

BURSA-ORHANELİ SİYENİTLERİNDEN FELDSPAT ÜRETİMİ

Feldspar Production from Bursa-Orhaneli Syenites

Özcan Y.GÜLSOY^o
E.Caner ORHANⁿ
N.Metin CAN^{*''*'}

ÖZET

Bu çalışmada, Bursa-Orhaneli bölgesinden alınan siyenit numunelerinden kaliteli feldspat konsantresi elde edilebilirliği araştırılmıştır. Numunenin mineralojik karakterizasyonunun ardından, renk verici safsızlıkların ayrılması amacıyla, -300^μm tane boyutunda yüksek alan şiddetli kuru manyetik ayırma; -212, -106 ve -74^μm tane boyutlarında yüksek alan şiddetli yaş manyetik ayırma; -106 ve -74^μm tane boyutlarında flotasyon; -106 ve -74 ^μm tane boyutlarında flotasyon + yaş manyetik ayırma testleri uygulanmıştır. En iyi sonuçlar -106 ^μm tane boyutunda flotasyon ve flotasyon konsantresinin yüksek alan şiddetli yaş manyetik ayırıcıdan geçirilmesi ile elde edilmektedir. Elde edilen konsantrenin beyaz pişme rengi vermesine karşın, malzemenin toplam %43,37'sinin atılması ve elde edilen konsantre K₂O:Na₂O oranının 1,77 gibi görece düşük değerlerde kalması nedenleriyle söz konusu cevherin zenginleştirilmesi amacıyla kurulacak bir tesisin günümüz pazar koşullarında "riskli" sayılabilecek bir yatırım olacağı düşünülmektedir.

Anahtar Sözcükler: Siyenit, Feldspat, Manyetik Ayırma, Flotasyon, Mineraloji, Endüstriyel Hammadde

ABSTRACT

In this study, the possibility of obtaining high quality feldspar concentrate from syenite samples of Bursa-Orhaneli district is investigated. Following the mineralogical characterization, the sample is subjected to high intensity dry magnetic separation at -300^μm; high intensity wet magnetic separation at -212, -106 and -74^μm; flotation at -106 and -74^μm; flotation+wet magnetic separation at -106 and -74^μm for the removal of coloring impurities. The best results are obtained by flotation followed by high intensity wet magnetic separation of -106 (μm size fraction). Although the concentrate provides white firing color, due to the removal of 43.37% of the feed as tails and K₂O:Na₂O ratio being low (i.e., 1.77), an investment on a beneficiation plant for Bursa-Orhaneli syenites can be stated as "risky" in terms of today's market conditions.

Keywords: Syenite, Feldspar, Magnetic Separation, Flotation, Mineralogy, Industrial Mineral

1. GİRİŞ

Siyenit, %5 veya daha az kuvars, alkali feldispat ve plajiyoklazdan oluşan ve düşük oranlarda hornblend, titanit (sfen), biyotit, rutil, hematit ve manyetit içeren bir kayaç türüdür. Alkali içeriğinin yüksek olması nedeniyle proses edilmemiş (görece yüksek Fe_2O_3 ve TiO_2 içerikli) siyenitler seramik üretimi sırasında masse malzemesinde eritici olarak kullanılmaktadır. Özellikle alkali feldispatça zengin olması ve düşük miktarda kuvars içermesi, siyenitleri potansiyel bir potasyum feldispat kaynağı haline getirmektedir. Potasyum feldispat, fiziksel ve kimyasal dayanımının yüksek olması nedeniyle özellikle porselen, seramik, emaye, kaynak elektrodu, izolatör üretiminde tercih edilmektedir.

Feldispat minerallerinin zenginleştirilmesinde uzun yıllardır uygulanan flotasyon yönteminin yanı sıra, neodmiyum-demir-bor (Nd-Fe-B) alaşımlı mıknatısların geliştirilmesi ile birlikte bu mıknatısların kullanıldığı manyetik ayırıcılar da 90'lı yıllarda feldispat zenginleştirme işlemlerinde başarıyla kullanılmaya başlanmıştır. Yüksek alan şiddetli kalıcı mıknatıslı rulo tipi kuru manyetik ayırıcılar, özellikle mika mineralleri (muskovit ve biyotit), hematit gibi görece yüksek manyetik alinganlığa sahip minerallerin ayrılmasında kullanılmaktadır. Bu sayede mika minerallerinin yapısına $Al^{+3} \leftrightarrow Ti^{+4}$ yer değiştirmesi sonucu giren titan da uzaklaşmaktadır (Deer vd., 1974; Bayraktar vd, 2001). Ancak rutil ve sfen minerallerinden kaynaklanan TiO_2 içeriğinin düşürülmesi ancak flotasyon yöntemi ile mümkün olmaktadır (Bayraktar vd, 2001).

Feldispat cevherlerinin flotasyonunda genellikle boyut küçültmeyi takiben ilk aşama, kil minerallerini de içeren -25 fim'luk fraksiyonun şlam olarak ayrılmasıdır. Şlamdan arındırılan cevher daha sonra pH 2,5-3,5'te (H_2SO_4) uzun zincirli alifatik aminlerin (12-18 C) kullanıldığı (Baarson vd., 1962) mika flotasyonuna tabi tutulur (Eddy vd., 1972; Manser, 1975; Crozier, 1990; Bayraktar vd., 1999). Mika minerallerinin ayrılmasından sonra demir-titan oksit mineralleri ya pH 5-5,5'te oleat ya da pH 3-3,5'te sülfonatlarla uzaklaştırılır. Bunların yanı sıra demir-titan oksit minerallerinin ayrılması sukkinamatlar ve çeşitli bitkisel yağların sabunları (Bayraktar vd. 1997), sarkosin ve hidroksammat tipi toplayıcılarla da (Çelik vd. 1998; 2001) mümkün olmaktadır.

Dünya feldispat üretiminde üst sıralarda yer alan ülkemizde feldispat üretiminin büyük bir bölümü Menderes masifi albit cevherlerinden ve az oranda Bursa - Orhaneli feldispatlarından oluşmaktadır. Çeşitli bölgelerde potansiyel K-feldispat rezervleri (örn. Kırşehir masifi altère granitleri, Manisa Demirci-Gördes bölgesi K-feldispat yatakları) bulunmasına karşın (Akar, 1994; Bayraktar vd., 1999, 2000, 2001; Gülsoy vd., 2003), üretimin yok denecek kadar az olması nedeniyle, özellikle porselen ve vitrifiye üreticileri K-feldispat konsantrisini görece yüksek fiyatlarla (yaklaşık 65-70 ABD \$) Hindistan'dan ithal etmek durumunda kalmaktadır.

Bu kapsamda ülkemiz potansiyel K-feldispat rezervlerinin belirlenmesi ve bu potansiyelden en yüksek oranda yararlanmayı sağlayacak proseslerin geliştirilmesi gerekmektedir. Bu doğrultuda yapılacak çalışmalar, dünya Na-feldispat üretiminde ön sıralarda yer alan ülkemizin, görece daha yüksek katma değer sağlayan K-feldispat üretiminde de söz sahibi olmasında yol gösterici olacak, uygun proseslerle K-feldispat ihtiyacının karşılanmasında dışa bağımlılığı önlemeye yardımcı olacaktır.

