

FELDSPAT FLOTASYONU

Nermin GENÇE¹

ÖZET: Bu çalışmada, seramik sanayiinin önemli hammaddelerinden biri olan ve istenilen özelliklere sahip olmadığı için sınırlı tüketim alanları bulabilen düşük tenörlü feldspatların flotasyon yöntemiyle zenginleştirilme olanakları araştırılmıştır. Flotasyon çalışmalarında; tane boyutu, toplayıcı türü ve miktarı, kıvam zamanı, pH ve pulp yoğunluğu gibi parametreler incelenmiştir. Feldspat flotasyonu üç aşamada gerçekleştirilmiştir; ilk aşamada mika, ikinci aşamada demirli mineraller ile renk verici mineraller yüzdürülmüş ve son aşamada da feldspat/kuars ayrımı yapılmıştır.

ANAHTAR KELİMELER: Feldspat, mika, flotasyon,

FELDSPAR FLOTATION

ABSTRACT: In this study, feldspars are an important raw material for ceramic industry, which have low grade content, unusable properties and limited consumption fields have been studied by flotation method. In the experiments carried out for the all flotation stages of silicates; the effects of particle size, type and amount of collectors, conditioning times, pH value and pulp density to flotation were investigated. Feldspar was separated from impurities in three stages; mica was floated at first stage, second stage was iron bearing mineral and coloring mineral flotation, and feldspar was separated from quartz at last stage.

KEYWORDS: Feldspar, mica, flotation

¹ Nermin GENÇE, Anadolu Üniversitesi, Bozüyük Meslek Yüksekokulu, Maden Bölümü, BOZÜYÜK

I. GİRİŞ

Seramik ve cam sanayinin temel hammaddelerinden birisi olan feldspatlar, boya ve plastik gibi sanayi dallarında doğu hammaddesi olarak da kullanılmaktadır.

Feldspat üretimi ve ihracatında dünya ikincisi olan ülkemizde en önemli feldspat kaynağı pegmatitik yataklardır [1]. Bu yatakların büyük bir kısmı düşük tenörlü olup seramik ve cam sanayiinde arzu edilmeyen mika ve demirli mineraller gibi safsızlıkları içermektedir. Feldspatlarda aranılan özellikler kullanım yerlerine göre değişiklik göstermektedir. Örneğin; porselen sanayii için $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ tenörünün %8'den fazla ($\text{K}_2\text{O} \geq \%5$), Fe_2O_3 tenörünün %0.25'den az, $\text{TiO}_2+\text{CaO}+\text{MgO}$ tenörünün ise %2'den az olması istenir [2-3]. Ülkemizde seramik ve cam sanayi alanında faaliyet gösteren işletmelerde genellikle iyi kaliteli küçük rezervlerin değerlendirilmesi tavuklama yöntemi ile yapılmakta, böylece istenmeyen safsızlıklardan bir dereceye kadar temizlenmiş bir hammadde elde edilmekte ve $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ tenörü yükseltilmiş olmaktadır. Bu tür zenginleştirme işleminde verimin düşük olması ve bu tip rezervlerin giderek azalması nedeniyle ülke gereksinimini karşılayabilmek zorlaşmaktadır. Bu durum genellikle ince boyutta (1-2 mm altı) serbest kalabilen düşük tenörlü feldspat yataklarının değerlendirilmesini gündeme getirmektedir. Ülkemiz düşük tenörlü (% 4-5 Na_2O , K_2O), bol miktarda mika ve turmalin gibi renk verici mineraller içeren feldspat rezervlerine sahiptir. Bu feldspatların, gelişen seramik ve cam sanayinin hizmetine sunulması amacıyla zenginleştirilme olanaklarının araştırılması ulusal ekonomimiz açısından yararlı olacaktır [3-4-5-6].

İnce boyutta serbestleşen feldspatları flotasyon ve/veya manyetik ayırma yöntemleri ile zenginleştirmek mümkündür [2-3-7-8-9].

