son aşamada da feldispat/kuvars ayrımı yapılmıştır. Flotasyon işlemleri sonucunda, tüm boyut grupları için geçerli olmak üzere, ortalama %11,4 Na<sub>2</sub>O, %0,02 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve %0,03 TiO<sub>2</sub> içeren seramik ve cam endüstrisinin talep ettiği albit konsantreleri üretilmiştir. 300 µm altında yapılan flotasyon deneylerinde, her bir boyut grubunda elde edilen feldispat konsantrelerinin Na<sub>2</sub>O içerikleri birbirine çok yakın olarak bulunmuş, -300+53 µm boyut grubunda yüzdürülen feldispat miktarının artmasıyla birlikte verim %90,2'ye yükselmiştir. -212+75 µm boyut grubunda yapılan deney sonucunda ise %80,8 miktarında bir feldispat konsantresinin %85,3 Na<sub>2</sub>O verimi ile üretilebileceği anlaşılmıştır. -150+75 µm boyut grubunda yapılan deney sonucunda ise %77,4 miktarında bir feldispat konsantresi %79,6 Na<sub>2</sub>O verimi ile alınmıştır. Doğrudan öğütülmüş malzeme ile yapılan flotasyon deneylerinde ise şlam kaplama durumundan dolayı Na<sub>2</sub>O veriminde yaklaşık %10 oranında düşüş görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Feldispat, Flotasyon, Demir, Titan, Şlam

### The Effect of Particle Size Change on Enrichment of Feldspar Ore by Flotation

#### Abstract

In this study, it was aimed to enrich the feldspar ore prepared in different size fractions by flotation method. In the first stage mica was floated, at second stage ferrous and coloring minerals were floated, and finally feldspar/quartz was separated. As a result of the flotation process, the glass and ceramics industry that demand albite concentrates containing averagely 11.4% Na<sub>2</sub>O, 0.02% Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and 0.03% TiO<sub>2</sub> were produced for all size groups. In flotation experiments which were carried out below 300 µm feed size, Na<sub>2</sub>O contents of feldspar concentrates were found very close for each size group. Na<sub>2</sub>O recovery increased to 90.2% with increasing amount of feldspar floated in -300 + 53 µm size group. A feldspar concentrate with the amount of 80.8% was produced with 85.3% Na<sub>2</sub>O recovery at -212 + 75 µm size fraction. Similarly, 77.4% amount of feldspar concentrate was obtained with 79.6% Na<sub>2</sub>O recovery in the -150 + 75 µm size fraction. Flotation experiments conducted with ground material directly showed that recovery falls about 10% due to the slime coating.

**Keywords:** Feldspar, Flotation, Iron, Titanium, Slime

\*Sorumlu yazar (Corresponding author): Fırat BURAT, [buratf@itu.edu.tr](mailto:buratf@itu.edu.tr)

## 1. GİRİŞ

Feldispatlar içermiş oldukları Na, K veya Ca oranına göre albit ( $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ ), ortoklaz/mikroklin ( $\text{KAlSi}_3\text{O}_8$ ), ve anortit ( $\text{CaAlSi}_3\text{O}_8$ ) olarak isimlendirilmektedir. Na-feldispat minerali olan albit, alümina kaynağı olarak cam üretiminde, K-feldispat minerali olan mikroklin ve ortoklaz ise, daha çok porselen ve seramik üretiminde kullanılmaktadır. Ticari anortit yatağı bulunmadığından Ca-feldispat üretimi yapılmamaktadır [1, 2]. Feldispatlar başlıca cam (kristal ve optik, levha, TV, pencere), seramik ve porselen (mutfak eşyası, karo fayans, karo seramik, porselen) sektörlerinde kullanılmaktadır. Diğer sanayi dallarında sertliği, beyaz rengi ve bağlama özelliği nedeniyle aşındırıcı olarak kullanılan feldispat; kaynak çubuklarının kaplanmasında, yapay mermer imalinde, tuğla imalinde, plastik imalinde de dolgu malzemesi olarak tercih edilmektedir [3,4]. Feldispatların satılabilirliğini etkileyen başlıca kimyasal bileşenlerin başında alkali ( $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ), demir ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) ve titan ( $\text{TiO}_2$ ) içerikleri gelmektedir. Cam endüstrisi için ilave olarak alümina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) içeriği önemlidir [5]. Alümina cam ve seramiğin dayanımını artırırken alkali içeriği ise erime sıcaklığını düşürerek pişme, ya da ergime süresinin kısalmasına imkan verir. Feldispatın en çok tüketildiği seramik ve cam sektörlerindeki en önemli ortak nokta demir ve titan içeriğidir. Züccaciye camında demirin 400 ppm'in altında olması gerekmektedir. Seramik endüstrisinde ise, titan oksit içeriği de demir kadar belirleyici olup, demir ve titan içeriği düştükçe pişme rengi beyazlaşmakta ve feldispatın fiyatını arttırıcı bir unsur olmaktadır. Seramik sanayi hammaddesi için Na ve K feldispatlarının içindeki safsızlıkların giderilmesi,  $\text{K}_2\text{O}$  ve  $\text{Na}_2\text{O}$  içeriklerinin Çizelge 1'de verilen sınırlarda ve ürünlerin beyaz pişme renginde olması gerekmektedir [6,7]. Cam üretiminde kullanılacak feldispat üretimi için, kuru manyetik ayırma işlemi ile mika (biyotit, muskovit) ve demir oksit mineralleri ayrılabilen; seramik endüstrisinin talep ettiği ( $\text{TiO}_2 < 0,10$ ) yüksek kaliteli Na-feldispat konsantresi üretilmesi, rutil ve sfenin manyetik alınganlıklarının çok düşük olması nedeniyle ancak flotasyonla mümkün olmaktadır.

**Çizelge 1.** Seramik sektöründe kullanılan feldispat cevherleri kimyasal bileşimleri [7]

Bileşim, %	Na-feldispat	K-feldispat
$\text{SiO}_2$	65-70	65-70
$\text{CaO} + \text{MgO}$	<1,5	<1,5
$\text{Al}_2\text{O}_3$	17-18	13-15
$\text{K}_2\text{O}$	0,5-3	>8
$\text{Na}_2\text{O}$	7-11	<4
$\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{TiO}_2$	<0,1	<0,1