Bu amaca yönelik olarak, bu çalışmada Bursa Orhaneli bölgesinden alınmış siyenit numunesinin mineralojik karakterizasyonu yapılmış, kuru/yaş manyetik ayırma ve flotasyon yöntemleri ile bu numunedan seramik ve cam hammaddesi olarak kullanılabilen konsantrelerin elde edilebilirliği araştırılmıştır.

2. MALZEME VE YÖNTEM

Deneyler sırasında kullanılan siyenit numunesi Matel Hammadde San. Tic. A.Ş.'den temin edilmiştir. Cevherin kimyasal bileşimi Çizelge 1'de verilmektedir.

Çizelge 1. Bursa-Orhaneli Siyenit Numunesinin Kimyasal Analiz Sonuçları-

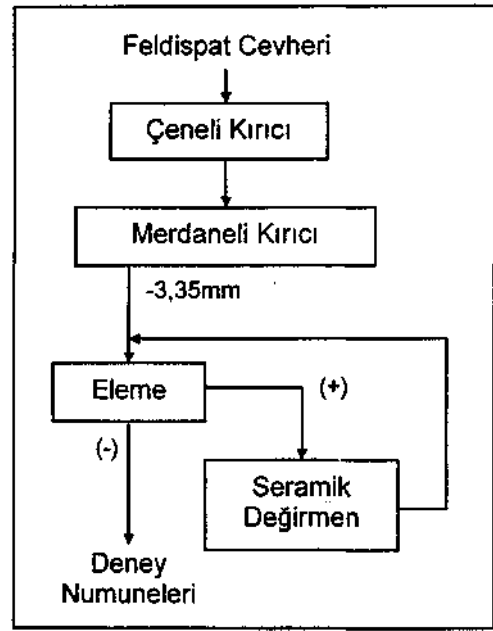
Bileşen	İçerik, %
SiO_2	67,37
Al_2O_3	17,06
Fe_2O_3	1,385
TiO_2	0,370
CaO	1,48
MgO	0,03
Na_2O	4,65
K_2O	6,97
KK	0,68

Cevher numunesinden hazırlanan ince kesitler üzerinde yapılan mikroskopi çalışmaları, cevherin yaklaşık %80-85 feldispat (alkali feldispat ve plajiyoklaz), %8 hornblend ve %5 kuvars minerallerinden oluştuğunu göstermektedir. Bunların yanı sıra daha düşük oranlarda apatit, titanit (sfen), rutil ve opak mineral içermektedir. Cevher bünyesindeki alkali feldispat ortoklaz ve mikroklinen oluşmakta ve tane boyutları 500 jxm'dan büyüktür. Cevher içerisindeki renk verici ana mineral olan hornblendin %90 civarındaki önemli bir bölümünün 200 lam'da serbestleşmesine rağmen, yaklaşık %1'lik kısmı K-feldispatlar içerisinde kapanım halinde bulunmakta ve 100 jjm'dan daha ince tane boyutlarında serbestleşmektedir. Cevher içerisinde renk verici diğer minerallerden rutil ve titanit ise düşük miktarda olmasına karşın, titanit yaklaşık 50 jxm'da, rutil ise yaklaşık 20 jxm'da serbestleştiğinden pişme rengini önemli ölçüde etkileyecek bileşenler olarak ortaya çıkmaktadır. Bunlara ek olarak ince çatlaklar içerisinde yer alan ikincil hematit mineralleri ince tane boyutlarında serbestleştiğinden pişme rengini etkileyecek diğer bir etmen olarak görülmektedir. Bursa-Orhaneli siyenitinin mineralojik bileşimi Çizelge 2'de özetlenmektedir.

Çizelge 2. Bursa-Orhaneli Siyenitinin Mineralojik Bileşimi

Mineral	Ort. Tane Boyutu, um
Hornblend (Ca,Na) ₂ -3(Mg,Fe,Al,Ti) ₅ - Si ₆ (Si,Al) ₂ O ₂₂ (OH) ₂	200-3000
Hornblend (kapanım)	100-200
Titanit (Sfen) CaTiSiO ₅	50-800
Rutil TiO ₂	20-500
Kuvars SiO ₂	100-1000
Opak min. Hematit Fe ₂ O ₃	10-500 10-100

DeneySEL çalışmalarda, cevher ilk olarak çeneli kırıcı ve merdaneli kırıcı kullanılarak -3,35 mm'ye kırılmış ve daha sonra seramik değirmen ve elekten oluşan bir kesikli, kapalı devrede öğütülerek gerekli deney numuneleri



Şekil 1. Bursa-Orhaneli siyenite numune hazırlama akım şeması

hazırlanmıştır. Şekil 1'de numunenin hazırlanmasında izlenen akım şeması verilmektedir.

Mineralojik ve kimyasal analizlerden elde edilen bulguların ışığında, Orhaneli siyenitinden kaliteli bir konsantre üretilmesi için cevherin içerdiği renk verici bileşenlerin uzaklaştırılması gerekmektedir.

Bu amaç doğrultusunda ilk olarak -300 pim tane boyutuna öğütülmüş numune üzerinde yüksek alan şiddetli kalıcı mıknatıslı rulo tipi kuru manyetik ayırıcı ile renk verici bileşenlerin uzaklaştırılmasına çalışılmıştır. Kuru manyetik ayırma işlemlerinde ince tane boyutunda hava akımı etkisi, tane-tane ve tane-bant arasında ortaya çıkan elektrostatik etkileşimlerin işlemin ayırma verimini düşürmesi nedeniyle -53 um'luk fraksiyon elenerek ayrılmıştır.

300 um'dan daha ince tane boyutunda serbestleşmenin artmasına paralel olarak yüksek verimle daha kaliteli konsantre elde edebilmek amacıyla -106 um ve -74 um'da yüksek alan şiddetli (matris tipi) manyetik ayırma ve flotasyon testleri yapılmıştır.

Flotasyon testleri sırasında toplayıcı olarak petrolüym sülfonat (R825 ve R840), sukkinamat (R845) ve sodyum oleat (NaOl) kullanılmıştır.

R825, R840 ve R845 Cyanamid'den temin edilmiş ve Na-Oleat laboratuvarında hazırlanmıştır. Köpürtücü olarak 1:1 oranda çam yağı ve MIBC (metil izobütil karbinol) karışımı kullanılmıştır. Flotasyon testleri Denver D-12 flotasyon makinasında, 1,5 L'lik pleksiglas hücrede yapılmıştır. Flotasyon testlerinden önce işlemi olumsuz yönde etkileyen -25 um'luk fraksiyon dekantasyonla ayrılarak kalan numune flotasyon testine tabi tutulmuştur.