Bu çalışmada; Simav feldspatının flotasyon yöntemi ile zenginleştirilebilme olanakları araştırılmıştır. Feldspatların flotasyon ile zenginleştirilmesinde, cevherde bulunan diğer mineraller önem taşır. Bu minerallerin cinsleri ve yan ürün olarak elde edilmek istenme durumlarına göre zenginleştirme işlemi birkaç kademede gerçekleştirilir. İlk aşamada mika, amin tipi toplayıcılar ile pH 3-3.5'da yüzdürülür. pH ayarlamak için H_2SO_4 kullanılır. Bu arada aminler ile yüzebilen bazı demirli mineraller de mika ile birlikte alınabilir. İkinci

aşamada demir içeren mineraller anyonik toplayıcılar (yağ asitleri veya petrol sülfonatları) ile yüzdürülür ve pH 3-3,5 arasında H_2SO_4 ile ayarlanır. Son aşamada feldspat/kuvars ayrımı yapılır. Feldspat, amin tipi toplayıcılar ile pH 3.5'un altında yüzdürülemez. Bu nedenle ortama feldspatı canlandırmak için doğrudan HF, HF ile birlikte H_2SO_4 veya NaF ile birlikte H_2SO_4 ilave edilerek hem yeterli miktarda F^- iyonu verilir, hem de pH 3 dolaylarına ayarlanır. Uzun zincirli bir aminin tuzu (genellikle hidrokarbon zincirinde 18 karbon bulunan Tallow Amin'in asetat tuzu), bir köpürtücü (örneğin Metil-İso-Butil-Karbinol veya çam yağı) ve gazyağı ya da fuel oil ilave edilerek feldspat yüzdürülür ve kuvarstan ayrılır [10-11].

Mineral tanelerinin yüzeilmeleri amin adsorpsiyonuna bağlı olduğu için pozitif RNH_3^+ (amin) iyonları ile negatif yüklü mineral yüzeyi arasındaki elektrostatik çekim kuvveti amin adsorpsiyonunun esasını oluşturur. Bu nedenle de, flotasyonda kimyasal reaksiyonun yanında elektriksel etkilerde önemli rol oynar. F^- iyonları feldspatların negatif elektrokinetik potansiyelini arttırarak amin adsorpsiyonuna uygun duruma getirir [12-13-14-15].

II. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

II.1. Malzeme ve Yöntem

Feldspatın serbestleşme tane boyutunu belirlemek için numune değişik boyutlarda öğütme işlemine tabi tutulmuş ve elek fraksiyonları mikroskop altında tane sayımı yöntemi ile incelenmiştir. Mikroskop çalışmaları optimum serbestleşme boyutunun 0.210 mm olduğunu göstermiştir. Bu tane boyutunda ortoklazların %96'sı ile plajiyoklazların %95'i serbest kalmaktadır. Dolayısıyla 0.210 mm altına yapılan öğütme sonucunda feldspat taneleri açısından uygun bir serbestleşme sağlanmaktadır. Bu çalışmanın esas amacı da temiz feldspat konsantresi elde etmek olduğu için -0.210 mm boyutu öğütme için limit seçilmiştir. -0.044 mm ise şlam olarak atılmış ve flotasyon çalışmalarında -0.210 mm+0.044 mm tane boyutundaki numune kullanılmıştır. Tüvenan cevherin kimyasal analizi Çizelge 1'de, 0.210 mm'nin altına öğütülen numunenin elek analizi ile K_2O ve Na_2O dağılımı ise Çizelge 2'de gösterilmiştir.

Çizelge 1. Tüvenan cevherin kimyasal analizi

Madde(%)							
SiO ₂	Al ₂ O ₃	K ₂ O	Na ₂ O	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	A.Z
69.98	17.19	6.31	3.65	0.35	0.81	0.28	0.70

Çizelge 2. 0.210 mm'nin altına öğütülen numunenin elek analizi sonuçları ve K₂O,Na₂O dağılımı

Tane Boyutu(mm)	Miktar(%)	K ₂ O(%)	Na ₂ O(%)
+0.149	18.25	6.18	3.61
-0.149+0.105	21.29	6.22	3.63
-0.105+0.074	18.23	6.34	3.63
-0.074+0.044	29.48	6.40	3.66
-0.044	12.75	6.43	3.72
TOPLAM	100.00	6.31	3.65

