

Feldspat Zenginleştirme Tesisi Atıklarının Değerlendirilebilirliğinin Araştırılması

Investigation of Evaluability of Feldspar Processing Plant Wastes

Mert Terzi¹, İlgin Kurşun^{1*}

¹ *İstanbul Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Avcılar/İstanbul*

* *Sorumlu Yazar: ilginkur@istanbul.edu.tr*

Özet

Günümüzde cevherlerin çok az bir kısmı cevher hazırlama işlemlerinden geçmeden kullanılabilir nitelik taşımaktadırlar. Cevher hazırlama işlemleri sonucunda; zenginleştirilmesi istenen cevherin yanında, azımsanmayacak miktarlarda atık veya artık olarak nitelendirilen ve mevcut teknolojik imkanlarla ekonomik olarak kazanılması zor yan ürünler de ortaya çıkmaktadır. Yıllık üretimde milyonlarca tona kadar ortaya çıkabilen bu atıkların depolanmaları ve bertarafı ise oldukça problemlidir. Atıklar ayrıca içerdikleri atıl durumdaki mineraller açısından da büyük öneme sahiptirler.

Feldspat rezervleri açısından dünyada ilk sıralarda yer alan Türkiye, son yıllarda dünya feldspat üretiminde de önde gelen ülkeler arasında yer almıştır. Ülkemizdeki bazı feldspat cevherlerinde başlıca safsızlıkları titanyum ve demir mineralleri oluşturmaktadır. Bu safsızlıklar renk verir nitelikte olduklarından feldspat cevheri kalitesinde düşüşe yol açmaktadırlar. Türkiye feldspat cevherleri genelinde yapılan mineralojik araştırmalar rutilin ve nadiren titanatın asıl titanyum mineralleri olduğunu, demir içeriğinin ise esasen mika minerallerinden kaynaklandığını işaret etmektedir. Ayrıca titanyum ve demir haricinde safsızlık olarak, monazit ve ksenotim mineralleri kaynaklı Nadir Toprak Elementleri de bulunabilmektedir.

Bu çalışmada, özel bir şirkete ait feldspat zenginleştirme tesisi atıklarının değerlendirilip değerlendirilemeyeceği kapsamında karakterizasyon deneyleri yapılarak zenginleştirme proseslerinin önerilmesi amaçlanmıştır.

Abstract

Nowadays very small portion of ores had usable quality without treated by mineral processing operations. As a result of mineral processing procedures; besides the valuable contents that is aimed for upgrade, side products that is defined as tailings and wastes are also occurs. Economical recovery of these products by available technological means is difficult. These wastes occur up to millions of tons annually and their storage and disposal could be fairly problematical. The mineral industry wastes also have significant importance for their unexploited valuable mineral content.

Turkey takes place on top ranks in terms of feldspar reserves in the world and also has been among the leading countries in the production of feldspar in recent years. The principal impurities in some feldspar ores are titanium and iron, which impart color and in turn degrade the quality of the ore. Mineralogical investigations on the majority of Turkish feldspar ores indicate that rutile and, scarcely, sphene are the major titanium minerals and iron mainly originates from mica minerals. Furthermore other than titanium and iron impurities, rare earth elements originated from monazite and xenotime minerals can be included as an impurity.

In this study, evaluability of feldspar processing plant wastes of a private company was investigated. In this context, characterization tests that are aimed to propose extraction processes were carried out.

1. Genel Bilgiler

Feldspatlar yerkabuğunun % 60-65'ini oluşturan sodyum, potasyum, kalsiyum, lityum ve bazen de baryum ve sezyum ve bu elementin izomorf birleşimi ile oluşmuş susuz alümina silikatlarıdır. Bu mineraller her magma kütlelerinde değişik şekillerde bulduklarından bunların soğuyup kristalleşmesi ile yer yer feldspat zonları ve yatakları oluşmaktadır (TMOBB 2007).

Feldspat minerallerine içeriklerine bağlı olarak farklı isimler verilmektedir. Sodyumca zengin feldspat albit olarak adlandırılmaktadır. Ortoklas ve anortit terimleri ise sırasıyla potasyum ve kalsiyumca zengin feldspatları tanımlamakta kullanılmaktadır (Bayraktar ve ark., 1997). Feldspatlar cam yapımında, seramik üretiminde ve plastik, boya ve lastik sanayilerinde dolgu ve ekstender gibi katma değer yaratan uygulamalarda kullanılmaktadırlar (Bayat ve ark., 2005).

