

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**FELDSPAT FLOTASYONUNDA KULLANILAN TOPLAYICI
REAKTİFLERİN SİNERJİK ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Enes KALYONCU

Cevher Hazırlama Mühendisliği Anabilim Dalı

Cevher Hazırlama Mühendisliği Programı

TEMMUZ, 2020

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**FELDSPAT FLOTASYONUNDA KULLANILAN TOPLAYICI
REAKTİFLERİN SİNERJİK ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Enes KALYONCU
(505181103)**

Cevher Hazırlama Mühendisliği Anabilim Dalı

Cevher Hazırlama Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Fırat BURAT

TEMMUZ, 2020

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 505181103 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Enes KALYONCU, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “FELDSPAT FLOTASYONUNDA KULLANILAN TOPLAYICI REAKTİFLERİN SİNERJİK ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Doç. Dr. Fırat BURAT**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Ayhan Ali SİRKECİ**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Kenan ÇİNKU
İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa

Teslim Tarihi : **9 Temmuz 2020**
Savunma Tarihi : **24 Temmuz 2020**





Aileme,



ÖNSÖZ

Yüksek lisans tez çalışmamın yönetimini kabul edip, bilgi ve tecrübesini her zaman paylaşarak çalışmalarına yön veren danışmanım **Doç. Dr. Fırat BURAT**'a çok teşekkür ederim.

Bu çalışmayı yapmama olanak sağlayan Cevher Hazırlama Mühendisliği Bölüm Başkanı **Prof. Dr. Gülay BULUT**'a teşekkürlerimi sunarım. Çalışmalarım sırasında bilgi birikimini ve yardımlarını esirgemeyen tüm Cevher Hazırlama Mühendisliği Bölüm öğretim elemanlarına teşekkür ederim. Numunenin temin edilmesinde ve analizlerinin yapılmasında desteklerini esirgemeyen **ESAN A.Ş.**'ye ve **Dr. Hüseyin BAŞTÜRKCÜ**'ye teşekkür ederim.

Tüm eğitim öğrenim hayatım boyunca maddi ve manevi desteklerini eksiltmeyen ve her zaman destek olan aileme şükranlarımı borç bilirim.

İTÜ BAP proje ofisine Proje No: MYL-2019-42457 numaralı projeyi destekledikleri için teşekkür ederim.

Temmuz 2020

Enes KALYONCU
(Makine Mühendisi)



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xiii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xv
ÖZET	xvii
SUMMARY	xix
1. GİRİŞ	1
2. FELDSPAT	3
2.1 Feldspatların Sınıflandırılması	4
2.1.1 Alkali feldspatlar	5
2.1.2 Plajiyoklaz feldspatlar	6
2.1.3 Feldspatların fiziksel özellikleri.....	7
2.1.4 Feldspatların kimyasal özellikleri	7
2.2 Feldspat Mineralinin Doğada Bulunması.....	8
2.2.1 Pegmatitler	8
2.2.2 Aplitler	8
2.2.3 Nefelinli siyenit.....	8
2.2.4 Feldspat filonları	9
2.2.5 Alaskit	9
2.2.6 Pertit	9
2.2.7 Feldspatik kumlar.....	9
2.2.8 Grafik granitler.....	9
2.2.9 Altere granitler	9
2.3 Feldspatın Kullanım Alanları	10
2.3.1 Cam sanayisi	10
2.3.2 Seramikler	11
2.3.3 Emaye ve sır üretimi	11
2.3.4 Kaynak elektrotları üretimi	12
2.3.5 Boya sanayi	12
2.3.6 Plastik.....	13
2.4 Dünya’da Feldspat.....	13
2.5 Türkiye’de Feldspat.....	14
2.6 Feldspat Ekonomisi	16
2.7 Feldspat İhracat ve İthalat Rakamları.....	16
2.8 Feldspat Zenginleştirme Yöntemleri	18
2.8.1 Manyetik ayırma ile zenginleştirme.....	18
2.8.2 Elestatik ayırma ile zenginleştirme	18
2.8.3 Flotasyon ile zenginleştirme	19
2.8.4 Flotasyon yöntemi ile feldspat kazanımı	20