Flotasyon deneyleri üç aşamada gerçekleştirilmiş ve her aşamada toplayıcı türü ve miktarı, pulp yoğunluğu, pH, kıvam zamanı ve köpürtücü miktarı gibi parametreler incelenmiştir. Deneylerde analitik derecede H₂SO₄ ve HF kullanılarak pH ayarı yapılmış ve şebeke suyu kullanılmıştır. Mika ve feldspat flotasyonunda Armac-T (Tallow Amin Asetat) ve yardımcı reaktif olarak gazyağı kullanılmıştır. Demirli mineraller ve renk verici minerallerin flotasyonunda ise toplayıcı olarak sülfonatlar (R825+R804) kullanılmıştır. Mika ve feldspat flotasyonunda köpürtücü olarak MIBC (Metil-İso-Butil-Karbinol) kullanılmıştır. Feldspat flotasyonundan sonra konsantre tenörünü arttırmak amacıyla temizleme flotasyonu yapılmıştır. Temizleme flotasyonunda kuvarı bastırmak için Na₂SiO₃ kullanılmıştır.

Flotasyon deneyleri Denver tipi laboratuvar çaplı flotasyon makinesinde ve 1 litrelik flotasyon hücresi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Flotasyon deneyi akım şeması Şekil 1’de verilmiştir.

II.2. Bulgular

II.2.1. Mika Flotasyonu

Feldspat cevherlerinin flotasyon ile zenginleştirilmesinde ilk aşama cevherde bulunan mikanın yüzdürülmesidir. Mika minerallerinin kafes yapısı, silis dört yüzeylerinde oluşan iki tabaka arasındaki sekiz yüzeyli boşlukları alüminyum iyonlarının doldurması ile oluşan tabakalı bir yapıdır. Ancak her dört silisyum iyonundan birisinin yerine bir alüminyum iyonunun girmesi ile oluşan elektriksel yük dengesizliği, silis tabakaları arasına giren bir toprak alkali metal iyonu ile karşılanmaktadır. Toprak alkali metal iyonlarının çözeltiye geçmesi ile kafes yapısı negatif yüklü duruma gelmekte ve mika mineralleri yüzeylerini kaplayan toplayıcılar ile yüzebilmektedir. Mika flotasyonunda kullanılan toplayıcılar aminler olup, aktifleştirici olarak bazı uygulamalarda alkali metal tuzları ve Al gibi çok değerlikli metal iyonları kullanılmaktadır [9-11-12]. Bu çalışmada; flotasyonun ilk aşamasında mika yüzdürülmüştür. Mika flotasyonunda toplayıcı olarak Armac-T, yardımcı reaktif olarak gazyağı kullanılmıştır. En iyi sonuçlar aşağıdaki deney koşullarında elde edilmiş ve sonuçlar Çizelge 3’de gösterilmiştir.

Deney Koşulları :

Armac-T	: 200 gr /ton	Kıvam Zamanı	: 8 dk.
Gazyağı	: 250 gr /ton	H ₂ SO ₄	: 1500 gr /ton
Pulp Yoğunluğu	: % 50 K	MIBC	: 50 gr / ton
pH	: 3.5	Tane Boyutu	: -0.210 mm+0.044 mm
Devir Sayısı	: 1390 dev./dk		

Çizelge 3. Mika flotasyonu sonuçları

Ürünler	Miktar %	K ₂ O(%)		Na ₂ O(%)		Fe ₂ O ₃ (%)	
		Tenör	Verim	Tenör	Verim	Tenör	Verim
Konsantre	5.75	7.85	7.10	3.87	6.10	1.43	23.50
Artık	94.25	6.22	92.90	3.64	93.90	0.28	76.50
Toplam	100.00	6.31	100.00	3.65	100.00	0.35	100.00