Bayraktar vd. [6], Seyrankaya vd. [8] ve Çelik vd. [9] titan minerallerini yüzdürmek amacıyla zayıf asidik pH'da sukkinamat, alkil sülfat ve sülfonat, çeşitli bitkisel yağlar ve bunların sabunlarını kullanarak flotasyon çalışmaları gerçekleştirmişlerdir. Genel olarak, titan-demir oksit mineralleri ile mikanın birlikte yüzdürülmesi amacıyla yapılan flotasyon çalışmalarında tam başarı sağlanamamıştır. Bu nedenle mika ve oksit minerallerini birlikte içeren cevherlerin flotasyonunda mikanın ve sonra da demir-titan oksitli minerallerin yüzdürülmesi ile daha başarılı sonuçlar alınmaktadır. Mika flotasyonu için pH, sülfirik asitle 2,5-3'e ayarlanmakta ve amin türü bir toplayıcı ile mika, verimli bir şekilde yüzdürülebilmektedir. İkinci aşamada demir içeren mineraller pH 3-3,5 arasına ayarlanarak anyonik toplayıcılar (yağ asitleri veya petrol sülfonatları) ile yüzdürülür [6,10]. Feldispat içerisindeki serbest kuvars hammaddenin kalitesini düşürmektedir. Manyetik ayırma veya flotasyonla elde edilen konsantrelerden renkli minerallerin ayrılmasından sonraki son aşama kuvarsın flotasyonla ayırımıdır. Feldispat kuvars ayırımında geleneksel olarak HF (hidroflorik asit) kullanılan amin flotasyonu uygulanmaktadır. Bu amaçla, ortam pH'sı 2,5-3'e ayarlandıktan sonra HF varlığında feldispat, uzun zincirli bir amin ve köpürtücü ile yüzdürülerek kuvarstan ayrılmaktadır [10,11]. Bu işlemin en olumsuz tarafı çevresel açıdan sorunlu olan HF kullanımınıdır [6,12,13]. Son yıllarda çevresel zararı

çok daha az olan farklı reaktifler ile feldispat kuvars ayırımını sağlayabilecek alternatif yöntemler araştırılmıştır. HF kullanılmadan yapılan feldispat kuvars ayırımında Duomeen TDO (dimindioleat) ile başarılı sonuçlar elde edilmesine karşılık, feldispat/kuvars ayırımında seçimliliğin pH 3 üzerinde tamamen kaybolduğu belirtilmiştir [2]. Kalyon ve Gülsoy [2] feldispat kuvars ayırımında hidroflorik asit kullanmadan yapılan flotasyon çalışmalarının sonuçlarını karşılaştırmıştır. Bu çalışmanın sonucunda feldispat-kuvars ayırımındaki en başarılı yöntemin HF/amin yöntemi olduğu; Duomeen TDO'nun ise en başarılı ayırımın sağlandığı HF'siz ayırım yöntemi olduğunu belirtmişlerdir. Flotasyon sistemlerinin başarısını sağlayan diğer önemli olaylardan biri, serbestleşme derecesidir. Menderes bölgesindeki albit cevherinin yeterli serbestleşme derecesine gelmesi için cevherin 300 mikron ( $\mu\text{m}$ ) altına öğütülmesi gerekmektedir. Oksit flotasyonunda, bazı bölgelerde 300  $\mu\text{m}$  tane boyutu istenmeyen minerallerin serbestleşmesine yetmemekte ve daha ince boyutlara da öğütme gerekmektedir. Genel olarak cevher 200  $\mu\text{m}$  altına öğütüldüğünde ise serbestleşme açısından hiç bir problem kalmamaktadır. Daha ince boyutlara öğütme işlemi ise daha fazla şlam yapıcı malzemenin oluşmasına sebep olmaktadır. Flotasyon sırasında şlamla kaplanma, yüzmesi istenen mineralin köpüğe bağlanmasını önleyebildiği gibi, bu mineralle birlikte şlam teşkil eden minerallerin de köpük fazında toplanmasına sebep olabilmekte, şlamı meydana getiren minerallerle yüzdürülmek istenen mineraller, benzer mineralojik yapıda olduğundan seçimli ayırma güçleşmektedir. Geniş yüzey alanı oluşturan şlam, kollektörü adsorbe ederek kullanılan kollektör miktarlarını artırır. Bu nedenle şlam, genellikle flotasyon öncesi uzaklaştırılır [6,14].

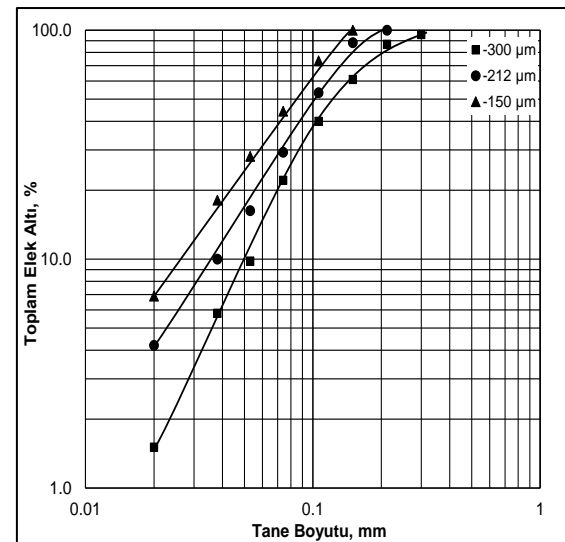
Bu çalışma kapsamında, Muğla-Milas bölgesinden temin edilen ve esas olarak albit (sodyum feldispat) içeren cevherin flotasyon ile zenginleştirilmesinde tane iriliğinin etkisi araştırılmıştır. Üç aşamalı flotasyon deneylerinde mika minerallerini yüzdürmek amacıyla asidik ortamda amin, ağır mineralleri yüzdürmek için yine asidik ortamda sülfonat kullanılmıştır. Son

aşamada ise HF varlığında feldispat/kuvars ayırımı yapılmış, elde edilen ürünlerin  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  ve  $\text{TiO}_2$  içerikleri ve verimleri birbirleriyle karşılaştırılmıştır.

## 2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

### 2.1. Malzeme

Çalışmalarda, Muğla-Milas Bölgesi'nde faaliyet gösteren özel bir şirkete ait flotasyon tesisine beslenen feldispat (albit) cevheri kullanılmıştır. Cevher, tesiste boyut küçültme işleminden sonra Slon manyetik ayırıcısından geçirilmekte ve elde edilen manyetik olmayan ürün flotasyon ile zenginleştirilmektedir. Deneylere esas olan numunenin tane boyut dağılımının tespiti amacıyla ilk olarak yaş elek analizi gerçekleştirilmiştir. Elek analizi sonuçlarına göre malzemenin yaklaşık 300  $\mu\text{m}$  altına bulunduğu,  $d_{80}$  boyutunun ise 200  $\mu\text{m}$  olduğu tespit edilmiştir. Tane boyutunun flotasyondaki etkisinin belirlenmesi amacıyla, ayrıca seramik bilyalı değirmen kullanılarak farklı sürelerde kademeli öğütme işlemleri yapılmış ve malzemenin tamamı 212 ve 150  $\mu\text{m}$  altına öğütülmüştür. Deneysel çalışmalarda kullanılan 3 farklı boyuttaki numunenin elek analiz eğrileri Şekil 1'de verilmektedir.



Şekil 1. Flotasyon çalışmalarında kullanılan numunelerin elek analiz eğrileri

Öğütme sonuçlarına göre, -212  $\mu\text{m}$  ve -150  $\mu\text{m}$  boyutundaki numunelerin  $d_{80}$  boyutları sırasıyla, 160 ve 120  $\mu\text{m}$  olarak bulunmuştur. Tane boyutu alt sınırının değişiminin flotasyon üzerindeki etkisinin araştırılması amacıyla, 3 farklı boyuta sahip numuneler 75, 53, 38 ve 20  $\mu\text{m}$  elek açıklığındaki elekler kullanılarak ince malzeme uzaklaştırılmış ve flotasyon deneylerinde üst ve alt boyut grubu farklı malzemeler kullanılmıştır.

Deneylere esas olan numunenin kimyasal analizi XRF metodu kullanılarak gerçekleştirilmiş, sonuçları Çizelge 2’de verilmiştir.