3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	23
3.1 Deneylere Esas Olan Numunenin Alınması ve Özellikleri	23
3.1.1 Fiziksel özellikler	24
3.1.2 Kimyasal özellikler	25
3.2 Flotasyon Deneyleri.....	26
3.2.1 Katyonik reaktiflerle yapılan tek kademeli flotasyon deneyleri	28
3.2.1.1 OCD-9200-14 reaktifi ile yapılan flotasyon deneyleri.....	28
3.2.1.2 A4 reaktifi ile yapılan flotasyon deneyleri	29
3.2.2 Anyonik reaktiflerle yapılan tek kademeli flotasyon deneyleri	32
3.2.2.1 M32 reaktifi ile yapılan flotasyon deneyleri	32
3.2.2.2 M28 reaktifi ile yapılan flotasyon deneyleri	34
3.2.2.3 Derna-7 reaktifi ile yapılan flotasyon deneyleri.....	35
3.2.2.4 2404 reaktifi ile yapılan flotasyon deneyleri.....	37
3.2.2.5 2408 reaktifi ile yapılan flotasyon deneyleri.....	39
3.2.2.6 2410 reaktifi ile yapılan flotasyon deneyleri.....	40
3.2.3 Katyonik ve anyonik reaktiflerin ilave edilme sırasının incelendiği çift kademeli flotasyon deneyleri	43
3.2.3.1 Derna-7 ve A4 reaktifi ile yapılan flotasyon deneyleri	44
3.2.3.2 2404 ve 2408 reaktifi ile yapılan flotasyon deneyleri	45
3.2.4 Sinerjik etkinin incelendiği flotasyon deneyleri.....	47
3.2.4.1 Derna-7 ve A4 reaktifi ile yapılan flotasyon deneyleri	47
3.2.4.2 2404 ve 2408 reaktifi ile yapılan flotasyon deneyleri	50
4. SONUÇ VE ÖNERİLER	55
KAYNAKLAR	59
ÖZGEÇMİŞ	63

KISALTMALAR

dev/dk	: devir/dakika
g/t	: gram/ton
NMIC	: National Minerals Information Center
İMİB	: İstanbul Maden İhracatları Birliği
MTA	: Maden Tetkik Arama
MTAGM	: Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü
XRD	: X-Işım Difraksiyonu
XRF	: X-Işım Floresansı



ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1: Alkali feldspat minerallerinin kimyasal formülü.	5
Çizelge 2.2: Plajiyoklasların oluşturduğu izomorf seri.	6
Çizelge 2.3: Bazı feldspatların kimyasal içeriği.	7
Çizelge 2.4: Feldspat ergime aralıkları.	7
Çizelge 2.5: Dünya feldspat rezervleri.	13
Çizelge 2.6: Son 10 yıllık Türkiye'deki feldspat üretim ve satış miktarları.	16
Çizelge 2.7: 2010-2018 yılları arasında feldspat dış ticareti.	17
Çizelge 2.8: 2019 yılı Türkiye geneli aylık bazda feldspat ihracat verileri.	17
Çizelge 3.1: Tüvenan numunenin elek analizi.	24
Çizelge 3.2: Tüvenan cevherin kimyasal analiz değerleri.	25
Çizelge 3.3: OCD-9200-14 reaktifinin kullanıldığı flotasyon deneylerinin şartları. .	28
Çizelge 3.4: OCD-9200-14 reaktifi kullanılarak yapılan flotasyon deneylerinin sonuçları.	28
Çizelge 3.5: A4 reaktifinin kullanıldığı flotasyon deneylerinin şartları.	30
Çizelge 3.6: A4 reaktifi kullanılarak yapılan flotasyon deneylerinin sonuçları.	30
Çizelge 3.7: M32 reaktifinin kullanıldığı flotasyon deneylerinin şartları.	32
Çizelge 3.8: M32 reaktifi kullanılarak yapılan flotasyon deneylerinin sonuçları.	33
Çizelge 3.9: M28 reaktifinin kullanıldığı flotasyon deneylerinin şartları.	34
Çizelge 3.10: M28 reaktifi kullanılarak yapılan flotasyon deneylerinin sonuçları. ..	34
Çizelge 3.11: Derna-7 reaktifinin kullanıldığı flotasyon deneylerinin şartları.	36
Çizelge 3.12: Derna-7 reaktifi kullanılarak yapılan flotasyon deneylerinin sonuçları.	36
Çizelge 3.13: 2404 reaktifinin kullanıldığı flotasyon deneylerinin şartları.	37
Çizelge 3.14: 2404 reaktifi kullanılarak yapılan flotasyon deneylerinin sonuçları. ..	38
Çizelge 3.15: 2408 reaktifinin kullanıldığı flotasyon deneylerinin şartları.	39
Çizelge 3.16: 2408 reaktifi kullanılarak yapılan flotasyon deneylerinin sonuçları. ..	39
Çizelge 3.17: 2410 reaktifinin kullanıldığı flotasyon deneylerinin şartları.	41
Çizelge 3.18: 2410 reaktifi kullanılarak yapılan flotasyon deneylerinin sonuçları. ..	41
Çizelge 3.19: Derna-7 ve A4 reaktiflerinin kullanıldığı flotasyon deneylerinin şartları.	44
Çizelge 3.20: Derna-7 ve A4 reaktifi kullanılarak yapılan çift kademeli flotasyon deneylerinin sonuçları.	44
Çizelge 3.21: 2404 ve 2408 reaktiflerinin kullanıldığı flotasyon deneylerinin şartları.	46
Çizelge 3.22: 2404 ve 2408 reaktifleri kullanılarak yapılan flotasyon deneylerinin sonuçları.	46
Çizelge 3.23: Derna-7 ve A4 reaktifinin kullanıldığı flotasyon deneylerinin şartları.	48
Çizelge 3.24: Derna-7 ve A4 reaktifinin kullanıldığı flotasyon deneylerinin sonuçları.	48
Çizelge 3.25: 2404 ve 2408 reaktifinin kullanıldığı flotasyon deneylerinin şartları.	50

Çizelge 3.26: 2404 ve 2408 reaktifinin kullanıldığı flotasyon deneylerinin sonuçları..... **51**



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1: Feldspat mineralinin faz diyagramı.	4
Şekil 2.2: Farklı sıcaklıklardaki katı çözelti grafiği.	6
Şekil 2.3: Son 5 yıllık feldspat üretim hacmi değişimi.	14
Şekil 2.4: Türkiye feldspat rezerv haritası.	15
Şekil 2.5: Feldspat flotasyonu genel akım şeması.	19
Şekil 3.1: Deneysel çalışmalara esas olan numunenin temin edildiği tesis.	24
Şekil 3.2: Tüvenan numunenin toplam elek altı grafiği.	25
Şekil 3.3: Tüvenan numuneye ait XRD analizinin grafiği.	26
Şekil 3.4: Feldspat flotasyonu akım şeması.	27
Şekil 3.5: Deneysel çalışmaların yapıldığı Denver tipi flotasyon makinası.	27
Şekil 3.6: OCD-9200-14 reaktifi ilavesi ile yapılan flotasyon deneylerinde elde edilen konsantrenin Fe_2O_3 ve TiO_2 değerlerinin değişimi.	29
Şekil 3.7: A4 reaktifi ilavesi ile yapılan flotasyon deneylerinde elde edilen konsantrenin Fe_2O_3 ve TiO_2 değerlerinin değişimi.	30
Şekil 3.8: OCD-9200-14 ve A4 reaktifi ilavesi ile yapılan flotasyon deneylerinde elde edilen konsantrelerin Fe_2O_3 ve TiO_2 değerlerinin değişimi.	31
Şekil 3.9: M32 reaktifi ilavesi ile yapılan flotasyon deneylerinde elde edilen konsantrenin Fe_2O_3 ve TiO_2 değerlerinin değişimi.	33
Şekil 3.10: M28 reaktifi ilavesi ile yapılan flotasyon deneylerinde elde edilen konsantrenin Fe_2O_3 ve TiO_2 değerlerinin değişimi.	35
Şekil 3.11: Derna-7 reaktifi ilavesi ile yapılan flotasyon deneylerinde elde edilen konsantrenin Fe_2O_3 ve TiO_2 değerlerinin değişimi.	37
Şekil 3.12: 2404 reaktifi ilavesi ile yapılan flotasyon deneylerinde elde edilen konsantrenin Fe_2O_3 ve TiO_2 değerlerinin değişimi.	38
Şekil 3.13: 2408 reaktifi ilavesi ile yapılan flotasyon deneylerinde elde edilen konsantrenin Fe_2O_3 ve TiO_2 değerlerinin değişimi.	40
Şekil 3.14: 2410 reaktifi ilavesi ile yapılan flotasyon deneylerinde elde edilen konsantrenin Fe_2O_3 ve TiO_2 değerlerinin değişimi.	42
Şekil 3.15: 500 g/t anyonik reaktifi ilavesi ile yapılan flotasyon deneylerinde elde edilen konsantrenin Fe_2O_3 ve TiO_2 değerlerinin değişimi.	42
Şekil 3.16: 1000 g/t anyonik reaktifi ilavesi ile yapılan flotasyon deneylerinde elde edilen konsantrenin Fe_2O_3 ve TiO_2 değerlerinin değişimi.	43
Şekil 3.17: 1500 g/t anyonik reaktifi ilavesi ile yapılan flotasyon deneylerinde elde edilen konsantrenin Fe_2O_3 ve TiO_2 değerlerinin değişimi.	43
Şekil 3.18: Derna-7 ve A4 reaktifi ilavesi ile yapılan çift kademeli flotasyon deneylerinde elde edilen konsantrenin Fe_2O_3 ve TiO_2 değerlerinin değişimi.	45
Şekil 3.19: 2404 ve 2408 reaktifi ilavesi ile yapılan flotasyon deneylerinde elde edilen konsantrenin Fe_2O_3 ve TiO_2 değerlerinin değişimi.	47