II.2.2. Demirli ve Renk Verici Minerallerin Flotasyonu

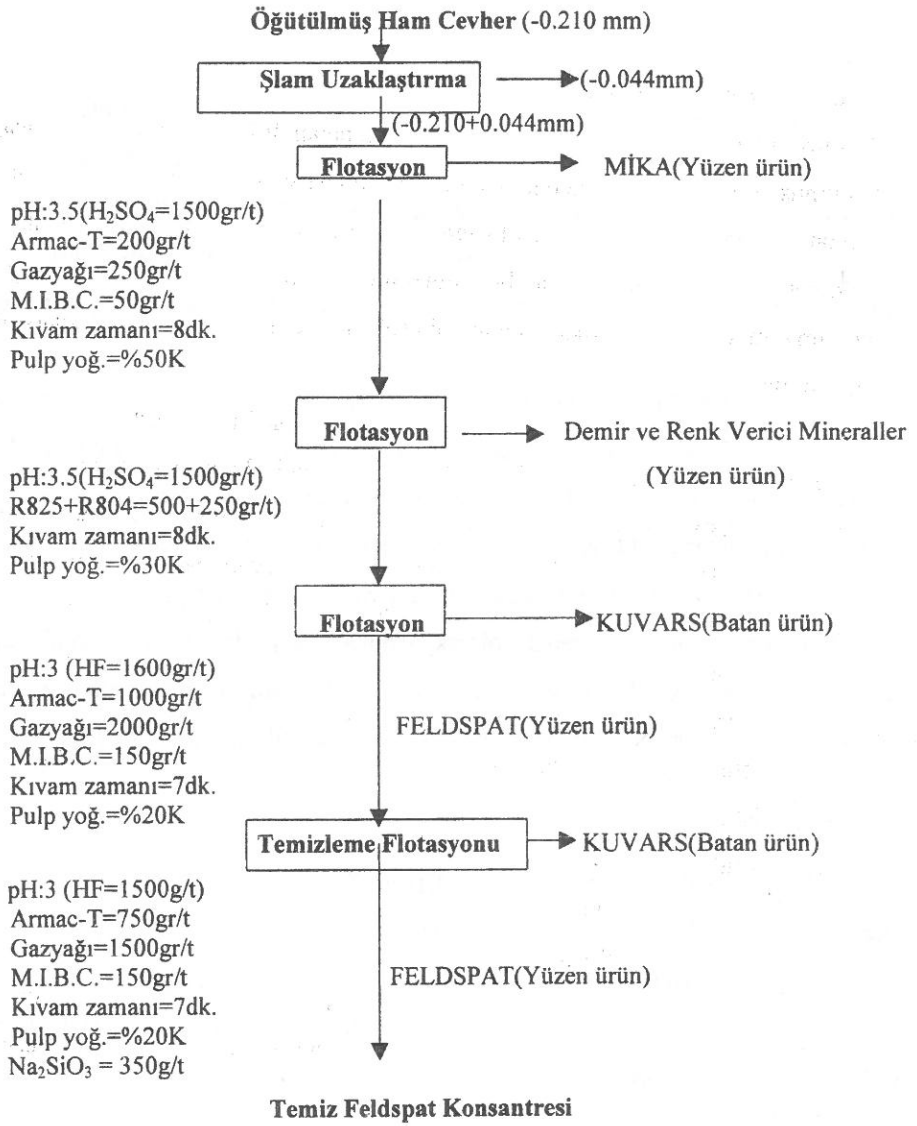
Feldspat cevherlerinin flotasyon ile zenginleştirilmesinde ikinci aşamada Turmalin, Gröna ve Demir oksitlerin (demir içeren ve renk verici mineraller) yüzdürülmesi sağlanır. Demir oksitler asit ortamda (pH=2-4) sülfonat tipi toplayıcılar kullanılarak yüzdürülebilir. Düşük pH'ta hem demir oksit yüzeyleri temizlenmiş olur, hem de silika ların flotasyonu önlenir. Köpürtücü genellikle gerekmez [9]. Bu çalışmada; mika flotasyonunda batan ürün (artık) anyonik toplayıcılar olan petrol sülfonatları (R825 ve R804) kullanılarak asit ortamda (pH 3.5) tekrar temizlemeye tabi tutulmuş ve demir oksitlerin yüzmesi sağlanmıştır. En iyi sonuçlar aşağıdaki koşullarda elde edilmiş ve sonuçlar Çizelge 4' de verilmiştir.