**Çizelge 2.** Numunenin kimyasal analizi

Eleman	İçerik, %	Eleman	İçerik, %
SiO <sub>2</sub>	68,95	CaO	0,60
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	18,84	K <sub>2</sub> O	0,21
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,10	MgO	0,18
TiO <sub>2</sub>	0,28	K.K.	0,63
Na <sub>2</sub> O	10,21	Toplam	100,0

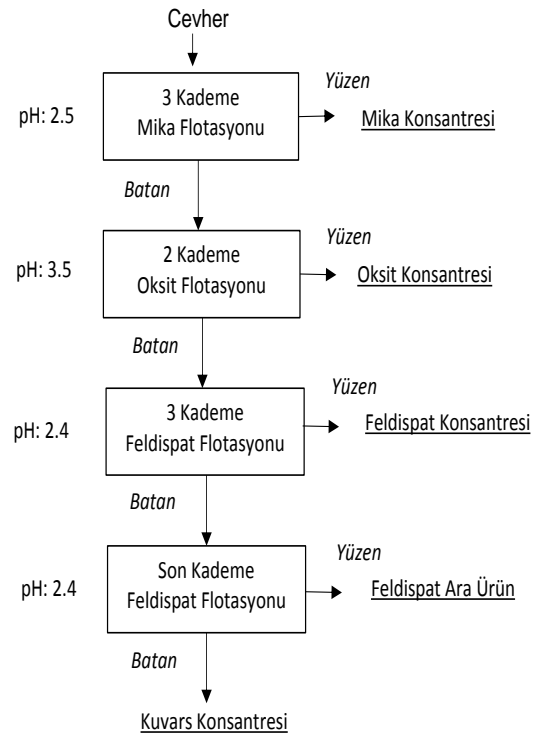
## 2.2. Flotasyon Çalışmaları

Flotasyon çalışmaları, Denver tipi kendinden havalandırılmalı laboratuvar ölçekli flotasyon makinesi ile 1500 dev/dk’da 2 litrelik flotasyon hücresi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Flotasyon deney koşulları benzer numune ile -300+63  $\mu\text{m}$  boyut grubunda yapılan bir çalışmaya göre esas alınmıştır. Flotasyon koşulları Çizelge 3’de, deneysel çalışmalar ise Şekil 2’de verilen akım şeması izlenerek gerçekleştirilmiştir.

Flotasyon deneylerinde pH ayarlayıcı olarak NaOH ve H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> tercih edilmiştir. Mika flotasyonunda katyonik bir toplayıcı olan DAHC (dodesil amonyum hidroklorit) kullanılmış, demirli ve renk verici minerallerin flotasyonunda ise toplayıcı olarak sülfonatlar (R801+R825) tercih edilmiştir. Deneylerde köpürtücü olarak MIBC (Metil İso Butil Karbinol) kullanılmış, feldispatı

canlandırmak ve kuvarısı bastırmak amacıyla feldispat devresinin ilk kademesinde HF ilave edilmiştir. Ayrıca, seçimli olarak feldispat minerallerinin yüzdürülmesi için katyonik bir toplayıcı olan Flotigam V-4343 kullanılmıştır.

Mika, oksit ve feldispat/kuvars ayırımı olmak üzere 3 aşamada gerçekleştirilen deneylerin ilk aşamasında mika mineralleri pH 2,5’de amin türü DAHC kullanılarak 3 kademe seçimli olarak yüzdürülmüştür. İkinci aşamada Fe ve Ti oksit mineralleri pH 3,5’de petrol sülfonatlar (R-801 ve R-825) ile 2 kademe sonunda ayrılmış, son aşamada ise pH 2,4’e indirilerek, HF varlığında katyonik bir toplayıcı olan V-4343 ile feldispat-kuvars ayırımı yapılmıştır. Bu devre 4 kademe olarak gerçekleştirilmiştir. İlk 3 kademe feldispat konsantresi alınmış, feldispat devresinin son kademesinde ise kuvars tanelerinin bulunduğu gözlemlendiğinden bu ürün feldispat ara ürün olarak adlandırılmıştır.



**Şekil 2.** Feldispat flotasyonu akım şeması

**Çizelge 3.** Flotasyon deneyinin şartları

Boyut, $\mu\text{m}$	-300+63
Başlangıç PKO, %	20
Başlangıç pH	7,35
Karıştırma Hızı, dev./dak.	1500
<b>Mika Devresi</b>	
pH	2,5
DAHC, g/t	100+100+100
MIBC, g/t	60+0+0
Kıvam Süresi	5+3+3
Flotasyon Süresi	2+2+2
<b>Oksit devresi</b>	
pH	3,4
R801, g/t	400+400
R825, g/t	400+400
Kıvam Süresi, dakika	3+3
Flotasyon Süresi, dakika	3+3
<b>Feldispat Devresi</b>	
pH	2,5
HF, g/t	1000
Kıvam Süresi, dakika	15
V4343, g/t	400+400+400+400
MIBC, g/t	0+20+20+0
Kıvam Süresi, dakika	2+1+1+1
Flotasyon Süresi, dakika	2+1+1+1

### 3. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA

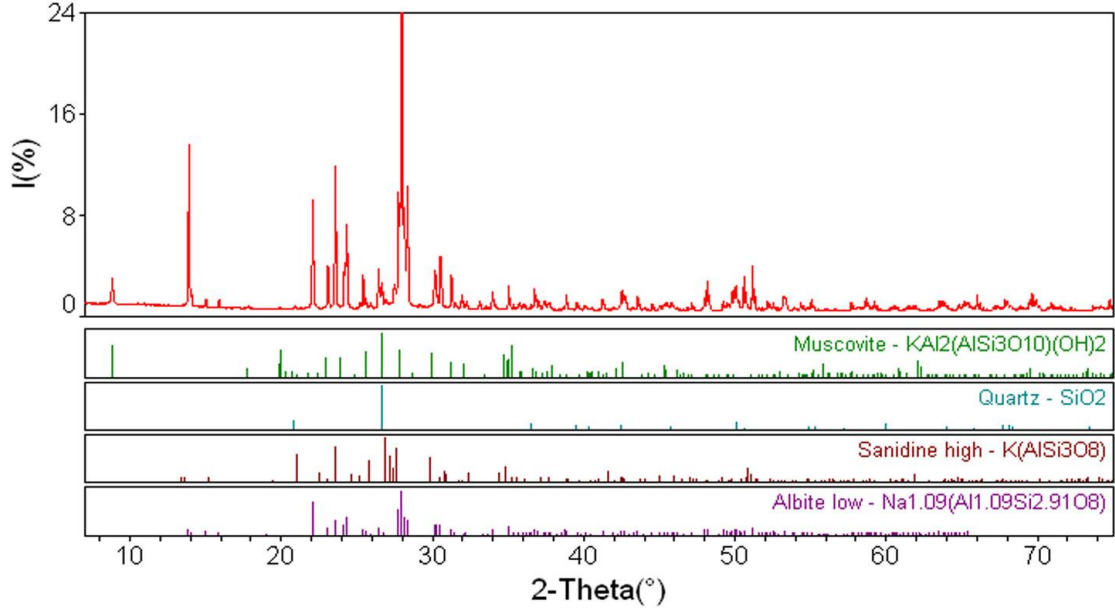
#### 3.1. -300 $\mu\text{m}$ Boyutunda Yapılan Deneyler