Şekil 3.20: Derna-7 ve A4 reaktifleri ilavesi ile yapılan flotasyon deneylerinde elde edilen konsantrenin Fe ₂ O ₃ ve TiO ₂ değerlerinin değişimi.	49
Şekil 3.21: Derna-7 ve A4 reaktifi ilavesi ile yapılan flotasyon deneylerinde elde edilen konsantrenin Fe ₂ O ₃ ve TiO ₂ değerlerinin değişimi.	49
Şekil 3.22: 2404 ve 2408 reaktiflerinin eşit oranda ilavesi ile yapılan flotasyon deneylerinde elde edilen konsantrenin Fe ₂ O ₃ ve TiO ₂ değerlerinin değişimi.	51
Şekil 3.23: 2404 ve 2408 reaktifi ilavesi ile yapılan flotasyon deneylerinde elde edilen konsantrenin Fe ₂ O ₃ ve TiO ₂ değerlerinin değişim.	52
Şekil 3.24: Sinerjik etkinin araştırıldığı flotasyon deneyleri sonucunda elde edilen feldspat konsantresinin XRD analiz grafiği.	53



FELDSPAT FLOTASYONUNDA KULLANILAN TOPLAYICI REAKTİFLERİN SİNERJİK ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI

ÖZET

Küresel çapta ülkemiz feldspat üretiminde ilk sıralarda yer almaktadır. Feldspat mineralleri endüstriyel hammadde olarak başta seramik sanayisi ve cam üretimi olmak üzere Türkiye'nin maden ihracatında önemli bir role sahiptir. Feldspat cevherinin yapısındaki demir oksit, biyotit, rutil ve muskovit gibi safsızlıklar feldspatın ticari olarak maliyetini etkileyen parametrelerden biridir ve cevher zenginleştirmede Fe_2O_3 ve TiO_2 esaslı renkli safsızlıkların ayrılması pazarlama açısından büyük bir önem teşkil etmektedir. Feldspatların zenginleştirilmesinde en sıklıkla kullanılan zenginleştirme yöntemi flotasyondur. Feldspat üreticileri, mika ve demir-titanyum oksit minerallerinden kaynaklı teknolojik ve ekonomik sorunlar nedeniyle iki ve daha çok kademeli flotasyon sistemlerini tercih etmektedirler. Çok kademeli zenginleştirme sistemlerinde bu safsızlıkların feldspattan uzaklaştırılması için çok fazla sayıda reaktif kullanılmaktadır. Flotasyon işlemlerinde pH, reaktif tipi ve reaktif miktarı en önemli parametrelerin başında gelmektedir. Endüstriyel uygulamalarda iki kademede kullanılan anyonik ve katyonik reaktiflerinin belli oranlarda karıştırılması ile flotasyon kademe sayısının teke düşürülmesi oldukça önemli bir husustur. Böylelikle, çoklu kademede ortaya çıkan verim kaybının azaltılması, işletme ve yatırım maliyetlerinin düşürülmesi, asidik ortamın ekipmanlara ve çevreye vereceği zararın azaltılması ve sonuç olarak elde edilen ürünün kalitesinin yükseltilmesi sağlanabilecektir.