Deney Koşulları :

R825 +R804	: 500gr /ton+250gr /ton	Kıvam Zamanı:	8 dk.
Pulp Yoğunluğu	: % 30 K	H ₂ SO ₄	: 1500 gr / ton
pH	: 3,5	Tane Boyutu	: -0.210mm+0.044mm
Devir Sayısı	: 1390 dev./dk		

Çizelge 4. Demirli mineraller ve renk verici minerallerin flotasyonu sonuçları

Ürünler	Miktar %	K ₂ O(%)		Na ₂ O(%)		Fe ₂ O ₃ (%)	
		Tenör	Verim	Tenör	Verim	Tenör	Verim
Konsantre	4.18	3.31	2.20	2.98	3.40	5.20	77.63
Artık	95.82.	6.35	97.80	3.67	96.60	0.07	22.37
Toplam	100.00	6.22	100.00	3.64	100.00	0.28	100.00



pH:3.5(H₂SO₄=1500gr/t)
 Armac-T=200gr/t
 Gazyağı=250gr/t
 M.I.B.C.=50gr/t
 Kıvam zamanı=8dk.
 Pulp yoğ.=%50K

pH:3.5(H₂SO₄=1500gr/t)
 R825+R804=500+250gr/t)
 Kıvam zamanı=8dk.
 Pulp yoğ.=%30K

pH:3 (HF=1600gr/t)
 Armac-T=1000gr/t
 Gazyağı=2000gr/t
 M.I.B.C.=150gr/t
 Kıvam zamanı=7dk.
 Pulp yoğ.=%20K

pH:3 (HF=1500g/t)
 Armac-T=750gr/t
 Gazyağı=1500gr/t
 M.I.B.C.=150gr/t
 Kıvam zamanı=7dk.
 Pulp yoğ.=%20K
 Na₂SiO₃ = 350g/t

Şekil 1. Flotasyon deneyleri akım şeması.

II.2.3. Feldspat Flotasyonu

Demirli minerallerin flotasyonunda elde edilen batan ürün (artık) feldspat flotasyonuna tabi tutulmuş ve feldspat yüzerken kuvarsin bastırılması sağlanmıştır. Feldspatlar ta kuvars gibi silikat tetrahedronundaki dört oksijenin paylaşılması ile oluşan, üç boyutlu kafes yapısı gösteren minerallerdir. Fakat bu minerallerde silisin dörtte biri veya yarısı yerine alüminyum gelmiş, elektriksel denge, bileşiğe sodyum, potasyum veya kasyum ilavesi ile sağlanmıştır.

Feldspatlar genellikle kuvars, mika ve demir oksitlerle birlikte bulunurlar ve bu minerallerden ayrılmaları gerekir. Feldspatlar, anyonik flotasyonda kuvarsla aynı özellikleri gösterirler. Katyonik flotasyonda HF asit ve florürler kullanılarak kuvars bastırılır, düşük pH'ta (pH 2-3) aminlerle feldspatlar yüzdürülür ve kuvars bastırılır. Kuvars için en uygun bastırıcılar, asit ortam (H_2SO_4), sodyum silikat (Na_2SiO_3) ve HF asittir [9].

Feldspat flotasyonunda toplayıcı reaktif olarak Armac-T ve yardımcı reaktif olarak gazyağı kullanılmıştır. pH ayarlamak ve aynı zamanda feldspatı canlandırmak amacıyla HF asit kullanılmıştır. En iyi sonuçlar aşağıdaki koşullarda elde edilmiş ve sonuçlar Çizelge 5'de gösterilmiştir.