Gülsoy ve arkadaşları [15] ile Terzi ve Kurşun [1] çalışmalarında feldispat cevherinin farklı besleme boyutlarındaki flotasyon davranışlarını incelemiştirler. -0,5 mm boyut grubundaki numune ile gerçekleştirilen flotasyon deneyi sonucunda tane serbestleşmesinin yeterli düzeyde olmamasından dolayı konsantre içerisindeki demir ve titan oksit içeriği yüksek bulunmuş, -300  $\mu\text{m}$ 'dan daha küçük boyutlarda ise tane serbestleşmesi arttığından çok daha temiz bir konsantre elde edilmiştir. Bu amaçla, ilk grup

flotasyon deneyleri -300  $\mu\text{m}$  boyutundaki malzeme ile gerçekleştirilmiştir. Elek yardımıyla -300+75  $\mu\text{m}$ , -300+53  $\mu\text{m}$ , -300+38  $\mu\text{m}$  ve -300+20  $\mu\text{m}$  boyut aralıklarına sınıflandırılan numune ile sabit tutulan flotasyon koşullarında deneyler yapılmıştır. Bu deneyler sonucunda elde edilen ürünlerin  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}_2$  ve  $\text{Na}_2\text{O}$  içerik ve verimleri Çizelge 4'te verilmiştir.

Kalyon ve Gülsoy [2] feldispat kuvars ayırımı üzerinde çok başarılı olduğu bilinen HF-Amin yöntemini uygulamışlardır. Deneylerinde amin türü, katyonik bir toplayıcı olan Armac TD (tallow amin asetat) kullanmışlardır. pH 2,5-3,0 arasında 250 g/t Armac TD ve 800 g/t HF ekleyerek yaptıkları deney sonucunda %10,51  $\text{K}_2\text{O}$  ve %2,43  $\text{Na}_2\text{O}$  içerikli bir feldispat konsantresi elde etmişlerdir. Hücrede kalan ürünün alkali içeriği (%0,64  $\text{K}_2\text{O}$  ve %0,15  $\text{Na}_2\text{O}$ ) düşük düzeydedir.

HF-Amin yönteminin kullanıldığı bu çalışmanın ilk grup deneylerinde elde edilen  $\text{Na}_2\text{O}$  içeriklerinin birbirine yakın olduğu görülmektedir. -300+75  $\mu\text{m}$  boyut grubunda %89,4  $\text{Na}_2\text{O}$  verimi elde edilirken, benzer içerikte daha fazla miktarda feldispat konsantresinin elde edilmesiyle -300+53  $\mu\text{m}$  boyut grubunda  $\text{Na}_2\text{O}$  verimi %90,2'ye yükselmiştir. Daha küçük alt boyutlarda yapılan deneylerde ise yüzen feldispat miktarı azalmış ve  $\text{Na}_2\text{O}$  verimi düşmüştür. Bu durumun sebebinin ince boyutlu feldispat minerallerinin mika ve oksit devresinde yüzmesidir. Benzer olarak, son devrede yapılan feldispat flotasyonun ilk kademesinde feldispat araürüne kaçmış ve  $\text{Na}_2\text{O}$  verimi düşmüştür. 300  $\mu\text{m}$  altında bütün boyut gruplarında yapılan flotasyon işlemleri sonucunda, ortalama %0,03  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , %0,04  $\text{TiO}_2$  ve %11,4  $\text{Na}_2\text{O}$  içeren seramik ve cam endüstrisinin talep ettiği albit konsantrelerinin üretimi mümkün olmuştur. Cevher içindeki mika kaynaklı demir ve  $\text{Al}^{+3}$  ile yer değiştirerek mika bünyesine giren  $\text{Ti}^{+4}$ 'ün manyetik ayırma uygulaması ile uzaklaştırılması mümkündür. Flotasyon işlemlerinin ilk kademesi olan mika devresinde muskovit ve biyotit gibi mika minerallerinin yüzmesi sonucunda  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  ve  $\text{TiO}_2$  içerikleri artabilmektedir [5-6,8].



Şekil 3. -300+75 µm boyutundaki mika konsantrasyonunun XRD analizi

Çizelge 4. -300 µm’da farklı boyut grupları ile yapılan flotasyon deneylerinin sonuçları

Boyut Araştırma µm	Ürünler	Miktar %	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , %		TiO <sub>2</sub> , %		Na <sub>2</sub> O, %	
			İçerik	Verim	İçerik	Verim	İçerik	Verim
-300+75	Feldispat	85,5	0,03	37,7	0,03	21,6	11,02	89,4
	Feldispat AÜ	4,8	0,05	4,2	0,10	4,0	9,93	4,5
	Kuars	2,2	0,03	1,1	0,18	3,3	1,07	0,2
	Oksit	5,2	0,18	15,3	0,51	22,3	11,17	5,5
	Mika	2,3	1,11	41,7	2,52	48,8	1,94	0,4
	<b>Toplam</b>	<b>100,0</b>	<b>0,06</b>	<b>100,0</b>	<b>0,12</b>	<b>100,0</b>	<b>10,55</b>	<b>100,0</b>
-300+53	Feldispat	87,5	0,02	23,1	0,04	17,3	11,38	90,2
	Feldispat AÜ	2,0	0,06	1,6	0,07	0,7	8,63	1,6
	Kuars	2,0	0,04	1,1	0,16	1,6	1,01	0,2
	Oksit	6,1	0,51	41,0	1,15	34,7	12,86	7,1
	Mika	2,4	1,05	33,2	3,85	45,7	4,05	0,9
	<b>Toplam</b>	<b>100,0</b>	<b>0,08</b>	<b>100,0</b>	<b>0,20</b>	<b>100,0</b>	<b>11,03</b>	<b>100,0</b>
-300+38	Feldispat	80,4	0,02	19,5	0,03	11,5	11,56	84,1
	Feldispat AÜ	2,1	0,05	1,3	0,09	0,9	9,36	1,8
	Kuars	2,0	0,05	1,2	0,10	1,0	2,28	0,4
	Oksit	10,4	0,27	34,1	0,22	10,9	11,65	11,0
	Mika	5,1	0,71	43,9	3,10	75,7	5,81	2,7
	<b>Toplam</b>	<b>100,0</b>	<b>0,08</b>	<b>100,0</b>	<b>0,21</b>	<b>100,0</b>	<b>11,04</b>	<b>100,0</b>
-300+20	Feldispat	77,0	0,03	25,1	0,03	9,1	11,24	80,3
	Feldispat AÜ	2,6	0,04	1,1	0,10	1,0	10,85	2,6
	Kuars	2,5	0,03	0,8	0,15	1,5	1,04	0,2
	Oksit	11,4	0,23	28,5	0,45	20,3	11,54	12,2
	Mika	6,5	0,63	44,5	2,65	68,1	7,82	4,7
	<b>Toplam</b>	<b>100,0</b>	<b>0,09</b>	<b>100,0</b>	<b>0,25</b>	<b>100,0</b>	<b>10,79</b>	<b>100,0</b>