Dünya feldspat kaynağı olarak granitler, metagranitler, gnayslar, pegmatitler, nefelinli siyenitler ve feldspatik kumlar görülmektedir. Bu kaynakların bolluğu nedeniyle dünya feldspat rezervleri için kesin verilere ulaşmak mümkün olmamaktadır. Dünya literatüründe de bu kaynaklardan bahsedilmekte ve kesin rakamlar verilememektedir. Dünya toplam feldspat rezervleri toplam 1.740 milyon ton olup bu rezervlerin büyük bir bölümü Asya kıtasında yer almaktadır. Türkiye 240 milyon tonluk rezerv ile dünya feldspat rezervlerinin % 14'ünü oluşturmakta ve ülke bazında en büyük sodyum feldspat rezervine sahip durumdadır (DPT, 2001). USGS'nin yıllık raporları ve BGS'nin 2005-2009 yılı için yayınladığı World Mineral Production raporuna göre dünyada 2009 yılı itibarı ile 57 ülke feldspat üretimi yapmaktadır. Bu ülkeler içerisinde üretim açısından ilk 3 sırayı Türkiye, İtalya ve Çin almaktadırlar. MTA Genel Müdürlüğü'nün verilerine göre Türkiye, dünyadaki kaliteli feldspat rezervlerinin yaklaşık olarak %14'üne sahiptir.

Ülkemizin ekonomik sayılabilecek feldspat yatakları; Batı Anadolu'da bulunan, Aydın ve Muğla'daki feldspat yataklarıdır ki; bugün ihracat da buralardan yapılmaktadır. Özellikle Batı Anadolu'da, Çine-Milas-Yatağan-Bozdoğan yöresinde üretim yapılmaktadır. Rezerv olarak önemi; kalitesinden, limana ve tüketim alanlarına olan yakınlığından kaynaklanmaktadır (Erdoğan, 1999).

Demir ve titanyum mineralleri feldspatların mineralojik yapılarında bulunmaktadır ve renk verme özelliklerinden dolayı istenmeyen safsızlıklar olarak nitelendirilmektedirler. Feldspat cevherlerinde gözlenen başlıca safsızlıklar; titanyum mineralleri olarak rutil ve sfen, demir oksitler olarak garnet, hematit, hornblend, turmalin, biyotit ve muskovit gibi minerallerdir. Bu minerallerin ürünün spesifikasyon değerlerinden daha yüksek olması durumunda cam ve seramiğin kalitesi düşmekte ve buna bağlı olarak renk değişimleri olmaktadır (Hacıfazlıoğlu ve ark., 2012), (Kursun ve İpekoğlu, 1997, 2000). Türkiye'nin batısındaki feldspat cevherleri çoğunlukla albit cevherleridir. Bu cevherlerin önemli bir bölümü ise asıl safsızlık olarak sadece titanyum ve nispeten düşük seviyelerde demirli mineraller içermektedir. (Kursun ve ark., 2003; 2004).

Bu çalışmaya konu olan tesis özel bir firmaya ait feldspat zenginleştirme tesisidir. Deneylere esas olan numuneler firmaya ait albit zenginleştirme tesisinden temin edilmiştir. Tesiste feldspat cevherleri flotasyon yöntemi ile zenginleştirilmektedir. Zenginleştirme prosesi malzemenin besleme bunkerine ile değirmene beslenmesiyle başlar. Değirmen çıkışı sonrası katlı elek ve siklon devresi ile sınıflandırılan malzeme kondisyonerlere iletilir. Kondisyonerlerde oleat tipi bir toplayıcı ile şartlandırılan malzeme öncelikle rutil selüllerine gönderilir ve rutil yüzdürülür. Mika flotasyonunda toplayıcı olarak kullanılan asetat rutil flotasyonundan sonra devreye eklenmekte ve mika flotasyonu ayrı selüllerde yapılmaktadır. Selüllerden çıkan köpükler birleştirilerek ara ürün

selüllerine gelir. Ara ürün selüllerinden gelen malzeme atık konisinden sonra disk filtreler ile susuzlaştırıldıktan sonra tesis atık döküm sahalarında atık olarak biriktirilmektedir. Tesisin atık döküm sahalarından alınan numunelerden titanyum minerallerinin kazanılabilmesi için en uygun cevher zenginleştirme prosesinin belirlenmesi bu çalışmanın amacını oluşturmaktadır.

2. Deneysel Çalışmalar

Tesisten alınan numunenin konileme-dörtleme ile azaltılması sonucu hazırlanan temsili numune üzerinde yaş eleme yöntemi ile yapılan boyut dağılım analizi sonuçları Çizelge 1’de, kümülatif elek altı ve elek üstü eğrileri Şekil 1’de verilmektedir.

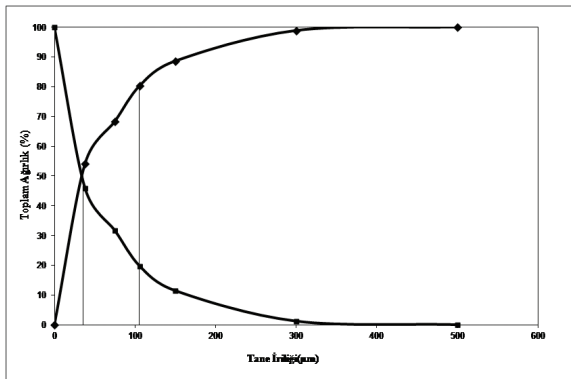
Boyut Aralığı (mm)	Ağırlık (%)	K.E.Ü. (%)	K.E.A. (%)	TiO ₂ (%)	Dağılım (%)
-0,5 + 0,3	1,19	1,19	100,00	3,13	2,03
-0,3 + 0,15	10,25	11,44	98,81	3,61	20,20
-0,15 + 0,106	8,22	19,66	88,55	3,21	14,40
-0,106 + 0,075	12,04	31,70	80,33	3,24	21,29
-0,075 + 0,038	14,18	45,88	68,30	2,88	22,29
-0,038	54,12	100,00	54,12	0,67	19,79
TOPLAM	100,00			1,83	100,00
d ₅₀ – d ₈₀ (mm): 0,035 - 0,105					