Bu çalışmada, Muğla-Milas bölgesi yüksek sodyum içerikli feldspat cevherinin (albit) yapısında bulunan mika ve oksitli minerallerin, ticari amaçlı kullanılan ve farklı özelliklere sahip reaktifler yardımıyla uzaklaştırılması amaçlanmış, reaktiflerin farklı eklenme sırası ve karışım halinde ilave edilmesi ile ortaya çıkan farklılıklar içerik ve dağılım açısından incelenmiştir. Bu amaca uygun olarak cevher hazırlama endüstrisinde en çok kullanılan yöntemlerden biri olan flotasyon tercih edilmiştir. ESAN A.Ş.'den temin edilen ve 300 mikron altına öğütülmüş tüvenan feldspat cevherinin zenginleştirilmesinde anyonik (Altapyne M32, Altapyne M28, Armazz 2024, Armazz 2024G, Armazz 2024E, Derna-7) ve katyonik (OCD14 ve A4) tip reaktifler tercih edilmiştir. Flotasyon deneylerinde reaktif türü, reaktif miktarı ve ortam pH'nın etkisi geniş olarak araştırılmış, öncelikle toplayıcı reaktifler tek başına kullanılmış, daha sonra elde edilen en uygun sonuçlara göre farklı reaktif kombinasyonlarının etkisi araştırılmıştır. Tek kademe yapılan deneyler sonucunda, en düşük Fe_2O_3 içeriğine (%0,02) 1500 g/t miktarında kullanılan 2408 reaktifi ile ulaşılmıştır. İlk kademede 2408, ikinci kademede ise 2404 kullanılarak yapılan iki kademeli flotasyon deneylerinde en düşük TiO_2 içerikli (%0,03) feldspat konsantresi üretilmiştir. Reaktiflerin bir arada karışımlar olarak kullanıldığı ve sinerjik etkilerinin incelendiği flotasyon deneylerinde en düşük Fe_2O_3 ve TiO_2 içeriklerine pH 9'da 2404 ve 2408 reaktiflerinin kullanıldığı durumda ulaşılmıştır. En yüksek Na_2O verimi olan %99,3'e ise Derna-7 reaktifinin %80, A4 reaktifinin %20 oranında ilave edilmesi ile ulaşılmıştır.



INVESTIGATION OF SYNERGISTIC EFFECTS OF COLLECTIVE REAGENTS USED IN FELDSPAR FLOTATION

SUMMARY

Globally, our country ranks first in feldspar production. Feldspar minerals have an important role in Turkey's mineral exports, including the production of glass and ceramics industry mainly as an industrial raw material. Impurities such as iron oxide, biotite, rutile, and muscovite in the structure of feldspar ore are one of the parameters that affect the commercial cost of feldspar and separation of Fe₂O₃ and TiO₂ based colored impurities in ore enrichment is of great importance for marketing. The most frequently used method in the enrichment of feldspars is flotation. Feldspar manufacturers prefer two or more stage flotation systems due to technological and economic problems arising from mica and iron-titanium oxide minerals. In multi-stage enrichment systems, a large number of reagents are used to remove these impurities from feldspar. pH, reagent type, and reagent amount are the most important parameters in flotation processes. It is very important to reduce the number of flotation stages to one by mixing the anionic and cationic reagents used in two stages in industrial applications in certain proportions. In this way, it can be ensured to reduce the loss of efficiency that occurs in multiple levels, to decrease the operating and investment costs, to reduce the damage caused by the acidic environment to the equipment and the environment, and to improve the quality of the resulting product.