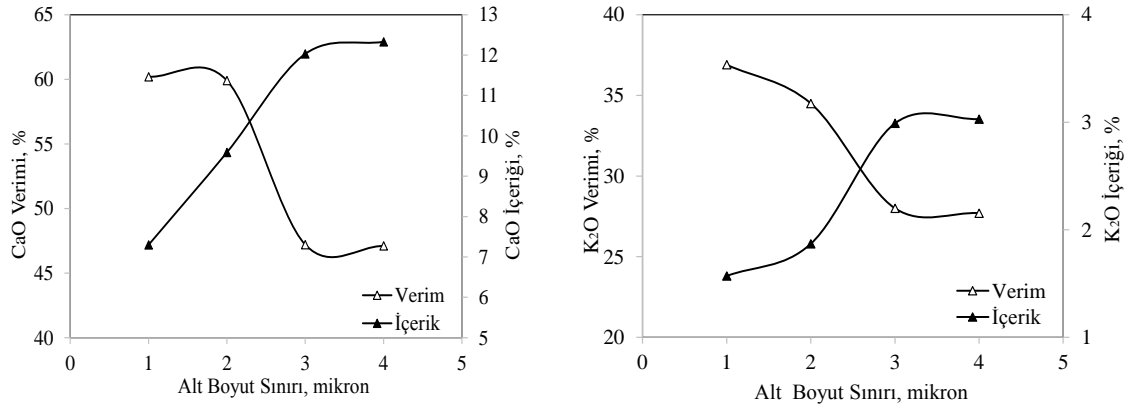
Deneysel çalışmalar sonucunda tüm boyut gruplarında elde edilen feldispat konsantrelerinin demir ve titan oksit içeriği cam ve seramik sanayinin limitlerinin (Çizelge 1) altında kalmakta ve ayrıca yüksek  $Al_2O_3$  (ortalama %19,4) içeriği de ek bir avantaj sağlamaktadır. Özellikle, mika konsantrelerindeki demir ve titan içerikleri çok yüksek bulunmuştur. Bu sebeple, -300+75  $\mu m$  boyutundaki mika konsantreresinden alınan örnek numunenin XRD analizi yaptırılarak bunun sebebi araştırılmıştır.

Şekil 3'de gösterilen feldispat pikleri, plajiolaz grubunda yer alan albit ve oligoklaz mineralleri ile alkali feldispat grubunda olan ortoklaz minerallerini, mika pikleri ise muskovit ve biyotit mineralini göstermektedir. Ayrıca, mika konsantresindeki  $K_2O$  ve  $CaO$  içeriklerinin beslenen malzemeye oranla 10 kat daha fazla olduğu ortaya çıkmıştır. Bu sebeple  $K_2O$  ve  $CaO$  içerik ve verimlerinin değişimi incelenmiş ve sonuçlar Şekil 4'te gösterilmiştir. Alt boyut sınırının artmasıyla  $K_2O$  ve  $CaO$  verimleri düşmekte, içerikleri ise artmaktadır. İnce boyut miktarının fazla olduğu düşük alt sınırlarda ortoklaz ve anortit mineralleri mika devresinde yüzmekte, bu nedenle  $K_2O$  ve  $CaO$  verimleri

yüksek olmaktadır. Bununla beraber, mika konsantresinde yoğun olarak bulunan muskovit minerali ( $KAl_2(OH)_2(AlSi_3O_{10})$ )  $K_2O$  içeriğini, aynı şekilde sfen ( $CaTiSiO_5$ ) mineralinin ise  $TiO_2$  ve  $CaO$  içeriğini arttırdığı düşünülmektedir.

Boyut alt sınırı küçüldükçe mika konsantreresinin miktarında meydana gelen artış dikkat çekmektedir. Bu artışın sebebi beslenen malzeme içerisindeki ince boyutlu feldispat miktarının artması ve mika devresinde yüzmesidir. -300+75  $\mu m$  boyut aralığında  $Na_2O$  içeriği %1,94 iken, -300+20  $\mu m$  boyut aralığında %7,82'ye kadar çıkmıştır.

Benzer olarak Kangal ve arkadaşları [16] Muğla-Milas bölgesi gnays cevherinden feldispat-kuvars ayırımını HF ve HF'siz ortamda amin tipi reaktifler kullanılarak çalışmışlardır. -300+63  $\mu m$  ve -200+63  $\mu m$  boyutlarında yapılan deneyler sonucunda feldispat konsantreresinin toplam alkali içerikleri birbirlerine yakın olarak bulunmuş, ancak -200+63  $\mu m$  boyut aralığında feldispatın oksit devresinde yüzen ürüne kaçmasından dolayı -300+63  $\mu m$  aralığında elde edilen feldispat konsantreresinin verimi çok daha yüksek olmuştur.



Şekil 4. Mika konsantrelerinde tane boyutu alt sınırının değişiminin  $CaO$  ve  $K_2O$  tenörü ve dağılımına etkisi

### 3.2. -212 $\mu m$ Boyutunda Yapılan Deneyler

Tamamı 212  $\mu m$  altındaki numune; -212+75, -212+53, -212+38 ve -212+20  $\mu m$  boyut

aralıklarına sınıflandırılmış ve her boyut grubu ile sabit tutulan flotasyon koşullarında deneyler yapılmıştır. Tane boyutunun küçülmesi ve alt boyut sınırının etkisiyle birlikte feldispat-kuvars

devresinde çok az miktarda (%0,3'den az) feldispat araürünü ve kuvars konsantresi elde edilmiş ve bu nedenle son devre yapılmamıştır. Deneyler mika ve oksit flotasyonu olmak üzere 2 aşamada gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmalara ait sonuçlar Çizelge 5'de verilmiştir

Çizelge 5 incelendiğinde, alt boyut sınırının artması ile feldispat konsantresinin miktarının arttığı görülmektedir. Tüm boyut gruplarındaki feldispat konsantrelerinin Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, TiO<sub>2</sub> ve Na<sub>2</sub>O içeriklerinin birbirine yakın olduğu, -212+75 µm boyut grubunda yapılan deney sonucunda ise %80,8 miktarda bir feldispat konsantresinin %85,3 Na<sub>2</sub>O verimi ile üretilebileceği

anlaşılmıştır. Daha düşük alt boyut sınırlarında yapılan beslemede artan ince boyutlu malzemenin mika ve oksit devresinde yüzen ürüne kaçarak Na<sub>2</sub>O içeriğini arttırdığı görülmüştür. Buna paralel olarak feldispat devresindeki yüzen ürün azalmış ve bir önceki üst besleme boyutuna göre Na<sub>2</sub>O veriminde düşüş gözlemlenmiştir. Ayrıca, mika ve renk verici minerallerin uzaklaştırılması açısından -300 µm boyutuna göre daha başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Bunun sebebi ise besleme boyutunun küçülmesine bağlı olarak tane serbestleşmesinin artmasıdır [1, 15, 17]. Tüm boyut gruplarında ortalama olarak %0,02 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve %0,03 TiO<sub>2</sub> içerikleri ile kaliteli bir feldispat konsantresi elde edilmiştir.