Çizelge 1. Elek analizi sonuç tablosu

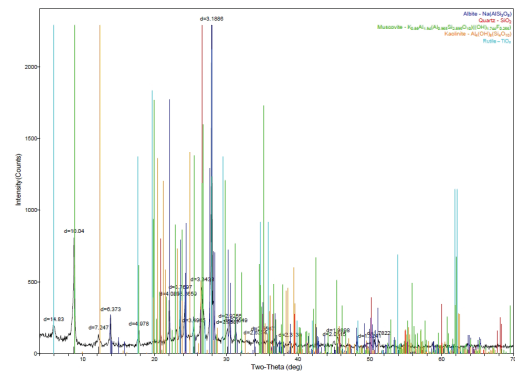
Elek analizi sonucunda numunenin %100’ünün 0,5 mm’nin altında, % 54,12’sinin ise 0,038 mm’nin altında olduğu görülmüştür. Numunenin d₅₀ ve d₈₀ boyutları ise sırasıyla 0,035 mm ve 0,105 mm olarak belirlenmiştir.

2.1 Numunenin Mineralojik Özellikleri

Gerek zenginleştirme tesisi devresine beslenen ham cevher üzerinde, gerekse orjinal atık numuneleri üzerinde yapılan ince kesit çalışmalarında deneylere esas numunenin albit, mikroklin, kuvars, muskovit, rutil, apatit, zirkon, manyetit, limonit ve turmalin minerallerinden oluştuğu belirlenmiştir (Şekil 2).



Şekil 1. Kümülatif elek altı ve elek üstü eğrileri



Şekil 2. Numunenin XRD Grafiği

2.2 Numunenin Kimyasal Özellikleri

Numunenin komple kimyasal analizi kapsamında; majör oksitlerin ve çeşitli minör elementle-

rin toplam içerikleri, 0,2 gr örnek üzerinde gerçekleştirilen ICP-ES (emiyon spektrometrisi) analizi, akabindeki lityum metaborat/tetraborat füzyonu ve seyreltik nitrik çözündürme işlemleri sonucu belirlenmiş ve raporlanmıştır. Kızdırma kaybı ise numunenin 1000 °C'ye ısıtılması sonrasında hesaplanan ağırlık değişimi ile bulunmaktadır.

Nadir toprak elementleri ve refrakter element içerikleri ise yine 0,2 gr örnek üzerinde gerçekleştirilen ICP-MS (kütle spektrometrisi) analizi, akabindeki lityum metaborat/tetraborat füzyonu ile nitrik asitte çözündürme işlemleri sonucu bulunmuştur. Buna ek olarak 0,5 gr'lık ayrı bir örnek aqua regia ile çözündürülerek ve ICP-MS analizi ile değerli ve baz metal içerikleri belirlenmiştir. Atık numunesinin bu yöntemlerle gerçekleştirilmiş komple kimyasal analizinin sonuçları Çizelge 2'de verilmiştir.

Element	(%)	Element	ppm
SiO ₂	59,20	La	127,5
Al ₂ O ₃	19,92	Ce	298,5
Fe ₂ O ₃	1,56	Pr	33,15
MgO	2,56	Nd	132,0
CaO	2,22	Sm	29,05
Na ₂ O	7,52	Eu	3,92
K ₂ O	2,02	Gd	31,12
TiO ₂	1,90	Tb	5,64
P ₂ O ₅	0,76	Dy	34,42
MnO	0,02	Ho	7,13
Cr ₂ O ₃	0,014	Er	20,55
Sc	23	Tm	2,89
K.Kayıbı	2,00	Yb	17,64
Sum	99,68	Lu	2,43
Ba (ppm)	257	Toplam/C	0,12
Be (ppm)	4	Toplam/S	<0,02
Co (ppm)	3,3	Mo	0,3
Cs (ppm)	4,4	Cu	2,2
Ga (ppm)	21,6	Pb	89,5
Hf (ppm)	18,8	Zn	23
Nb (ppm)	48,5	Ni	17,0
Rb (ppm)	118,1	As	5,3
Sn (ppm)	19	Cd	<0,1
Sr (ppm)	287,5	Sb	0,4
Ta (ppm)	3,1	Bi	0,4
Th (ppm)	60,5	Ag	0,2
U (ppm)	7,4	Au	2,5
V (ppm)	104	Hg	<0,01
W (ppm)	4,1	Tl	0,4
Zr (ppm)	632,8	Se	<0,5
Y (ppm)	220,4		