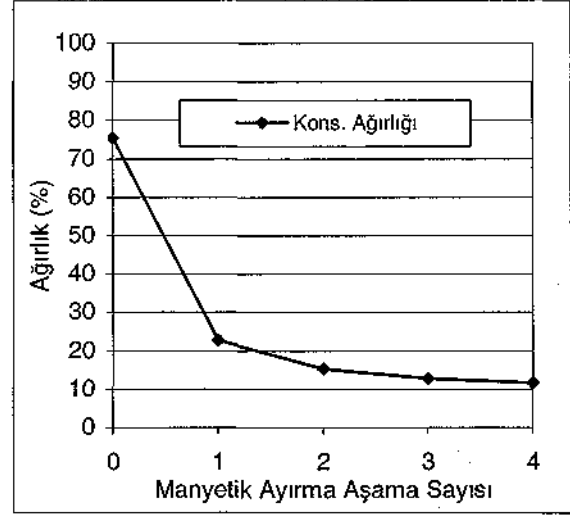
3. DENEY SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRME

3.1 Kuru Manyetik Ayırma

Manyetik ayırma işlem verimini olumsuz yönde etkileyen -53um fraksiyonunun elenerek ayrılmasından sonra -300+53 um'luk numune yüksek alan şiddetli kalıcı mıknatıslı rulo tipi kuru manyetik ayırıcıya beslenmiş ve kaliteli bir konsantre elde edebilmek amacıyla konsantre üç kademe daha manyetik ayırıcıdan geçirilmiştir. Çizelge 3'te dört kademe kuru manyetik ayırma test sonuçları verilmektedir.

Çizelge 3'te görüleceği üzere -300 um tane boyutunda cevher kuru manyetik ayırıcıdan dört aşama geçirildiğinde Fe_2O_3 ve TiO_2 içeriği düşük, kaliteli bir konsantre elde edilmekte, ancak konsantre ağırlık verimi %11,55 gibi çok düşük bir değerde kalmaktadır. Bu değerler, cevher üzerinde yapılan mineralojik çalışmalarda elde edilen bulgular ışığında beklenen bir sonuç ortaya koymakta ve cevher içerisindeki renk verici, manyetik özellik gösteren minerallerin serbestleşmesi ile ilgili sorunu açıkça göstermektedir. Cevher içerisinde bulunan renk verici minerallerin oldukça ince tane boyutlarında

serbestleşmesi nedeniyle feldispatın büyük bir bölümü atığa gitmekte, bu da konsantre ağırlık veriminin düşük olmasına yol açmaktadır. Şekil 2'de manyetik ayırma aşama sayısının konsantre kazanımına, Şekil 3'te ise konsantre Fe_2O_3 ve TiO_2 içeriği üzerine etkileri verilmektedir.

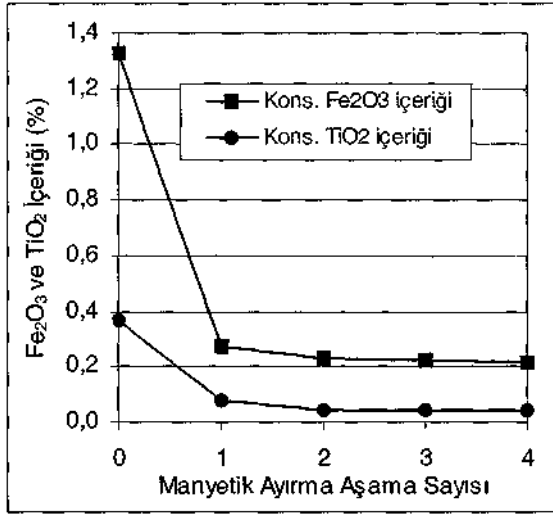


Şekil 2. -300 um tane boyutunda kuru manyetik ayırma aşama sayısının konsantre kazanımı üzerine etkisi (Sıfır aşama sayısı değeri, şlamı atılmış besleme miktarını göstermektedir)

Şekil 2'de görüleceği üzere, -300 um tane boyutunda cevherden -53 um fraksiyon (%24,63) uzaklaştırıldıktan sonra, kuru manyetik ayırıcıdan bir aşama geçirildiğinde cevherin ancak %22,7'si konsantre olarak alınmakta ve Şekil 3'te görüleceği üzere bu durumda konsantre Fe_2O_3 içeriği %0,275 ve TiO_2 içeriği %0,078 olmaktadır. Bu sonuçlar -300um tane boyutunda kuru

Çizelge 3. Bursa-Orhaneli Siyenit Numunesi -300um Fraksiyonunda Kuru Manyetik Ayırma Sonunda Elde Edilen Ürünlerin Yüzde Ağırlıkları ve Kimyasal Analizi

Bileşen	Şlam	Artık 1	Artık 2	Artık 3	Artık 4	Konsantre	Besleme
SiO_2	65,97	66,76	67,20	67,43	67,92	73,18	67,37
Al_2O_3	17,47	17,15	18,37	18,18	18,04	14,58	17,06
Fe_2O_3	1,57	1,777	0,364	0,280	0,264	0,218	1,385
TiO_2	0,38	0,490	0,150	0,060	0,040	0,040	0,370
CaO	1,66	1,61	0,54	0,44	0,47	1,43	1,48
MgO	0,05	0,02	0,06	0,06	0,05	0,00	0,03
Na_2O	4,89	4,55	5,04	5,16	4,98	4,19	4,65
K_2O	6,91	7,00	7,93	7,98	7,76	6,04	6,97
KK	1,07	0,64	0,35	0,41	0,48	0,32	0,68
Ağırlık, %	24,63	52,67	7,37	2,53	1,25	11,55	100,00
Fe_2O_3 Verimi, %	27,92	67,58	1,94	0,51	0,24	1,82	100,00



Şekil 3. -300 um tane boyutunda kuru manyetik ayırma aşama sayısının konsantre Fe₂O₃ ve TiO₂ içeriği üzerine etkisi (Sıfır aşama sayısı değeri, şlamı atılmış beslemenin Fe₂O₃ ve TiO₂ içeriğini göstermektedir)

manyetik ayırmanın başarılı bir ayırım sağlayamayacağını göstermektedir.

3.2 Yaş Manyetik Ayırma

Yeterli serbestleşmenin sağlanamamasından dolayı çok düşük ağırlık verimi elde edilen kuru manyetik ayırma testlerini takiben daha ince boyutlarda yapılan yaş manyetik ayırma testleri için Şekil 1'de verilen akım şeması ile -212 um, -106 um ve -74 um tane boyutlarında numuneler hazırlanmış ve yüksek alan şiddetli matris tipi yaş manyetik ayırma testleri yapılmıştır. Çizelge 4'te -212 um fraksiyonuna uygulanan beş aşamalı yaş manyetik ayırma testinden elde edilen toplam manyetik atık ve konsantrenin kimyasal bileşimi verilmektedir.

-212 //m fraksiyonuna uygulanan manyetik ayırma sonunda ağırlıkça beslemenin %32,91'i konsantre olarak alınmaktadır. Bu da, serbestleşmenin bu boyutta dahi henüz yeterli olmadığını göstermektedir. Cevherleşme sırasındaki hematit boyamaları şeklinde görülen yapının bu durum üzerinde önemli rol oynadığı düşünülmektedir.

-106 um tane boyutunda uygulanan yaş manyetik ayırma test sonuçları Çizelge 5'te, yaş manyetik ayırma aşama sayısının elde edilen konsantre ağırlık yüzdesine etkisi Şekil 4'te ve konsantre Fe₂O₃ ve TiO₂ içeriği üzerine etkileri Şekil 5'te verilmektedir.