**Çizelge 5.** -212 µm'da farklı boyut grupları ile yapılan flotasyon deneylerinin sonuçları

Boyut Aralığı µm	Ürünler	Miktar %	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , %		TiO <sub>2</sub> , %		Na <sub>2</sub> O, %	
			İçerik	Verim	İçerik	Verim	İçerik	Verim
-212+75	Feldispat	80,8	0,02	33,2	0,03	19,9	11,33	85,3
	Oksit	8,7	0,06	10,7	0,1	7,1	11,01	8,9
	Mika	10,5	0,26	56,1	0,85	73,0	5,92	5,8
	<b>Toplam</b>	<b>100,0</b>	<b>0,05</b>	<b>100,0</b>	<b>0,12</b>	<b>100,0</b>	<b>10,73</b>	<b>100,0</b>
-212+53	Feldispat	71,6	0,02	21,2	0,03	11,3	11,28	75,0
	Oksit	10,8	0,07	11,2	0,12	6,8	11,3	11,3
	Mika	17,6	0,26	67,6	0,88	81,9	8,4	13,7
	<b>Toplam</b>	<b>100,0</b>	<b>0,07</b>	<b>100,0</b>	<b>0,19</b>	<b>100,0</b>	<b>10,78</b>	<b>100,0</b>
-212+38	Feldispat	68,7	0,02	17,3	0,03	9,4	11,39	72,3
	Oksit	11,5	0,09	13,0	0,12	6,3	10,86	11,5
	Mika	19,8	0,28	69,7	0,93	84,3	8,85	16,2
	<b>Toplam</b>	<b>100,0</b>	<b>0,08</b>	<b>100,0</b>	<b>0,22</b>	<b>100,0</b>	<b>10,83</b>	<b>100,0</b>
-212+20	Feldispat	65,8	0,02	13,9	0,03	8,0	11,21	70,1
	Oksit	13	0,12	16,5	0,09	4,8	10,97	13,5
	Mika	21,2	0,31	69,6	1,01	87,2	8,14	16,4
	<b>Toplam</b>	<b>100,0</b>	<b>0,09</b>	<b>100,0</b>	<b>0,25</b>	<b>100,0</b>	<b>10,53</b>	<b>100,0</b>

### 3.3. -150 µm Boyutunda Yapılan Deneyler

Tamamı 150 µm boyutu altındaki numune; 75, 53, 38 ve 20 µm elek açıklığına sahip elekler kullanılarak -150+75 µm, -150+53 µm, -150+38 µm ve -150+20 µm boyut aralıklarında sınıflandırılmış ve her boyut grubu ile sabit tutulan flotasyon koşullarında deneyler yapılmıştır. Tane

boyutunun küçülmesi ve alt boyutun etkisiyle birlikte feldispat-kuvars devresinde çok az miktarda (%0,1'den az) feldispat araürünü ve kuvars konsantresi elde edildiğinden son devre yapılmamış, deneyler mika ve oksit flotasyonu olmak üzere 2 devrede gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmalara ait sonuçlar Çizelge 6'da verilmiştir.



Numunenin daha uzun sürede öğütülmesi sonucunda ince boyutlu malzeme miktarı ve buna bağlı olarak da şlam miktarı artmaktadır. Çizelge 6'da görüldüğü üzere, ince boyutlu malzeme özellikle oksit devresinde kaybedilmiş ve feldispat devresinde yüzen miktarı azalmıştır. Boyut gruplarında elde edilen Na<sub>2</sub>O içeriği benzer olduğundan Na<sub>2</sub>O verimi de alt boyut sınırının küçülmesiyle giderek azalmaktadır. Feldispat konsantrelerinin Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, TiO<sub>2</sub> ve Na<sub>2</sub>O içeriklerinin

birbirine yakın olduğu, -150+75 µm boyut grubunda yapılan deney sonucunda ise %77,4 miktarında bir feldispat konsantrisinin %11,45 Na<sub>2</sub>O içeriği ve %79,6 Na<sub>2</sub>O verimi ile üretilebileceği anlaşılmıştır. -150+20 µm boyut grubunda serbestleşmenin yüksek ve beslenen malzemenin çoğunun oksit ve mika devresinde kaybedilmesinden dolayı Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve TiO<sub>2</sub> içeriği yaklaşık %0,01 olan bir feldispat konsantrisi elde edilmiştir.

**Çizelge 6.** -150 µm'da farklı boyut grupları ile yapılan flotasyon deneylerinin sonuçları

Boyut Aralığı µm	Ürünler	Miktar %	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , %		TiO <sub>2</sub> , %		Na <sub>2</sub> O, %	
			İçerik	Verim	İçerik	Verim	İçerik	Verim
-150+75	Feldispat	77,4	0,02	38,4	0,03	22,5	11,45	79,6
	Oksit	19,9	0,08	39,5	0,13	25,0	10,95	19,6
	Mika	2,7	0,33	22,1	2,01	52,5	3,54	0,9
	<b>Toplam</b>	<b>100,0</b>	<b>0,04</b>	<b>100,0</b>	<b>0,10</b>	<b>100,0</b>	<b>11,14</b>	<b>100,0</b>
-150+53	Feldispat	69,8	0,02	20,3	0,02	8,2	11,48	73,1
	Oksit	25,5	0,14	51,8	0,26	39,0	10,87	25,3
	Mika	4,7	0,41	28,0	1,91	52,8	3,74	1,6
	<b>Toplam</b>	<b>100,0</b>	<b>0,07</b>	<b>100,0</b>	<b>0,17</b>	<b>100,0</b>	<b>10,96</b>	<b>100,0</b>
-150+38	Feldispat	64,3	0,02	15,5	0,03	9,2	12,11	69,9
	Oksit	27,8	0,15	50,2	0,36	47,8	10,99	27,4
	Mika	7,9	0,36	34,3	1,14	43,0	3,67	2,6
	<b>Toplam</b>	<b>100,0</b>	<b>0,08</b>	<b>100,0</b>	<b>0,21</b>	<b>100,0</b>	<b>11,13</b>	<b>100,0</b>
-150+20	Feldispat	45,2	0,01	5,5	0,01	1,8	11,87	50,5
	Oksit	33,2	0,13	52,5	0,26	34,4	11,47	35,8
	Mika	21,6	0,16	42,0	0,74	63,8	6,73	13,7
	<b>Toplam</b>	<b>100,0</b>	<b>0,08</b>	<b>100,0</b>	<b>0,25</b>	<b>100,0</b>	<b>10,63</b>	<b>100,0</b>