Deney Koşulları :

Armac - T	: 1000 gr / ton	Kıvam Zamanı	: 7 dk.
Gazyağı	: 2000 gr /ton	HF	: 1600 gr / ton
Pulp Yoğunluğu	: % 20 K	MIBC	: 150 gr / ton
pH	: 3	Tane Boyutu	: -0.210 mm+0.044 mm
Devir Sayısı	: 1390 dev./dk		

Çizelge 5. Feldspat flotasyonu sonuçları

Ürünler	Miktar %	K ₂ O(%)		Na ₂ O(%)	
		Tenör	Verim	Tenör	Verim
Konsantre	76.16	7.96	95.47	4.31	89.44
Artık	23.84	1.21	4.53	1.63	10.56
Toplam	100.00	6.35	100.00	3.67	100.00

II.2.4. Temizleme Flotasyonu

Feldspat flotasyonunda elde edilen konsantrelerin verimlerinin yüksek olmasına karşın K₂O tenörlerinin biraz düşük olması nedeniyle, tenörü arttırmak amacıyla temizleme flotasyonu yapılmıştır. Temizleme flotasyonunda kuvarısı bastırmak amacıyla Na₂SiO₃(SiO₂:Na₂O oranı 2.6:1) kullanılmıştır. En iyi sonuçlar aşağıdaki koşullarda elde edilmiş ve sonuçlar Çizelge 6'da verilmiştir.

Deney Koşulları :

Armac - T	: 750 gr / ton	Kıvam Zamanı	: 7 dk.
Gazyağı	: 1500 gr /ton	HF	: 1500 gr / ton
Pulp Yoğunluğu	: % 20 K	MIBC	: 150 gr / ton
pH	: 3	Na ₂ SiO ₃	: 350 gr / ton
Tane Boyutu	: - 0.210 mm + 0.044 mm	Devir Sayısı	: 1390 dev./dk

Çizelge 6. Temizleme flotasyonu sonuçları

Ürünler	Miktar (%)	K ₂ O(%)		Na ₂ O(%)		SiO ₂ (%)	
		Tenör	Verim	Tenör	Verim	Tenör	Verim
T. Konsantre	64.74	8.94	72.71	4.38	65.79	60.10	63.54
Ara Ürün	11.42	2.40	3.45	3.91	10.37	67.64	12.62
K. Konsantre	76.16	7.96	95.47	4.31	89.44	61.23	67.03
Artık	23.84	1.21	4.53	1.63	10.56	96.21	32.97
Toplam	100.00	6.35	100.00	3.67	100.00	69.57	100.00

T. Konsantre: Temiz konsantre, K. Konsantre: Kaba konsantre

III. SONUÇLAR

1. Mika ve feldspat flotasyonunda toplayıcı olarak Armac-T (Tallow Amin Asetat), Armac C (Coco Amin Asetat) ve Dodesil Amin Asetat kullanılmış, en iyi sonuçlar Armac-T kullanıldığında elde edilmiştir. Demirli mineraller ve renk verici minerallerin fotasyonunda ise en iyi sonuçlar R825 ve R804 (sülfonatlar) ile elde edilmiştir.
2. Mika flotasyonu pH = 3.5' da ve % 50 K pulp yoğunluğunda 200 gr/ton Armac-T ve 250 gr/ton gazyağı kullanılarak yapılmıştır. Demirli mineraller ve renk verici minerallerin flotasyonu anyonik toplayıcılar olan R825 ve R804, 500 gr/ton+250 gr/ton kullanılarak pH 3.5'da ve %30 K pulp yoğunluğunda gerçekleştirilmiştir. Mika ve demirli mineraller ile renk verici mineraller flotasyonu ile cevherde bulunan mika, demir içeren mineraller ve renk verici bileşenler önemli oranlarda temizlenerek Fe₂O₃ oranı % 0.07'e düşürülmüştür.
3. Feldspat flotasyonu, pH 3' de ve %20 K pulp yoğunluğunda 1000 gr/ton Armac-T ve 2000 gr/ton gazyağı kullanılarak yapılmış ve pH, HF asit ile ayarlanmıştır. pH 3'de HF asit feldspat için canlandırıcı etki gösterirken kuvars için bastırıcı etki yaratmaktadır. Feldspat flotasyonu sonucunda %7.96 K₂O ve %4.31 Na₂O içeren konsantre %95.47 K₂O ve %89.44 Na₂O verimi ile elde edilmiştir.
4. Tüvenan (-0.210mm+0.044mm) cevherde %6.31 K₂O, %3.65 Na₂O olan tenör; feldspat konsantresinde %7.96 K₂O, %4.31 Na₂O'ya toplam alkali değeri ise %9.96'dan %12.27'ye yükselmiştir.
5. Feldspat konsantresinin tekrar temizlenmesi ile %8.94 K₂O-%4.38 Na₂O içeren temiz feldspat konsantresi elde edilmiş, toplam alkali değeri %13.32'ye yükselmiş, ancak verim feldspat flotasyonunda elde edilen verime oranla düşük olmuştur. Temizleme flotasyonunda 750 gr/ton Armac-T, 1500 gr/ton gazyağı kullanılarak pH 3'de ve %20 K pulp yoğunluğunda feldspat yüzdürülmüş, kuvarsı bastırmak için 350 gr/ton Na₂SiO₃ kullanılmıştır.
6. Yapılan flotasyon çalışmaları sonucunda elde edilen feldspat ve kuvars konsantrelerinin seramik ve cam sanayiinin gereksinimini karşılayabilecek özellikte olduğu belirlenmiştir.