In this study, it was aimed to remove mica minerals and color impurities from high sodium containing feldspar ore (albite) obtained from Muğla-Milas region. Using various reagents with different portions the differences between single and two-staged flotation were investigated and the synergetic effect of the selected reagents was studied. For this purpose, flotation which is one of the most used methods in the mineral processing industry was preferred. Anionic (Altapyne M32, Altapyne M28, Armazz 2024, Armazz 2024G, Armazz 2024E, Derna-7) and cationic reagents (OCD14 and A4) obtained from different suppliers were subjected to feldspar ore that was previously ground below 300 microns by ESAN Company. The effect of reagent type, reagent amount, and pH of the medium was investigated extensively. Firstly, the collectors were used alone in single stage flotation, and then the effects of different reagent combinations and the order of stages were investigated by selecting the previously selected reagents. As a result of single stage experiments, the lowest Fe₂O₃ content (0.02%) was achieved with 2408 reagent by adding 1500 g/t. In two-stage flotation experiments, using 2408 in the first stage and 2404 in the second stage, feldspar concentrate with the lowest TiO₂ content (0.03%) was produced. The synergetic effects of the reagents were investigated and the lowest Fe₂O₃ and TiO₂ contents were found when 2404 and 2408 reagents were combined at pH 9. The highest Na₂O recovery (99.3%) was achieved by adding 80% w.t. of Derna-7 and 20% w.t. of A4 reagent proportionally.



1. GİRİŞ

Dünyamızı oluşturan katmanlar arasındaki magma tabakasında farklı şekillerde bulunarak, soğuyup kristalleşmesiyle feldspat bölgeleri ve yatakları oluşmuştur (TMMOB Maden Mühendisleri Odası, 2010). Yer kabuğunun %50'sinden fazlasını oluşturan feldspatlar bir silikat mineral grubudur. Doğal seleksiyon sonucu oluşan birbiri içerisine geçmiş sert ve farklı madde hallerinde bulunan kütlelere de kayaç denir. Bir kayaç içerisinde sadece tek tip kayaç varsa monomineralik (tek mineralli) kayaç, birden fazla minerallerden oluşuyorsa polimineralik (çok mineralli) kayaç denir. Monomineralik kayaçlara örnek olarak saf mermer, polimineralik kayaçlar ise kuvars, mika, feldspat gibi mineraller bulunur (Tatar, 2010). Feldspat minerallerinin endüstride birçok kullanımı bulunmaktadır. Ülkemizde birkaç farklı bölgede feldspat zenginleştirme tesisleri bulunmaktadır. Farklı bölge sebebiyle farklı mineral yoğunluğuna sahiptirler. Feldspat minerali rezervinin çok olması ve satış fiyatının uygunluğu sebebiyle çeşitli kullanım alanına sahiptir. Ayrıca feldspat ticareti Türkiye’de maden ihracatında önemli bir role sahiptir.

Cevher hazırlamadaki esas amaç çıkartılan cevherin kimsayal yapısını bozmadan endüstride kullanıma en uygun hale getirip, satılabilir özellikte konsantre üretmek ve çevresel zararları en aza indirgenip, istenilen hammaddeyi elde etmektir (Can ve Çelik, 2009). Feldspat sektöründe en çok tercih edilen yöntem flotasyondur. Flotasyon metodunda cevherin suyu sevme (hydrophilic) veya suyu sevmeme (hydrophobic) özelliğinden faydalanılarak yapılır ve çok ince boyutlu mineraller seçimli olarak zenginleştirebilmektedir (Atak ve Tolun, 1994). Tüm bu işlemlerde minerallerin hidrofobik özellik kazanması ve/veya artırılması amacıyla doğal veya yapay kimyasal maddeler kullanılmaktadır. Kullanım amaçlarına göre sınıflandırabileceğimiz birçok reaktif türü mevcuttur. Bunlardan bazıları kollektörler, bastırıcılar, canlandırıcılar, pH düzenleyiciler, köpürtücülerdir (Ethem, 1974). Feldspat zenginleştirilmesindeki esas amaç, renk verici minerallerin ve mikanın uzaklaştırılmasıdır. Bu amaçla çeşitli anyonik ve katyonik reaktifler kullanılmaktadır. Birçok endüstriyel tesiste, feldspatın kuvarsdan ayrılması, asidik pH koşullarında katyonik reaktifler (aminler) kullanılarak