### 3.4. Şlamın Etkisinin Araştırıldığı Flotasyon Çalışmaları

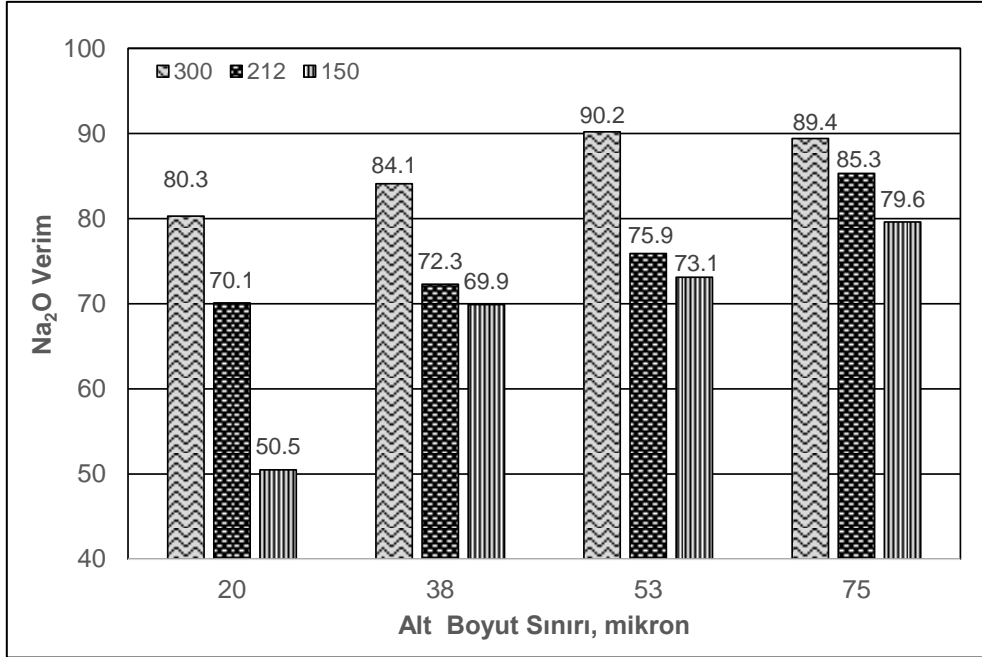
Geniş yüzey alanı oluşturan ince boyutlu mineral parçacıkları kollektörü adsorbe ederek ve iri boyuttaki mineral parçacıklarının yüzeylerini kaplayarak flotasyonu olumsuz yönde etkilemeleri nedeniyle flotasyon işlemi öncesi atılmaları gerekir [17,18]. Fuerstenau ve arkadaşları [19] çalışmalarında şlam kaplama yoğunluğu (miligram şlam/gram mineral) ile flotasyon randımanı ve elektriksel çift tabaka arasında bağıntı kurmuş ve şlam kaplama mekanizmasını elektriksel çift

tabaka yardımıyla açıklamaya çalışmışlardır. Tefek [20] şlamın kollektör tüketiminden ziyade mineral yüzeylerini kaplama nedeniyle flotasyonu olumsuz yönde etkilediğini belirtmiştir.

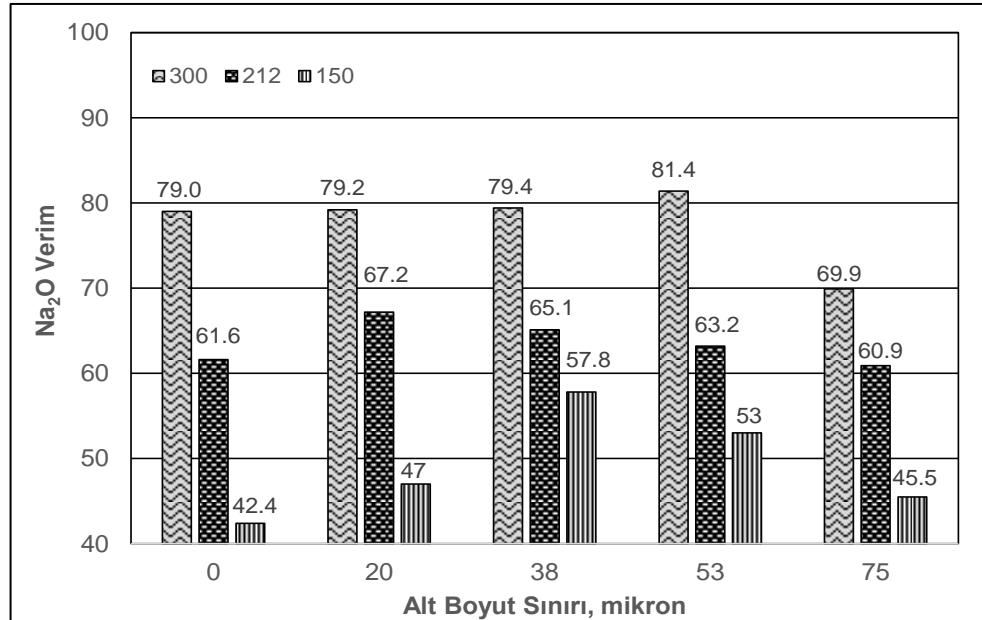
Şlamın flotasyon üzerindeki etkisinin araştırılması amacıyla, tamamı 300, 212 ve 150 µm altına hazırlanmış numuneler ile şlam oluşturan ince boyutlu malzeme uzaklaştırılmadan, doğrudan daha önce sabit tutulan şartlarda flotasyon deneyleri gerçekleştirilmiştir. Karşılaştırma yapılması amacıyla daha önceki deneylerde elde edilen ürünlerin alt boyut sınırlarındaki miktarlar

toplam beslenene dahil edilerek değerlendirme yapılmıştır. Şekil 5 ve 6'da farklı besleme ve alt boyut gruplarında yapılan flotasyon işlemleri

sonucunda elde edilen feldispat konsantrelerinin deneye ve toplam beslenene göre Na<sub>2</sub>O veriminin değişimi gösterilmektedir.



Şekil 5. Deneye göre Na<sub>2</sub>O verimi değişimi



Şekil 6. Toplam beslenene göre Na<sub>2</sub>O verimi değişimi

Şekil 5'te görüldüğü üzere alt boyut küçüldükçe elde edilen feldispat konsantrisinin Na<sub>2</sub>O verimi azalmaktadır. -150+38 µm aralığında yaklaşık %70 Na<sub>2</sub>O verimi ile bir feldispat konsantrisi elde edilirken, bu değer -150+20 µm aralığında yaklaşık %20 azalarak %50,5'e düşmüştür. Öğütme süresinin artması ile daha fazla üretilen ince boyutlu malzeme iri boyutlu feldispat tanelerinin üzerine kaplamış ve flotasyon verimini düşürmüştür. Bu gruplardaki en iyi sonuç olan %90,2 Na<sub>2</sub>O verimine -300+53 µm grubunda ulaşılmıştır. Şekil 6'da gösterildiği üzere, alt boyut sınırındaki miktarlar hesaba dahil edildiğinde toplam girene göre en sert düşüş 75 µm boyutunda olmuştur. Bunun nedeni 75 µm altına geçen malzemenin miktarının diğer alt boyutlara göre çok daha fazla oluşudur. 300, 212 ve 150 µm altındaki malzemenin 75 µm elenmesi suretiyle malzemenin %22, %29 ve %44'ü elek altına geçmektedir. Bu nedenle; -300, -212 ve -150 µm üst besleme boyutları için sırasıyla yaklaşık %20, %24 ve %34 verim düşüşü gerçekleşmiştir. Toplam beslenene göre bir değerlendirme yapıldığında, en yüksek Na<sub>2</sub>O verimine (%81,4) -300+53 µm boyut grubunda ulaşılmıştır. Şlam uzaklaştırılmadan, doğrudan yapılan flotasyon deneylerinde ise Na<sub>2</sub>O verimleri bir önceki gruba göre yaklaşık %10 azalmaktadır. Şlam miktarının çok daha fazla olması durumunda ise Na<sub>2</sub>O verimlerinin orantılı olarak düşmesi beklenmektedir.