Çizelge 2. Atık numunesinin ICP yöntemleri ile yapılan analiz sonuçları

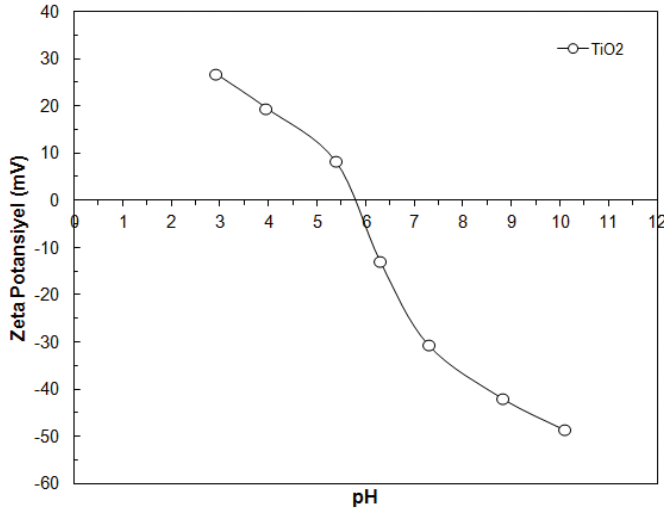
Numunenin komple kimyasal analizi sonucunda % 1,9 oranında TiO_2 içerdiği belirlenmiştir. Numunede TiO_2 dışında, ekonomik değer ifade edebilecek oranda nadir toprak elementlerinin varlığı da belirlenmiştir. Özellikle itriyum, lantan, seryum ve neodimyum elementlerinin içeriklerinin; bu elementlerin yer kabuğundaki ortalama konsantrasyonlarından 10 kata kadar daha yüksek olduğu görülmektedir. Nadir toprak elementleri içeriğinin ise yapılan mineralojik incelemelerde ince boyutlarda gözlenen monazit ve ksetonim minerallerinin varlığına bağlı olduğu kanısına varılmıştır. Ce, Y ve Nb içeriklerinin yüksek olması anataz ve rutilin büyük bir olasılıkla sfenin alterasyonu sonucunda oluşmuş olabilmelerine bağlıdır.

2.3 Flotasyon ile Zenginleştirme Deneyleri

Çalışma kapsamında gerçekleştirilen zenginleştirme deneylerinde, feldspat atık numunesindeki titanyum minerallerinin yüksek TiO_2 konsantre tenörü ve yüksek TiO_2 konsantre verimi ile flotasyon yöntemiyle kazanılması amaçlanmıştır. Flotasyon deneylerinde; kullanılacak malzemeyi reaktiflerden arındırma ve arındırıcı reaktifin dozajının flotasyon üzerindeki etkileri, toplayıcı reaktif türleri ve dozajları, pH şartları, besleme tane boyutunun ve malzeme içerisindeki şlam varlığının flotasyon üzerindeki etkileri incelenmiş ve yorumlanmıştır.

2.3.1 Numunenin Yüzey Kimyası Özellikleri

Bu grup deneysel çalışmalar kapsamında flotasyon deneyleri ile yüzdürülmesi amaçlanan titanyum minerallerinin yüzey özellikleri incelenmiştir. Bu amaçla elektroforetik yöntemle zeta potansiyeli ölçümleri yapılarak TiO_2 'nin pH'a bağlı zeta potansiyel profilini elde etmek hedeflenmiştir. Bu kapsamda zeta potansiyel ölçümleri için Brookhaven Zetaplus zetametre kullanılmıştır. Deneyler sonucunda elde edilen TiO_2 'nin pH'a bağlı zeta potansiyeli profili Şekil 4'te verilmiştir.



Şekil 4. TiO_2 'nin pH'a bağlı zeta potansiyeli profili

Şekil 4'te görülebileceği gibi TiO_2 'nin sıfır yük noktası (zero point of charge) yaklaşık 5,9'dur.

2.3.2. Flotasyon Deneyleri

Çalışma kapsamında yapılan flotasyon deneylerinde feldspat atık numunesindeki titanyum minerallerinin yüksek TiO_2 konsantre tenörü ve yüksek TiO_2 konsantre verimi ile kazanıldığı optimum flotasyon şartlarının belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla öncelikle flotasyon deneylerinde kullanılacak malzemeyi reaktiflerden arındırma işlemi uygulanmıştır. Bu deneylerde reaktiflerden arındırma işleminin ve kullanılan arındırıcı reaktifin dozajının flotasyon üzerinde-

ki etkileri araştırılmıştır. Bir sonraki aşamada flotasyona beslenen malzemenin tane boyutunun ve malzeme içerisindeki şlam olarak nitelendirilebilecek ince boyutlu tanelerin varlığının flotasyon üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Rutil flotasyonunda etkili oldukları konuda yapılmış önceki çalışmalarda ortaya konmuş olan R801, R825, alkyl succimanate ve alkyl hydroxamate reaktifleri toplayıcı reaktifler olarak kullanılmış, bu reaktiflerin dojazlarının ve uygulandıkları pH şartlarının flotasyon işlemleri üzerindeki etkileri incelenmiş ve yorumlanmıştır.