yapılmaktadır. Genel olarak, ortamın pH'ı sülfürik asit (H_2SO_4) ile düşürülür. Feldspat içerisindeki serbest kuvars hammaddenin kalitesini düşürmektedir (Burat, 2017). Geleneksel olarak hidroflorik asit (HF) feldspat için canlandırıcı kuvars için ise bastırıcı olarak kullanılmaktadır. HF feldspat ve kuvarsın ayrılmasında pH ayarlayıcı olarak değil, bir florür kaynağı olarak önemli bir role sahiptir. Seyreltik çözeltilerdeki asit iyonlaşma sabitine göre HF'nin pH değerleri üzerindeki etkisi diğer asitlere kıyasla ihmal edilebilir bir düzeydedir (Kangal ve diğ, 2017).

Bu çalışmada, Muğla-Milas Bölgesi'nde faaliyet gösteren Eczacıbaşı ESAN'dan tedarik edilen feldspat minerali üzerinde zenginleştirme çalışmaları yapılmıştır. Bu bölgedeki feldspat rezervlerinde yüksek oranda bulunan Fe_2O_3 ve TiO_2 içerikleri doğrudan satışı olumsuz etkilemektedir. Bu nedenle bünyesinde bulunan titan-demir oksit ve mika gibi safsızlıkların reaktif ilavesi ile uygun pH koşullarında yüzdürülerek uzaklaştırılması gereklidir. Fe_2O_3 ve TiO_2 içerikleri düşük, yüksek kaliteli, satılabilir bir feldspat konsantresi elde etmek için çok kademeli sistemde yapılan flotasyon yöntemi yerine reaktiflerin belli oranlarda birleştirilerek kademe sayısının teke indirildiği bir sistem uygulanmıştır.

2. FELDSPAT

Yeryüzünün yaklaşık %60-65'ini oluşturan feldspatlar, sahip oldukları kalsiyum (Ca), sodyum (Na) ve potasyum (K) elementlerine göre adlandırılan susuz alüminyumlu silikat mineralleridir. SiO_4 köşeli iskeletlerdeki dört oksijenin paylaşılması ile oluşmuş, üç boyutlu kafes yapısı gösteren silikatlardır. İçerdikleri elementlere göre yaygın olarak anortit ($\text{CaAlSi}_3\text{O}_8$), albit ($\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$) ve ortoklaz/mikroklin (KAlSi_3O_8) olarak isimlendirilirler (Kalyon ve Gülsoy, 2005).

Feldspat günlük hayatımızın bir parçasıdır. Günlük olarak kullandığımız ürünlerin çoğu feldspat ile yapılır ve diş protezlerinde kaplamalar, yalıtım için cam elyaflar, banyolarımızdaki yer karoları, çok çeşitli cam vb. ürünleri üretmek için kullanılırlar. Tüketim arttıkça en yaygın kullanım alanlarından olan seramik ve cam endüstrileri için hammadde olarak feldspat talebi de sürekli artmaktadır (Gaied ve Gallala, 2015). Ayrıca boya, plastik, kauçuk dolgu maddeleri ve kaynak elektrodu olarak da yaygın olarak kullanılmaktadır.