#### 4. SONUÇLAR

Muğla-Milas yöresi feldispat cevherinin flotasyon yöntemi ile zenginleştirilmesinde tane iriliği değişiminin etkisinin araştırıldığı bu çalışmada aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

- %10,21 Na<sub>2</sub>O, %0,28 TiO<sub>2</sub>, %0,10 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> içeriği bulunan albit içerikli feldispat cevheri flotasyonla zenginleştirilerek yüksek kalitede feldispat konsantrisi üretilmiştir.
- Flotasyon işlemi 3 aşamada yapılmış; ilk aşamada mika flotasyonu, ikinci aşamada oksit flotasyonu ve son aşamada feldispat/kuvars ayırımı gerçekleştirilmiştir.

- Mika devresinde amin türü toplayıcı olan DAHC kullanılmıştır. Muskovit'in bünyesinde bulunan titan ile biyotit'te bulunan demirden dolayı Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve TiO<sub>2</sub> içerikleri yüksek bulunmuştur.

- Oksit devresinde sülfonatlar ile yapılan flotasyon sonucunda özellikle ince boyutlu albit minerali oksit mineralleri ile yüzerek Na<sub>2</sub>O veriminin düşmesine sebep olmuştur.

- Tüm boyut gruplarında yapılan flotasyon ile zenginleştirme çalışmaları sonucunda elde edilen feldispat konsantrilerinin seramik ve cam sanayiinin gereksinimini karşılayabilecek özellikte olduğu belirlenmiştir.

- Alt boyut sınırı küçüldükçe elde edilen feldispat konsantrisinin Na<sub>2</sub>O veriminin azaldığı görülmüştür. En yüksek Na<sub>2</sub>O verimine (%90,2) -300+53 µm grubunda yapılan flotasyon deneyi ile ulaşılmıştır.

- Alt boyut miktarları hesaba dahil edildiğinde toplam beslenene göre en sert düşüş elek altına geçen malzemenin çok fazla olmasından dolayı 75 µm boyutunda olmuştur.

- Toplam beslenene göre en iyi Na<sub>2</sub>O verimi olan %81,4'e -300+53 µm boyut grubunda ulaşılmıştır.

- Şlam uzaklaştırmadan, doğrudan öğütülmüş malzeme ile yapılan flotasyon deneylerinde ise bir önceki alt boyut grubuna göre ortalama %10 oranında verim düşüşü olmuştur. Şlam miktarının artması ile verim düşüşünün devam edeceği görülmektedir.

#### 5. KAYNAKLAR

1. Terzi, M., Kurşun, İ., 2013. Feldispat Zenginleştirme Tesisi Atıklarının Değerlendirilebilirliğinin Araştırılması, MT Bilimsel, Yer Altı Kaynakları Dergisi, Yıl: 2, Sayı: 3, 41-50.
2. Kalyon, D., Gülsoy, Ö., 2005. Feldispat-Kuvars Ayırımında Hidroflorik Asit Kullanılmayan Flotasyon Yöntemlerinin

- Karşılaştırılması, Yerbilimleri (Earth Sciences), 26, 1, 49-59.
3. Kumbasar, I., 1977. Silikat Mineralleri, İ.T.Ü. Maden Fakültesi Yayınları, 1098, İstanbul.
  4. Çoğulu, E., 1976. Petrografi ve Petroloji, İ.T.Ü. Maden Fakültesi Yayınları, İstanbul.
  5. Gülsoy, Y.Ö., Orhan, C., Can, M., Bayraktar, İ., 2004. Manyetik Ayırma ve Flotasyonla Magmatik ve Metamorfik Kayaçlardan Feldspat Üretimi, Yerbilimleri, 30, 49-61.
  6. Bayraktar, İ., Ersayın, S., Gülsoy, Ö.Y., 1997. Upgrading Titanium Bearing Na-Feldspar by Flotation Using Sulphonates, Succinamate and Soaps of Vegetable Oils. Minerals Engineering, 1, 12, 1363-1374.
  7. Roger A.K., Van Dyk, D., 1994. Feldspars, Industrial Minerals and Rocks, 6<sup>th</sup> ed. Ed. Donald D. Carr, 473-481.
  8. Seyrankaya, A., Akar, A., Akar, G., Güler, E., 1997. Aydın-Çine ve Muğla-Milas Feldspatlarının Flotasyonla Zenginleştirilmesi. 2. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, 16-17 Ekim, İzmir, 236-252.
  9. Çelik, M.S., Can, I., Eren, R.H., 1998. Removal of Titanium Impurities from Feldspar Ores by New Flotation Collectors. Minerals Engineering, 12, 1201-1208.
  10. Gence, N., 2003., Feldspat Cevherinin Zenginleştirilmesinde Flotasyon ve Multigravite Separatör Yöntemlerinin Karşılaştırılması, Anadolu University Journal of Science and Technology, 4, 1:67-74.
  11. Fuerstenau, M.C., Miller, J.D., Khun, M.C., 1985. Chemistry of Flotation. Society of Min. Eng., New York, 97.
  12. Akar, A., Kemal, M., Malayoğlu, U., Seyrankaya, A., 1994. Gördes-Köprübaşı (Manisa) Feldspatlarının Flotasyonla Zenginleştirilmesinin Araştırılması, Çukurova Üniversitesi Müh. Mim. Fak. 15. Yıl Sempozyumu, 4-7 Nisan, Adana, 459-471.
  13. Karagüzel, C., Yamık, A., Bentli, İ., 2000. Beneficiation of Simav-Dağardı Feldspar by Flotation. Proceedings of the 8<sup>th</sup> International Mineral Processing Symposium, 16-18 October, Antalya, 331-334.
  14. Atak, S., 1982. Flotasyon İlkeleri ve Uygulamaları, İTÜ Maden Fakültesi Yayınları, Sayı 101, İstanbul.
  15. Gulsoy, O.Y., Can, N.M., Bayraktar, I., Ersayın, S., Hizal, M., Sahin, A.I., 2004. Two Stage Flotation of Sodium Feldspar from Laboratory to Industrial Application, Mineral Processing and Extractive Metallurgy, Transactions of the Institutions of Mining and Metallurgy: Section C, Vol: 113, Issue 3.
  16. Kangal, M.O., Bulut, G., Yeşilyurt, Z., Güven, O., Burat, F., 2007. An Alternative Source for Ceramics and Glass Raw Materials: Augen-Gneiss, Minerals, 7, 70.
  17. Burat, F., Kokkilic, O., Kangal, O., Gurkan, V., Celik, M.S., 2007. Quartz-feldspar Separation for the Glass and Ceramics Industries. Miner. Metal. Process., 24, 75-80.
  18. Kursun I., Ozkan S.G., Cıncı K., Eskıbalcı M.F., 2003. Application of Novel Flotation Process for Removal of Feldspathic Minerals From Quartz Sands, Proceedings of X Balkan Mineral Processing Congress, Mineral Processing in the 21<sup>st</sup> Century, 15-20 June 2003, Varna, Bulgaria, 137-140.
  19. Fuerstenau, D.W., Guadin, AM., Miaw, L., 1958. Iron Oxide Slime Coatings in Flotation. Trans. A.I.M.E. 792.
  20. Tefek, M., 1978. Studies of the Processing of Ferruginous Bauxite Ores. Ph. D. Thesis, Univ. of Wales, Cardiff.