KAYNAKLAR

- [1] R.Bolger, "Feldspar and Nepheline Syenite Turkish Delight in Export Sales", *Industrial Minerals*, No.332, pp. 25-45, 1995.
- [2] A.Akar, M.Kemal, U.Malayođlu ve A.Seyrankaya "Gördes-Köprübaşı (Manisa) Feldspatlarının Flotasyonla Zenginleştirilmesinin Araştırılması", Çukurova Üniversitesi Müh. Mím. Fak. 15. Yıl Sempozyumu, 4-7 Nisan, Adana, Bildiri kitabı, ss.459 – 471, 1994.
- [3] A.Akar, "Evaluation of Gördes-Köprübaşı District Feldspar Industrial Raw Material Deposits" 5th.International Mineral Processing Symposium, 6-8 Eylül, Kapadokya, Bildiri kitabı,ss.243-249, 1994.
- [4] W.Ryan and C.Radford "*Whitewares Production, Testing and Quality Control*", Pergamon Press, Oxford , pp. 1, 10-13, 114-159, 1987.
- [5] T.M.M.O.B. "*Seramik*", Kimya Müh. Odası Yayını, ss.24-28, 1980.
- [6] N.Toydemir, "Seramik" İ.T.Ü., İstanbul, ss. 15-16, 1991.
- [7] E.Okur, "*Simav-Dağardı Feldspatlarının Zenginleştirme Olanaklarının Araştırılması*", A.Ü. Müh. Mím. Fak. Yayınları No.3 , Eskişehir, s.116, 1984.
- [8] G.Sümer, ve M.Kaya, "Aydın-Çine Feldspatlarının Flotasyon ile Zenginleştirilmesi", Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, 21-22 Nisan,İzmir, Bildiri kitabı, ss.59-69, 1995.
- [9] A.Seyrankaya, and A.Akar, "Beneficiation of Manisa-Gördes (Turkey) Feldspar ore for Use in the Ceramic and Glass Industries", 7 th Balkan Conference on Mineral Processing ,26-30 May, Romania, Vol II, Bildiri kitabı, pp. 173 –176, 1997.
- [10] S.Atak, "*Flotasyon İlkeleri ve Uygulaması*", İ.T.Ü., Maden Fak., İstanbul, ss.199-200. 1974.
- [11] M.Kaya, "*Flotasyon El Kitabı-1*", A.Ü. Müh. Mím. Fak., Maden Müh. Bölümü, Eskişehir, ss. 88 –90, 1991.
- [12] J.Leja, "*Surface Chemistry of Froth Flotation*", Plenum Press New York, pp.39-42, 164 – 617, 1982.
- [13] R.M.Manser, "*Handbook of Silicate Flotation*", Warren Spring lab., Steuenege,Herts, England, pp.163-168, 1973.
- [14] M.C.Fuerstenau, J.D.Miller, and M.C.Khun, "*Chemistry of Flotation*", Society of Min.Eng., New York, p. 97,1985
- [15] "*Mining Chemicals Handbook*", Cyanamid Comp.,p.107, 1986.