2.3.2.1. Malzemenin Hazırlanması ve Reaktiften Arındırma İşlemi

Deneylerde kullanılacak malzeme bilyalı değirmende 180 dakika süre ile kapalı devre olarak öğütülerek tane serbestleşme boyutu olan 106 µm boyutuna indirilmiştir. Bu işlemle flotasyon deneylerinde kullanılacak -106 µm boyut grubu hazırlanmıştır.

Ayrı bir boyut grubu olarak, elde edilen -106 µm boyut grubundan -38 µm boyutunda eleme yapılarak şlam atma işlemi uygulanmıştır. Bu işlemle de deneylerde kullanılacak bir diğer boyut grubu olan -106+38 µm grubu hazırlanmıştır.

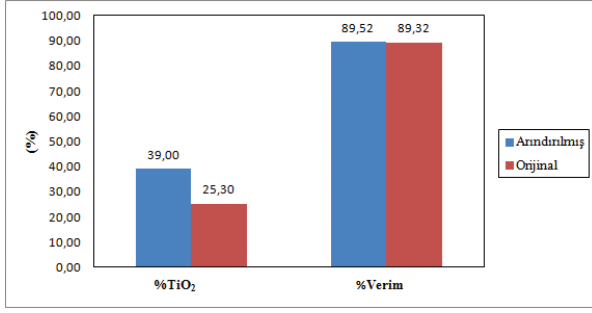
2.3.2.2. Reaktiften Arındırma İşleminin Etkisinin ve Optimum Reaktif Dojazının Araştırılması

Zenginleştirilecek numuneler feldspat flotasyonu prosesinin nihai atığı karakteristiğinde olmaları nedeniyle flotasyon reaktifi kalıntıları içermektedir. Bu durumun flotasyon üzerindeki etkisini araştırmak amacıyla öncelikle reaktiften arındırma işlemi yapılmasına karar verilmiştir. Reaktiften arındırılma işleminde reaktiften arındırıcı kimyasal olarak H₂SO₄ kullanılmıştır. Bu işlemde malzeme, % 10, % 5 ve % 1 olmak üzere farklı derişimlerde hazırlanan H₂SO₄ çözeltileri ile % 33 pülpte katı oranında 5 dakika süre ile devamlı olarak karıştırılarak muamele edilmiştir. Bu işlemin ardından katı sıvı ayırımı yapılmış ve malzeme bünyesinde kalan H₂SO₄ ve çözülmüş reaktif kalıntılarını temizlemek amacıyla, her kademedede üç dakika süre boyunca temiz su ile karıştırmak suretiyle, üç kademe daha yıkama yapılmıştır.

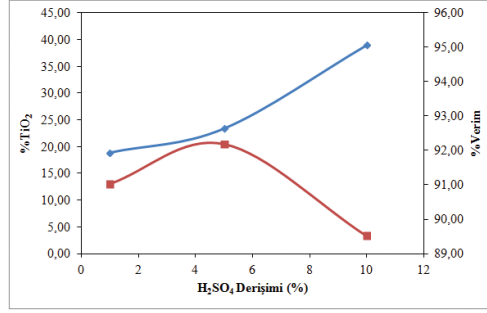
Deneylerde; -0,106 + 0,038 mm tane boyutu, % 25 pülpte katı oranı, pH = 3, 800 g/ton R845 toplayıcı, 350 g/ton çam yağı parametreleri sabit tutularak, reaktiften arındırılmış ve arındırılmamış malzemenin flotasyon davranışları ile optimum asit derişimi incelenmiştir.

Flotasyon deneylerinde konsantre bir kademedede temizlenmiş, ayrıca artığa da bir kademeli süpürme uygulanmıştır. Flotasyona giren ve flotasyondan elde edilen ürünler her defasında kimyasal analize tabi tutulmuştur. Numuneyi H₂SO₄ ile yıkama sonucunda reaktiften arındırma işleminin etkisinin grafiksel olarak gösterimi Şekil 5'de görülmektedir. Grafikte görüldüğü gibi flotasyon deneyleri öncesi numunenin H₂SO₄ ile yıkanması suretiyle reaktiften arındırılması işleminin gerek konsantrenin TiO₂ tenörü, gerekse TiO₂ kazanma verimi üzerinde pozitif etkisi olmuştur. Bu nedenle ileride yapılacak flotasyon deneylerinde reaktiflerden arındırılmış numunenin kullanılmasına karar verilmiştir.