Çizelge 4. Bursa-Orhaneli Siyeniti -212 um Fraksiyonuna Uygulanan Beş Aşamalı Yaş manyetik Ayırma Sonucunda Elde Edilen Ürünlerin Ağırlık Yüzdeleri ve Kimyasal Analizi

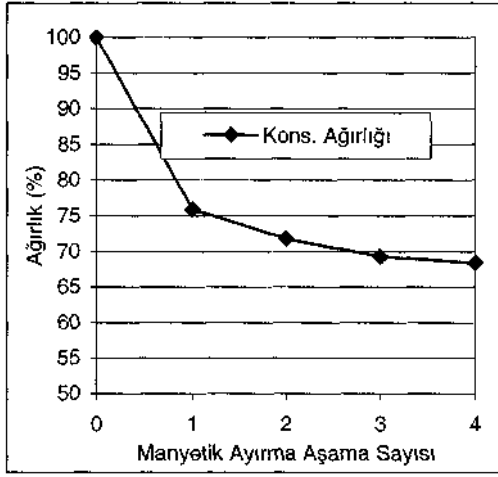
Bileşen	Man. Atık, %	Konsantre, %
SiO ₂	65,86	70,45
Al ₂ O ₃	17,19	16,80
Fe ₂ O ₃	1,95	0,238
TiO ₂	0,54	0,020
CaO	1,86	0,70
MgO	0,03	0,04
Na ₂ O	4,87	4,21
K ₂ O	6,80	7,32
KK	0,91	0,22
Ağırlık, %	67,09	32,91
Fe ₂ O ₃ Verimi, %	94,34	5,66

Cevher -106/ym'a öğütüldüğünde manyetik ayırma ağırlık verimi %68,42'ye çıkmaktadır. Bu da -106 //m'da cevher içerisindeki renk verici bileşenlerin kaydadeğer oranda serbestleştiğini göstermektedir.

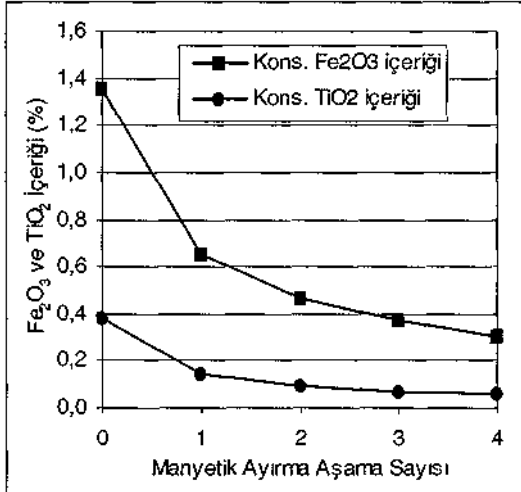
Çizelge 5. Bursa-Orhaneli Siyeniti -106 um Fraksiyonuna Uygulanan Dört Aşama Yaş Manyetik Ayırma Sonucunda Elde Edilen Ürünlerin Ağırlık Yüzdeleri ve Kimyasal Analizi.

Bileşen	Man: Atık, %	Konsantre, %
SiO ₂	65,65	68,41
Al ₂ O ₃	15,36	17,80
Fe ₂ O ₃	3,620	0,303
TiO ₂	1,084	0,060
CaO	3,43	0,62
MgO	0,00	0,05
Na ₂ O	3,86	4,92
K ₂ O	5,90	7,49
KK	1,10	0,35
Ağırlık, %	31,58	68,42
Fe ₂ O ₃ Verimi, %	84,68	15,32

Şekil 4'te görüleceği üzere, cevher yaş manyetik ayırıcıdan bir aşama geçirildiğinde konsantre ağırlık yüzdesi %75,91 olmakta ve Şekil 5'te görüleceği üzere bu durumda konsantre Fe₂O₃ ve TiO₂ içerikleri sırasıyla %0,648 ve %0,142 olmaktadır. Dört aşama manyetik ayırma sonunda ise konsantre ağırlık yüzdesi %68,42'ye, konsantre Fe₂O₃ ve TiO₂ içerikleri ise sırasıyla %0,303 ve %0,06'ya düşmektedir. Çizelge 6'da Bursa-Orhaneli siyeniti -74 um fraksiyonuna uygulanan dört aşama yaş manyetik ayırma sonucunda elde edilen ürünlerin ağırlık yüzdeleri ve kimyasal analizi verilmektedir.



Şekil 4. Bursa-Orhaneli siyeniti -106 um fraksiyonuna uygulanan yaş manyetik ayırma aşama sayısının konsantre ağırlık yüzdesi üzerine etkisi (Sıfır aşama sayısı besleme miktarını göstermektedir.)



Şekil 5. Bursa-Orhaneli siyeniti -106 um fraksiyonuna uygulanan yaş manyetik ayırma aşama sayısının konsantre Fe₂O₃ ve TiO₂ içeriği üzerine etkisi (Sıfır aşama sayısı değeri, beslemenin Fe₂O₃ ve TiO₂ içeriğini göstermektedir)

-74/ym'a öğütülmüş numune ile yapılan yüksek alan şiddetli yaş manyetik ayırma işleminden elde edilen konsantrenin ağırlık verimi %76,57 ve demir içeriği de %0,308 olmaktadır (Çizelge 6). Bu Surumda ince boyutlara inildikçe serbestleşmenin önemli ölçüde arttığı ve ağırlık veriminin buna bağlı olarak yükseldiği anlaşılmaktadır. Farklı inceliklere sahip beslemelerden elde edilen konsantrelerin renk verici içerikleri açısından bir benzerlik olduğu fakat, bu ayırma işleminde en önemli kontrol

Çizelge 6. Bursa-Orhaneli Siyeniti -74 um Fraksiyonuna Uygulanan Dört Aşama Yaş Manyetik Ayırma Sonucunda Elde Edilen Ürünlerin Ağırlık Yüzdeleri ve Kimyasal Analizi.

Bileşen	Man. Atık, %	Konsantre, %
SiO ₂	61,19	69,26
Al ₂ O ₃	15,65	17,49
Fe ₂ O ₃	4,905	0,308
TiO ₂	1,377	0,062
CaO	4,32	0,61
MgO	0,00	0,05
Na ₂ O	5,57	4,37
K ₂ O	5,17	7,52
KK	1,82	0,33
Ağırlık, %	23,43	76,57
Fe ₂ O ₃ Verimi, %	82,97	17,03

parametresinin katı verimi olduğuna dikkat edilmelidir. Elde edilen konsantrelerin 1260°C'da elde edilen pişme renkleri de birbirlerine benzer olmaktadır. Cevherin renk verici içeriğinin yüksek olması nedeniyle doğrudan manyetik ayırma uygulanması durumunda, temizleme aşama sayısının çok arttığı görülmektedir.