% 1, % 5 ve % 10 derişimdeki H₂SO₄ ile reaktiften arındırma sonucunda sırasıyla % 18,90, % 23,40 ve % 39,00 TiO₂ tenörleri ve % 91,30, % 92,18 ve % 89,52 TiO₂ kazanma verimleri elde edilmiştir. Numuneyi reaktiften arındırma işleminde kullanılan H₂SO₄ derişiminin konsantre tenörü ve TiO₂ kazanma verimi üzerindeki etkisinin grafiksel olarak gösterimi Şekil 6'da görülmektedir. Grafikte numune yıkamada kullanılan H₂SO₄ derişimi ile konsantrenin TiO₂ tenörü arasında doğrusal bir ilişki olduğu görülmektedir. H₂SO₄ derişimi ile TiO₂ verimi arasında ise herhangi bir korelasyon olmadığı kanaatine varılmıştır. H₂SO₄ derişim deneyleri sonucun-



Şekil 5. Orijinal ve H₂SO₄ ile reaktiflerden arındırılmış numunelerin karşılaştırılması



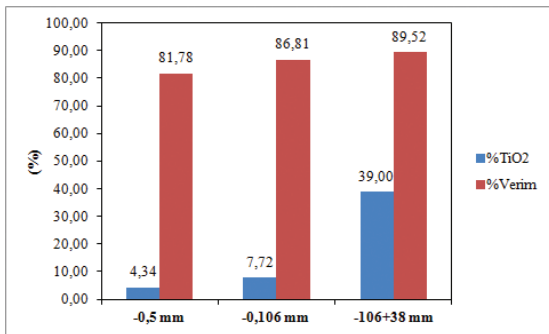
Şekil 6. H₂SO₄ derişiminin TiO₂ tenörü ve verimine etki grafiği

da; gerek asit maaliyeti, gerekse yüksek konsantrasyondaki asit kullanımındaki sakıncalar göz önünde bulundurularak % 10 derişim değeri optimum değeri olarak belirlenmiştir.

2.3.2.3. Flotasyonda Tane Boyutunun ve Şlam Varlığının Etkisinin Araştırılması

Deneylerde; % 10'luk H₂SO₄ ile yıkama, % 25 pülp te katı oranı, pH = 3,800 g/ton R845 toplayıcı, 350 g/ton çam yağı parametreleri sabit tutularak, -0,5 mm, -0,106 mm ve -0,106+0,038 mm tane boyutlarının kullanımının flotasyon üzerindeki etkileri incelenmiştir. -0,5 mm, -0,106 mm ve -0,106+0,038 mm tane boyutlarının flotasyonu ile sırasıyla % 4,34, % 7,72 ve % 39,00 TiO₂ tenörleri ve % 81,78, % 86,81 ve % 89,52 TiO₂ kazanma verimleri elde edilmiştir. Serbestleşme tane boyutunun ve şlam varlığının konsantrenin TiO₂ tenörü ve TiO₂ kazanma verimi üzerindeki etkilerinin grafiksel olarak gösterimi Şekil 7'de görülmektedir.

Grafikte görüldüğü gibi hiçbir boyutlandırma işlemine tabi tutulmamış orijinal -0,5 mm boyut grubundaki numune ile gerçekleştirilen flotasyon deneyi sonucunda tane serbestleşmesinin yeterli düzeyde olmaması ve şlam varlığının flotasyon üzerindeki olumsuz etkisi sonucunda kaydedeğer bir konsantre tenörü ve kazanma verimi elde edilememiştir. Bir diğer boyut grubu olan -0,106 mm ile yapılan deneyde tane serbestleşmesinin sağlanmış olması sonucunda, -0,5 mm boyut grubuna göre daha yüksek bir konsantre tenörü ve TiO₂ kazanma verimi elde edilmiştir. Ancak bu boyut grubunda da şlam varlığının flotasyon üzerindeki olumsuz etkileri geçerli olmuştur. Son boyut grubu olan -0,106 + 0.038 mm boyut grubunda ise tane serbestleşmesinin sağlanması ve şlam atma sonucunda şlam varlığının flotasyon üzerindeki olumsuz etkisinin minimize edilmeye çalışılması sonucunda boyut grupları arasında en iyi konsantre tenörü ve TiO₂ kazanma verimi elde edilmiştir.

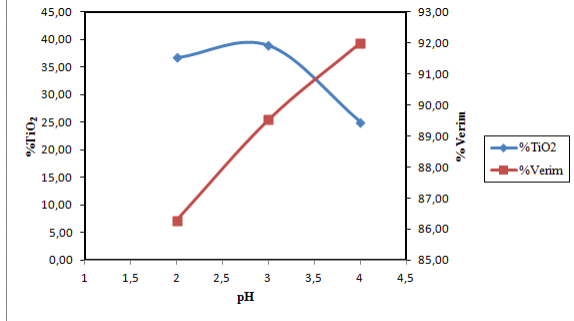


Şekil 7. Tane serbestleşme boyutu ve şlam varlığının TiO₂ tenörü ve verimine etki grafiği

2.3.2.5. pH Etkisinin Araştırıldığı Deneysel Çalışmalar

Deneylerde; % 10'luk H₂SO₄ ile yıkama, -0,106+0,038 mm tane boyutu, % 25 pülp te katı oranı, 800 g/ton R845 toplayıcı, 350 g/ton çam yağı parametreleri sabit tutularak, farklı pH şartlarının