3.3 Flotasyon

Bursa-Orhaneli siyenit numunesine uygulanan flotasyon testlerinden önce, işlemi olumsuz yönde etkileyen -25 um fraksiyon dekantasyonla ayrıldıktan sonra kalan kısım flotasyona tabi tutulmuştur. Bu amaçla cevher içerisindeki renk verici Fe-Ti oksit/silikat mineralleri sodyum oleat ile pH 5-5,5'te, sülfonat ve sukkinamat tipi toplayıcılar ile pH 3-3,5'te yüzdürülmüştür. Bu doğrultuda, Çizelge 7'de Na-Oleat, R825, R840 ve R845 toplayıcılarının cevher içerisindeki renk verici mineralleri yüzdürmedeki başarısının test edildiği koşullar ve testler sonucunda elde edilen konsantrelerin yüzde ağırlıkları ve kimyasal analizleri verilmektedir.

Flotasyon deney sonuçları, Bursa-Orhaneli siyenitinin zenginleştirilmesinde, sukkinamat (R 845) kullanıldığında; Na-oleat ve sülfonat (R825) ile elde edilen konsantrelerden daha kaliteli bir konsantrenin daha yüksek bir verimle (%64,49) elde edileceğini göstermektedir. Ayrıca sukkinamat kullanımı, sülfonat tipi toplayıcılardan daha düşük dozajlarda (1200 g/t) benzer kalitede bir konsantre elde edilmesini sağlamaktadır. Fakat, R840 kullanılan testte elde edilen konsantrenin Fe₂O₃ içeriği (%0,253) ise sukkinamat ile elde edilen konsantrenin Fe₂O₃ içeriğinden (%0,263) daha düşük olmaktadır. Ancak, hem sukkinamat ile elde edilen

Çizelge 7. Bursa-Orhaneli Siyeniti -106 um Fraksiyonuna Farklı Toplayıcılarla Uygulanan Flotasyon Testlerinde İzlenen Deney Koşulları ve Testler Sonucunda Elde Edilen Konsantrelerin Kimyasal Analizi.

Parametre	Na-oleat	R825	R840	R845
PH	5,25	3,5	3,5	3,5
Toplayıcı Dozajı, g/ton	4000	2000	2000	1200
Koşul, Süresi*, dak.	1+5	1+5	1+5	1+5
Köpürtücü Dozajı, g/ton	40	40	40	40
Bileşen	Konsantre kimyasal bileşimi			
SiO ₂	68,88	69,22	68,96	69,39
Al ₂ O ₃	17,44	17,71	17,70	17,54
Fe ₂ O ₃	0,409	0,292	0,253	0,263
TiO ₂	0,018	0,018	0,016	0,013
CaO	0,49	0,27	0,20	0,24
MgO	0,05	0,05	0,06	0,05
Na ₂ O	4,65	4,50	4,66	4,56
K ₂ O	7,69	7,61	7,79	7,70
KK	0,37	0,33	0,36	0,24
Ağırlık, %	54,66	55,00	60,83	64,49
Fe ₂ O ₃ Verimi, %	16,14	11,60	11,11	12,25

* pH + toplayıcı koşullandırma süresi

konsantrenin veriminin oldukça yüksek olması, hem de sukkinamat dozajının diğer toplayıcılardan daha düşük olması, ekonomik değerlendirmenin yapılmasında toplayıcı fiyatları ile birlikte değerlendirilmesi gereken noktalar.

Flotasyon tesislerinde yerel yağlardan elde edilebilmesi nedeniyle, testler sırasında kullanılan toplayıcılardan en ucuzu olan Na-oleat kullanıldığında, hem konsantre verimi düşük olmakta (%54,66), -hem de konsantre Fe₂O₃ içeriği (%0,409) seramik veya cam hammaddesi olarak kullanılması açısından arzu edilen seviyelere indirilememektedir.

Daha düşük Fe₂O₃ içerikli konsantre üretmek amacıyla cevher 74 um'un altına öğütülerek flotasyon testine tabi tutulmuştur. Fakat, Bursa-Orhaneli siyeniti -74 um fraksiyonuna uygulanan flotasyon testi sonuçları bu tane boyutunda konsantre veriminin düşük olduğunu göstermektedir. Bu durum ise cevherin ince öğütmeye bağlı olarak büyük bir bölümünün (%46,17) şlam olarak atılmak zorunda olmasından kaynaklanmaktadır.

Bununla birlikte uygulanan deney koşullarında konsantre Fe₂O₃ içeriği %0,335'e

düşürülebilmıştır. -74 um ile yapılan flotasyon test sonuçları cevherin -106 um'dan daha fazla inceltmesinin gereksiz olduğunu göstermektedir. Bu nedenle çalışmalara -106 um fraksiyonu üzerinde devam edilmiştir.

Flotasyon testlerinde farklı toplayıcıların tek tek uygulanmasını takiben, farklı toplayıcıların karışımı ile olumlu sinerjik bir etkinin elde edilebilirliğinin araştırılması amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda R845-R825 (1:1) ve R840-R845 (1:1) karışımları ile -106 um tane boyutunda, aynı deney koşullarında flotasyon testleri yapılmıştır. Çizelge 8'de toplayıcı karışımlarının uygulandığı deney koşulları, ve elde edilen konsantrelerin ağırlık yüzdeleri ve kimyasal bileşimi verilmektedir.

Çizelge 8'de görüleceği üzere toplayıcı karışımlarının kullanıldığı flotasyon testlerinin sonucunda R845-R825 karışımı ile %61,30 verimle %0,275 Fe₂O₃ içeren bir konsantre, R845-R840 karışımı ile ise %66,19 verimle %0,296 Fe₂O₃ içeren bir konsantre elde edilmiştir. Toplayıcı karışımlarının denendiği flotasyon testlerinde, toplayıcıların tek başına kullanıldığı testlerle karşılaştırıldığında önemli

Çizelge 8. Bursa-Orhaneli Siyeniti -106 um Fraksiyonuna Uygulanan Flotasyon Deney Koşulları ve Elde Edilen Konsantrelerin Ağırlık Yüzdeleri ve Kimyasal Bileşimi

Parametre	R845+R825	R845+R840
PH	3,5	3,5
Toplayıcı Karışım Oranı	1:1	1:1
Toplayıcı Dozajı, g/t	3,500	3,500
Koşul, Süresi*, dak.	1+5	1+5
Köpürtücü Dozajı, g/t	40	40
Bileşen	Konsantre kimyasal bileşimi	
SiO ₂	68,99	69,12
Al ₂ O ₃	17,59	17,67
Fe ₂ O ₃	0,275	0,296
TiO ₂	0,015	0,012
CaO	0,28	0,28
MgO	0,05	0,05
Na ₂ O	4,68	4,55
K ₂ O	7,78	7,72
KK	0,34	0,30
Ağırlık (%)	61,30	66,19
Fe ₂ O ₃ Verimi (%)	12,17	14,15

pH + toplayıcı koşullandırma süresi

ölçüde bir iyileşme sağlanamamış, bu nedenle tek bir toplayıcı kullanılmasının hem işlemi daha basit kılması, hem de farklı iki toplayıcının temininden doğacak zorlukların önlenmesi açısından daha uygun olduğu düşünülmektedir.

3.4 Flotasyon ve Yaş Manyetik Ayırma

Bursa-Orhaneli siyenit numunesinin -106 um fraksiyonuna uygulanan flotasyon testlerini takiben, konsantre kalitesinin yükseltilmesi amacıyla elde edilen konsantrelerin bir aşama matris tipi yüksek alan şiddetli yaş manyetik ayırıcıdan geçirilmesine karar verilmiştir.