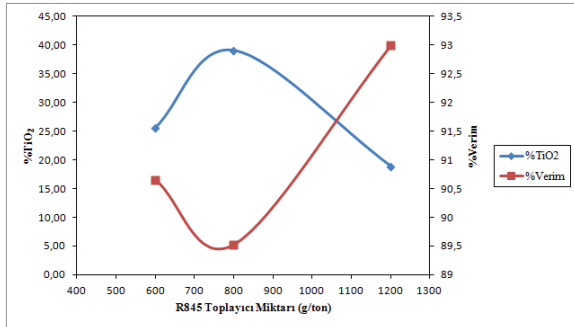
flotasyon üzerindeki etkileri incelenmiştir. pH:2, pH:3 ve pH:4 şartlarındaki flotasyon deneylerinde sırasıyla % 36,71, % 39,00 ve % 24,99 TiO₂ tenörleri ve % 86,28, % 89,52 ve % 92,00 TiO₂ kazanma verimleri elde edilmiştir. Flotasyon pH değerinin konsantrenin TiO₂ tenörü ve TiO₂ kazanma verimi üzerindeki etkilerinin grafiksel olarak gösterimi Şekil 8’de görülmektedir.



Şekil 8. pH değişiminin TiO₂ tenörü ve verimine etki grafiği

2.3.2.6. Toplayıcı Miktarının Etkisinin Araştırıldığı Deneysel Çalışmalar

Deneylerde; % 10’luk H₂SO₄ ile yıkama, -0,106+0,038 mm tane boyutu, % 25 pülp te katı oranı, pH = 3,350 g/ton çam yağı parametreleri sabit tutularak, R845 toplayıcı miktarının flotasyon üzerindeki etkileri incelenmiştir. 600 g/t, 800 g/t ve 1200 g/t toplayıcı miktarları ile gerçekleştirilen flotasyon deneylerinde sırasıyla % 25,60, % 39,00 ve % 18,90 TiO₂ tenörleri ve % 90,65, % 89,52 ve % 92,99 TiO₂ kazanma verimleri elde edilmiştir. Toplayıcı miktarının konsantrenin TiO₂ tenörü ve TiO₂ kazanma verimi üzerindeki etkilerinin grafiksel olarak gösterimi Şekil 9’de görülmektedir.



Şekil 9. R845 toplayıcı miktarının flotasyon üzerindeki etki grafiği

3. Sonuçlar ve Öneriler

Günümüzde madencilik çalışmaları sonucu üretilen cevherlerin çok az bir kısmı hiçbir cevher hazırlama işleminden geçmeden kullanılabilir nitelik taşımaktadırlar. Cevher hazırlama işlemlerinin uygulanması sonucu; zenginleştirilmesi istenen cevherin yanında, elde edilen ürüne oranla azımsanmayacak miktarlarda atık veya artık olarak nitelendirilen ve mevcut teknolojik imkanlarla ekonomik olarak kazanılması zor yan ürünler de ortaya çıkmaktadır. Yıllık üretimde milyonlarca tona kadar ortaya çıkabilen bu atıklarla ilgili çevresel ve kanuni zorunlulukların yerine getirilmesi noktasında, bu atıkların depolanmaları ve bertarafı oldukça problemli olabilmektedir. Atıklar ayrıca içerdikleri atıl durumdaki mineraller açısından da büyük öneme sahiptirler.

Gerek üretim gerekse ithalat açısından Türkiye’de önemli bir konumda olan feldspat madenci-

liğinde, düşük TiO_2 , Fe_2O_3 ve diğer safsızlıkları içeren rezervler yıldan yıla artan üretim sonucunda giderek azalmaktadır. Buna bağlı olarak da yüksek oranda safsızlıklar içeren feldspat rezervlerinin üretilmesi ve zenginleştirilerek piyasalara sunulmaları bir zorunluluk halini almıştır.

Bu çalışmanın konusunu özel bir feldspat zenginleştirme tesisine ait flotasyon atığı numunelerin yeniden değerlendirilebilirliği oluşturmaktadır. Deneylere esas olan numuneler Muğla'da özel bir firmaya ait olan albit zenginleştirme tesisinden temin edilmiştir. Atık numuneleri üzerinde yapılan analizler sonucunda numunenin % 59,20 SiO_2 , % 19,92 Al_2O_3 , % 1,56 Fe_2O_3 , % 7,52 Na_2O , % 2,02 K_2O , % 1,90 TiO_2 içeriğine sahip olduğu saptanmıştır. Numunede ayrıca nadir toprak elementlerinin varlığı da belirlenmiştir. Özellikle itriyum, lantan, seryum ve neodimyum elementlerinin içeriklerinin; bu elementlerin yer kabuğundaki ortalama konsantrasyonlarından 10 kata kadar daha yüksek olduğu görülmüştür. Atık numuneleri üzerinde yapılan mineralojik çalışmalarda deneylere esas numunenin albit, mikroklin, kuvars, muskovit, rutil, apatit, zirkon, manyetit, limonit ve turmalin minerallerinden oluştuğu belirlenmiştir. Yapılan kimyasal ve mineralojik incelemeler sonucunda titanyum içeren safsızlıkların -0,106 boyut grubunda en fazla serbestleşmeye uğradığı kanaatine varılarak serbestleşme boyutunun ise -0,1 mm olduğu belirlenmiştir.