Bu amaçla flotasyon sonunda elde edilen konsantrelerin manyetik ayırıcıdan geçirilmesi durumunda, cevherin manyetik mineral içeriğinin oldukça büyük bir kısmı flotasyon aşamasında ayrılmış olduğu için manyetik ayırma performansı da yüksek olmaktadır.

Çizelge 9'da flotasyon konsantrelerinin yaş manyetik ayırıcıdan geçirilmesi sonunda elde edilen ürünlerin kimyasal bileşimi ve ağırlık yüzdeleri verilmektedir. Çizelge 9'da görüleceği üzere flotasyonu takiben yapılan yaş manyetik ayırma testleri sonucunda birbirine çok yakın Fe_2O_3 (yaklaşık %0,21) içeriğine sahip konsantreler elde edilmektedir. Na-oleat ile yapılan flotasyon testi sonunda elde edilen konsantrenin Fe_2O_3 içeriğinin yüksek olması nedeniyle yaş manyetik ayırıcıdan ancak 5 aşama geçirildiğinde benzer Fe_2O_3 içeriğine ulaşılabilmektedir.

Yaş manyetik ayırma sonucunda ise Na-oleat flotasyonu konsantresi dışındaki konsantreler için %88 civarında bir verim elde edilmektedir. Ancak flotasyon sonucunda elde edilen konsantre verimi de dikkate alındığında en yüksek ağırlık veriminin %56,63 ile R845 konsantresinden elde edildiği görülmektedir. Dört flotasyon konsantresine uygulanan yaş manyetik ayırma sonunda elde edilen konsantrelerde Fe_2O_3 'ün yaklaşık %0,20'den aşağıya düşürülebilmesi ise mineraloji çalışmaları sonucunda belirlenen feldispat taneleri içerisinde saçınımlı halde bulunan opak mineraller ve boya şeklindeki hematitten kaynaklanmaktadır (Şekil 6 ve Şekil 7).

Şekil 6'da görüleceği üzere ortoklaz kristalleri arasında bulunan çatlaklar hematit ile dolmuş durumdadır. Benzer durum Şekil 7'de opak mineral ve hornblend kapanımlarının yanı sıra

Çizelge 9. Bursa-Orhaneli Siyenit Numunesinden - 106nm'da Flotasyon + Yaş Manyetik Ayırma Sonunda Elde Edilen Ürünlerin Kimyasal Bileşimi ve Ağırlık Yüzdeleri.

Bileşen	Konsantre kimyasal bileşimi			
	NaOl*	R825	R840	R845
SiO ₂	69,55	69,29	69,51	70,51
Al ₂ O ₃	17,46	17,70	17,65	17,42
Fe ₂ O ₃	0,207	0,210	0,216	0,208
TiO ₂	0,014	0,014	0,019	0,009
CaO	0,20	0,21	0,21	0,20
MgO	0,05	0,05	0,05	0,03
Na ₂ O	4,63	4,60	4,39	4,10
K ₂ O	7,67	7,71	7,69	7,27
KK	0,22	0,22	0,26	0,25
Ağırlık, %	68,80	87,36	88,27	87,81
Tüvenana göre Ağ., %	37,61	48,05	53,69	56,63

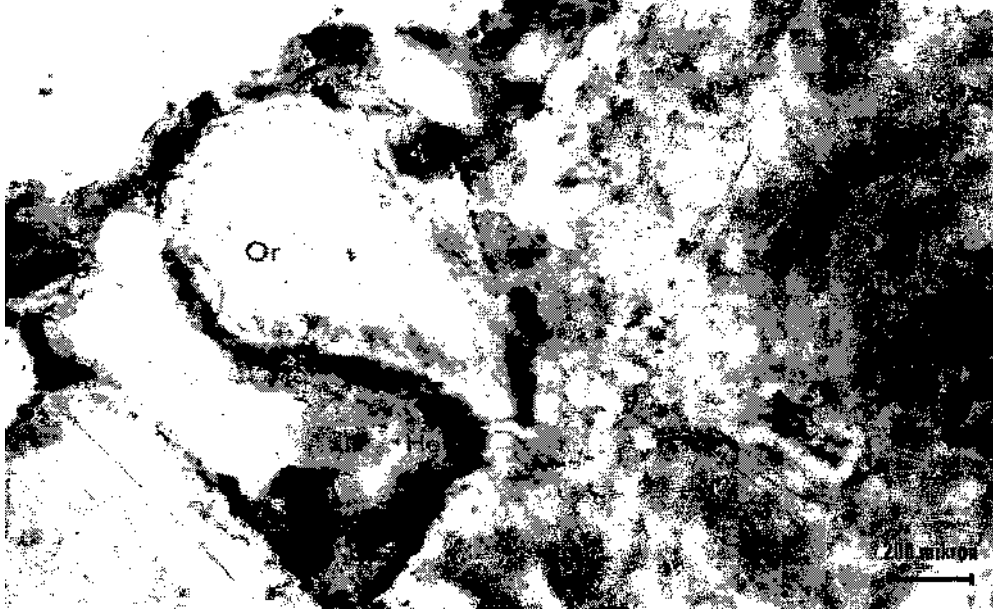
* Na-oleat kullanılarak elde edilen flotasyon konsantresi yaş manyetik ayırıcıdan beş aşama geçirilmiştir.

10-20 um kalınlığında hematit dolgulu çatlaklarda da gözlenmektedir. Bu kapanım ve diğer saçınımların çok ince tane boyutunda olması, safsızlıkların -106 µm tane boyutunda uzaklaştırılmasını imkansız hale getirmekte ve Fe_2O_3 içeriğinin 0,20'nin altına düşmesini engellemektedir.

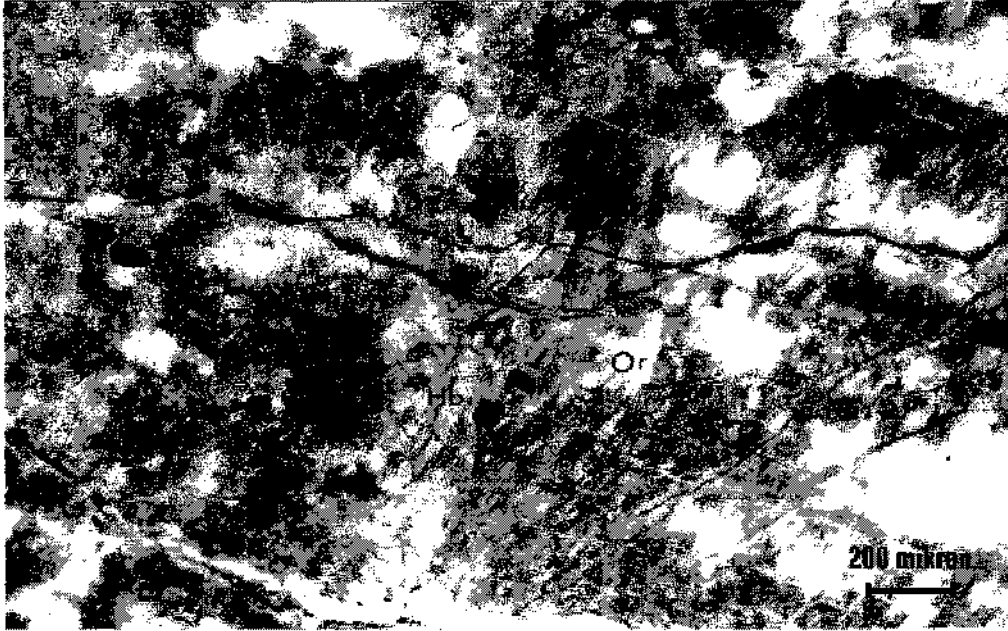
Sonuç olarak Bursa-Orhaneli siyenitinin en yüksek oranda değerlendirilmesinin flotasyon ve manyetik ayırma aşamalarını içeren iki kademeli bir zenginleştirme devresinde sağlanabileceği görülmektedir. Bu akım şemasının oluşturulmasında kullanılan deneysel çalışma sonuçları ise Çizelge 10'da özetlenmektedir. Buna göre tesiste sadece flotasyon devresi çalıştığında ve flotasyon devresi ile manyetik ayırma devresi birlikte çalıştığında üretilebilecek ürünlerin özellikleri verilmektedir.

Çizelge 10'da görüleceği üzere sadece flotasyon uygulandığında bile TiO₂ içeriği oldukça düşük değerlere (%0,013) çekilebilirken Fe_2O_3 içeriği ancak %0,263'e indirilebilmektedir. Fe_2O_3 içeriğinin daha düşük değerlere düşürülebilmesi için uygulanan manyetik ayırma ise Fe_2O_3 içeriğini ancak %0,208'e indirebilmektedir. Sonuç olarak alkali (Na₂O ve K₂O) toplamı % 11,37 olan bir feldispat konsantresi elde edilmektedir.

Bu bilgiler ışığında Bursa-Orhaneli siyenitinin zenginleştirilmesi amacıyla yönelik önerilen akımşeması Şekil 8'de verilmektedir.



Şekil 6. Ortoklazlar (Or) arasında hematit (He) dolgulu çatlakların mikroskopik görünümü, tek nikol



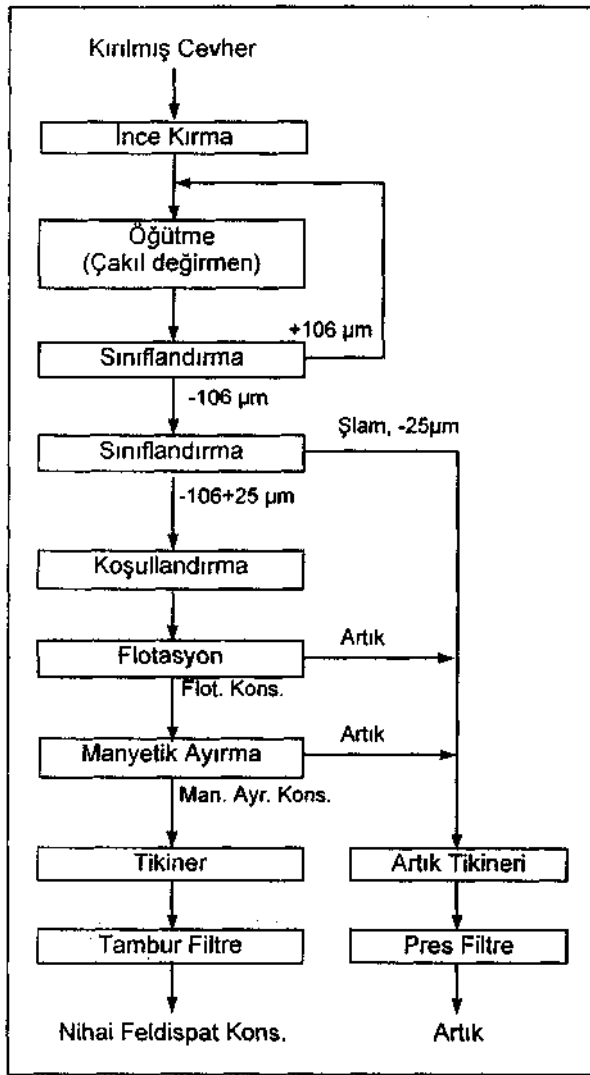
Şekil 7. Ortoklaz (Or) içerisinde opak mineral ve hornblend (Hb) kapanımları, tek nikol

Cevherdeki alterasyondan dolayı, öğütme sonunda yüksek oranlarda şlam meydana gelmektedir. Laboratuvar testleri sırasında kesikli öğütme nedeniyle şlam olarak ayrılan ağırlıkça %18-19'luk kısım tesis ölçeğinde kapalı devre öğütme ile %15'lere indirilebilir. Bununla birlikte bu fraksiyon yüksek alkali içeriği ve ince tane boyutu dağılımı göz önünde bulundurularak

masse malzemesi şeklinde değerlendirilebilir. Akım şemasında ilk yatırım düşünülerek şlam ve artık tek birimde toplanmıştır. Şlamın da masse olarak (yan ürün) değerlendirilmesi durumunda şlam ile flotasyon ve manyetik ayırma artıkları birleştirilmemeli, şlam ayrı bir susuzlandırma devresine verilmelidir.

Çizelge 10. Bursa-Orhaneli Siyeni için geliştirilen Akım Şemasına Temel Teşkil Eden Deneysel Çalışmalardan Elde Edilen Ürünler ve Kimyasal Bileşimleri

Bileşen	Besleme	Şlam (-25 A/m)	Flotasyon konsantrem	Flotasyon atığı	Manyetik ayırma atığı	Flotasyon + Man. ayırma kons.
SiO ₂	67,37	68,01	69,39	59,04	61,32	70,51
Al ₂ O ₃	17,06	16,83	17,54	15,49	18,40	17,42
Fe ₂ O ₃	1,385	1,281	0,263	5,739	0,659	0,208
TiO ₂	0,370	0,258	0,013	1,841	0,042	0,009
CaO	1,48	1,36	0,24	6,30	0,53	0,20
MgO	0,03	0,03	0,05	0,00	0,19	0,03
Na ₂ O	4,65	4,10	4,56	5,59	7,87	4,10
K ₂ O	6,97	6,95	7,70	4,23	10,80	7,27
KK	0,68	1,18	0,24	1,80	0,17	0,25
Ağırlık (%)	100,00	18,45	64,49	17,06	7,86	56,63



Şekil 8. Bursa Orhaneli siyeni zenginleştirme akım şeması

4. SONUÇLAR

Bursa-Orhaneli siyeni üzerinde yapılan mineralojik çalışmalara göre, ince çatlaklar içerisinde yer alan hematit ve feldispat üzerinde saçımlı halde bulunan manyetit mineralleri, cevherin zenginleştirilmesini zorlaştıran ve iri tane boyutlarında kaliteli bir konsantre elde edilmesini engelleyen en önemli bileşenler olarak ortaya çıkmaktadır.

Nitekim -300 µm tane boyutunda yapılan dört aşamalı kuru manyetik ayırma ve -212 µm tane boyutunda uygulanan yaş manyetik ayırma deneyleri sonucunda, bu boyutlarda yeterli serbestleşmeye ulaşamadığından yüksek verimle kaliteli bir konsantrenin elde edilemeyeceği belirlenmiştir.