Flotasyonla zenginleştirme işlemleri açısından TiO_2 'nin elektrokinetik özelliklerini belirlemek ve TiO_2 'nin pH'a bağlı zeta potansiyel profilini elde etmek amacıyla zeta potansiyeli ölçüm deneyleri yapılmıştır. Deney sonucu elde edilen ölçümler sonucunda TiO_2 'nin sıfır yük noktası (zero point of charge) yaklaşık 5,9 olarak hesaplanmıştır.

Flotasyon deneylerinde toplayıcı olarak kullanılacak reaktiflerin belirlenmesi amacıyla yapılan deneylerde R801, R825, R845 ve hydroxamate toplayıcı türleri denenmiştir. Reaktif cinsinin belirlenmesi için seçilen bu reaktiflerin hepsi feldspatik minerallerdeki rutil gibi ağır mineralleri yüzdürebilecek nitelikteki reaktiflerdir. Deneyler sonucunda en iyi sonuç alkyl succinate tipi bir toplayıcı olan R845 ile elde edilmiştir. R845 reaktifi oksihidril grubunda yer alan sulfo-succinate tipinde bir toplayıcıdır ve bu toplayıcılar rutil flotasyonunda son derece etkili oldukları bilinmektedir. Toplayıcı cinsleri arasından en iyi sonucun alındığı R845 ile devam edilen flotasyon deneylerinde tane boyutunun, şlam varlığının, toplayıcı miktarının ve pH'ın flotasyon üzerindeki etkileri incelenmiştir. En iyi sonuçlar -0,106+0,038 mm boyut grubunda 800 g/ton toplayıcı miktarı ve pH 3 ile elde edilmiştir. Optimum koşullarda yapılan flotasyon deneyinde mikatrcı % 6,01 oranında ve % 39 TiO_2 içerikli konsantre % 89,52 metal kazanma verimi ile kazanılmıştır.

Bu atıkların içerisindeki atıl durumda bulunan diğer mineral ve elementlerin potansiyel bir kaynak olarak değerlendirilmeleri; gerek ekonomiye bir katkı gerekse atık üretim miktarının azaltılarak çevre dostu madencilik anlayışının yerleştirilmesinde önemli bir etken olacaktır.

Kaynaklar

- Bayat, O., Arslan, V., Cebeci, Y., 2006. Combined application of different collectors in the flotation concentration of Turkish feldspars. *Minerals Engineering*, 19, 98-101.
- Bayraktar, I, Ersayın, S., Gulsoy, O. Y., 1997. Upgrading titanium bearing Na-feldspar by flotation using sulphonates, succinate and soaps of vegetable oils. *Minerals Engineering*, 1(12), 1363-1374.
- British Geological Survey, 2009, World Mineral Production 2003-07, ISBN: 978-0-85272-639-6
- D.P.T., 2001, Madencilik ÖİK Raporu Endüstriyel Hammaddeler Alt Komisyonu Toprak Sana-

- yii Hammaddeleri (Seramik Killeri-Kaolen-Feldspat-Pirofillit-Wollastonit-Talk) Çalışma Grubu Raporu, Ankara, ISBN: 75-19-2837-0
- Erdoğan, E., 1999. Feldspat ve Madencilğin Altyapı Problemleri, 3.Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, 14-15 Ekim 1999, İzmir, (s. 6-9)
- Hacıfazlıoğlu, H., Kursun, I., Terzi, M., 2012, Beneficiation of low-grade feldspar ore using cyclojet flotation cell, conventional cell and magnetic separator, Physicochemical Problems of Mineral Processing, 48, 2, (s.381-392)
- Kursun I., 2010, Determination of Flocculation, Adsorption-Desorption Characteristics of Na-Feldspat Concentrate with Different Polymers, Physicochemical Problems of Mineral Processing, 44, (s.126-141)
- Kursun I., Ipekoglu B., 1997, Concentration of Potassium Feldspars From Granite and Syenite Rocks, 5th Southern Hemisphere Meeting on Mineral Technology, 6-9 May 1997, Argentina, (s.61-64)
- Kursun I., Ipekoglu B., 1997, Removing The Fine Quartz Particals From the K-Feldspar Concentrate by Flotation, 7th Balkan Conference on Mineral Processing, Volume II, 26-30 May 1997, Romania, (s.92-95)
- Kursun I., Ipekoglu B., 2000, Recovery of Potassium Feldspars From Granite and Syenite Rocks in Turkey, The Arabian Journal For Science and Engineering, 25, 2B, (s.205-211)
- 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 21st Century, 15-20 June 2003, Varna, Bulgaria , (s.137-140)
- Kursun I., Ozkan S.g., Cıncı K., Eskıbalcı M.f., 2004, Application of Novel Flotation Process for Removal of Feldspathic Minerals From Quartz Sands, Asian Journal of Chemistry, 16, 2, (s.937-941)
- T.M.M.O.B., 2007, Stratejik Araştırmalar Merkezi Çalışmaları Feldspat Raporu
- U.s. Geological Survey, 2009, Mineral Commodity Summaries: Feldspar