-106 µm ve -74 µm tane boyutlarında uygulanan yaş manyetik ayırma testleri sonucunda ise sırasıyla %0,303 ve %0,308 Fe₂O₃ sahip konsantreler beslemenin ağırlıkça %68,42 ve %76,57'si olarak elde edilmiştir. Yaş manyetik ayırmanın tek başına etkili ayrımlar yapmak amacıyla kullanılabilmesine karşın, cevherin yüksek manyetik mineral içeriği çok aşamalı manyetik ayırma yapılmasını gerektirmekte ve bu da ayırma maliyetini önemli ölçüde etkilemektedir.

Flotasyon öncesinde uzaklaştırılması gereken yaklaşık -25 µm tane boyutuna sahip şlam, cevher -74 µm'a öğütüldüğünde toplam beslemenin yaklaşık %40'ını teşkil etmekte ve bu da konsantre ağırlık veriminin %37,05'e düşmesine sebep olmaktadır. Bu nedenle cevherin 74/L/m'nun altına öğütülerek flotasyona tabi tutulması uygun değildir.

-106 μm tane boyutunda farklı toplayıcıların konsantr verim ve kalitesi üzerine etkilerinin incelendiği flotasyon testlerinde ise, cevherden renk verici bileşenlerin uzaklaştırılmasında en başarılı sonucun sukkinamat (R845) tipi toplayıcı ile elde edildiği görülmektedir. Bu yöntemle cevherin %64,49'u konsantr olarak alınmakta ve konsantr Fe_2O_3 içeriği %0,263'e düşmektedir. Toplayıcıların karışımı ile yapılan testler sonucunda ise R845'in tek başına kullanıldığı durumdan daha başarılı sonuçlar elde edilememektedir.

Flotasyon işlemini takiben uygulanan yaş manyetik ayırmanın ise konsantr Fe_2O_3 içeriğini kaydadeğer ölçüde düşürdüğü görülmektedir. Toplayıcı olarak R845 kullanılan deneyden elde edilen konsantrın yaş manyetik ayırıcıdan geçirilmesi sonucunda Fe_2O_3 içeriği %0,208'e düşürülmüştür. Bu işlem sonrasında %64,49 olan flotasyon konsantr ağırlığı %56,63'e düşmektedir.

Üretilen konsantrın TiO_2 içeriği %0,01 değerlerine kadar düşürülebilmektedir. Hem manyetik ayırma hem de flotasyonla TiO_2 içeriği düşmektedir. Cevherde bu açıdan bir sorun yaşanmamıştır.

Bu bilgiler ışığında Bursa-Orhaneli siyenitinin zenginleştirilmesinde en uygun devrenin flotasyonu takiben yaş manyetik ayırma olacağı belirlenmiştir. Cevher, oluşumu gereği flotasyon + manyetik ayırma gibi iki aşamalı bir zenginleştirme gerektirmesi ve sonuçta da cevherden şlam (%15) ve artık (%25) olarak ağırlıkça yaklaşık %40 kadarının atılması, çok dikkatli bir fizibilite yapıldıktan sonra tesis ölçeğinde zenginleştirilebileceğinin bir göstergesi olarak kabul edilmelidir.

Optimum koşullarda elde edilen konsantrın $\text{K}_2\text{O}:\text{Na}_2\text{O}$ içeriğinin 1,77 gibi görece düşük bir değerde olması porselen sektöründe kullanımını engellemekte ve konsantr fiyatını günümüz piyasa koşullarında olumsuz etkileyen bir faktör olarak görülmektedir. Bu siyenitlerin zenginleştirilmesi için kurulacak bir tesisin, günümüz endüstriyel hammadde piyasası göz önüne alındığında, risk taşıyan bir yatırım olacağı düşünülmektedir.

TEŞEKKÜR

Yazarlar, numune temini ve kimyasal analizlerin yapılmasındaki katkıları için Matel Hammadde

San. Tic. A.Ş.'ye ve mineraloji çalışmalarını titizlikle yürüten Yrd.Doç.Dr. Üner Çakır'a teşekkür eder.

KAYNAKLAR

Akar, A., 1994; "Evaluation of Gördes Köprübaşı District Feldspar Industrial Raw Material Deposits", Progress in Mineral Processing Technology, Ed. H.Demirel, S.Ersayın, Proceedings of 5th Int. Min. Process. Symp., Turkey, 243-249.

Bayraktar, İ., Ersayın, S. ve Gülsoy, Ö.Y., 1997, "Upgrading Titanium Bearing Na-Feldspar by Flotation Using Sulphonates, Succinamates and Soaps of Vegetable Oils", Minerals Engineering, 1,(12), 1363-1374.

Bayraktar, L, Ersayın, S., Gülsoy, Ö.Y., Ekmekçi, Z. ve Can, N. M., 1999; "Temel Seramik Hammaddelerimizdeki (Feldspat, Kuvars ve Kaolin) Kalite Sorunları ve Çözüm Önerileri", 3. End. Ham. Semp. Kitabı, 22-33, TMMOB Maden Mühendisleri Odası, İzmir.

Bayraktar, İ., Ersayın, S., Gülsoy, Ö.Y., Ekmekçi, Z., Can, N. M. ve Orhan, E.C., 2000; "Temel Seramik Hammaddelerinin (Feldspat, Kuvars ve Kaolin) Zenginleştirilmesi", Kalemaden Bülteni, 8-12, Haziran-Temmuz.

Bayraktar, İ., Gülsoy, Ö.Y., Can, N. M. ve Orhan, E.C., 2001; "Feldspatların Zenginleştirilmesi", 4. End. Ham. Semp. Kitabı, 97-105, TMMOB Maden Mühendisleri Odası, İzmir.

Crozier, R.D., 1990; "Non-metallic Mineral Flotation - Reagent Technology", Industrial Minerals, 55-65, February.

Çelik, M.S., Can, I. ve Eren, R.H., 1998; "Removal of Titanium Impurities from feldspar ores by new flotation collectors", Minerals Engineering, 11, (12), 1201-1208.

Çelik, M.S., Pehlivanoğlu, B., Aslanbaş, A. ve Asmatülü, R., 2001; "Flotation of Colored Impurities From Feldspar Ores", Minerals & Metallurgical Processing, 18, (2), 101-105.

Deer, W.A., Howie, R.A. ve Zussman, J., 1974; "An Introduction to the Rock Forming Minerals", Longman, 193-203, London.

Eddy, W.H., Collins, E.W., Browning, J.S. ve Sullivan, G.V., 1972; "Recovery of Feldspar and

Glass Sand From South Carolina Waste Granite Fines", US Bureau of Mines, Report of Investigations 7651, Washington.

Güisoy, Ö.Y., Bayraktar, İ. ve Can, N.M., 2003; "Altère Granitlerden Yüksek Potasyumlu Feldispat Üretimi", Madencilik dergisi, 42, (3), 3-9, Eylül.

Manser, R.M., 1975; "Handbook of Silicate Flotation", Warren Spring Laboratory, Stevanage, England, 206.