Feldspat mineralleri magmatik, metamorfik ve tortul kayalarda temel bileşenlerdir. Bazı kayaların sınıflandırılması feldspat içeriğine dayanır. Kimyasal olarak feldspatlar, sodyum, potasyum, demir, kalsiyum veya baryum veya bu elementlerin kombinasyonlarını içeren alüminyum silikatlarıdır. Feldspat sahip olduğu minerolojik yapısında demir ve titanyum mineralleri bulunur. Bu minerallerin renklendirme özellikleri bulunduğu için istenmeyen safsızlıklar olarak karşımıza çıkar. Sfen ve rutil mineralleri titanyum için başlıca safsızlık mineralleri iken demir oksit mineralleri için biyotit, hematit, hornblend, muskovit ve turmalindir (Hacıfazlıoğlu ve diğ., 2012). Eğer bu mineraller spesifikasyon miktarından daha yüksek olursa yaygın kullanım alanlarındaki ürünlerin hem kalitesini düşürürler hem de renk değişimine sebep olurlar (Kurşun ve Ipekoğlu, 2000).

Ülkemiz için ekonomik olarak değeri olan feldspat yatakları Aydın ve Muğla bölgelerindeki yataklardır. Bu bölgedeki rezervlerin önemi, rezervin sadece kaliteli olması değil aynı zamanda bölgenin lojistik avantajı (kara ve deniz taşımacılığı için) ve tüketim bölgelerine yakın olmasıdır (Terzi ve Kurşun, 2013).

Feldspat grubundaki mineraller X (Al, Si) $_4O_8$ genel kimyasal bileşime uygundur. Bu genelleştirilmiş kompozisyonda X, aşağıdaki yedi iyondan herhangi biri olabilir: K⁺, Na⁺, Ca⁺⁺, Ba⁺⁺, Rb⁺, Sr⁺⁺ ve Fe⁺⁺. Potasyum, sodyum ve kalsiyum iyonlarını içeren feldspatlar çok yaygındır. Baryum, rubidyum, stronsiyum ve demir feldspatlar çok nadirdir.

2.1.1 Alkali feldspatlar

Alkali feldspatlar saf albit ve potasyum (KAlSi₃O₈) arasında çözeltilerdir. Bunlar arasında albit (NaAlSi₃O₈), anortoklaz ((Na, K)AlSi₃O₈), sanidin ((K, Na)AlSi₃O₈), ortoklaz (KAlSi₃O₈) ve mikroklin (KAlSi₃O₈) bulunur. Albit ve sanidin, NaAlSi₃O₈ ve KAlSi₃O₈ arasında katı bir çözelti serisi oluşturur. (Na, K)AlSi₃O₈'in bir bileşimi ile anortoklaz, aralarındaki ara pozisyonu işgal eder. Ortoklaz ve mikroklin genellikle KAlSi₃O₈'e çok yakın kompozisyonlara sahiptir bu yüzden fiziksel özelliklerinin çoğunda benzerdir. Ticari amaçlar için, özdeş olarak kabul edilebilirler, çünkü birbirlerinden çıplak gözle ayırt edilemezler (Celik ve diğ.,1998). Sanidin ayrıca KAlSi₃O₈'e çok yakın bir bileşime sahip olabilir. Bu üç KAlSi₃O₈ minerali polimorflardır, yani aynı kimyasal bileşimlere ancak farklı kristal yapıya sahiptirler. Sanidin monoklinik bir yapıya sahiptir, ortoklaz monokliniktir ve sanidin triklinik. KAlSi₃O₈ bileşimi ile bu üç mineralin oluşumu için belirleyici faktör sıcaklıktır. Sanidin yüksek sıcaklık formudur, ortoklaz orta sıcaklık formudur ve mikroklin düşük sıcaklık formudur. Alkali feldspatlar, feldspatların endüstriyel kullanımı açısından daha önemlidir. İçinde buldukları sayısız kayaç arasında feldspatlar %50 veya %70'e kadar alkali feldspat içeren granit gibi magmatik kayaçlarda özellikle bol miktarda bulunurlar. Çizelge 2.1'de alkali (sodyum ve potasyum) feldspat minerallerinin kimyasal formülleri verilmiştir.

Çizelge 2.1: Alkali feldspat minerallerinin kimyasal formülü.

Ortoklaz	KAlSi ₃ O ₈
Sanidin	KAlSi ₃ O ₈
Mikroklin	KAlSi ₃ O ₈
Anortoz	NaAlSi ₃ O ₈
Albit	NaAlSi ₃ O ₈

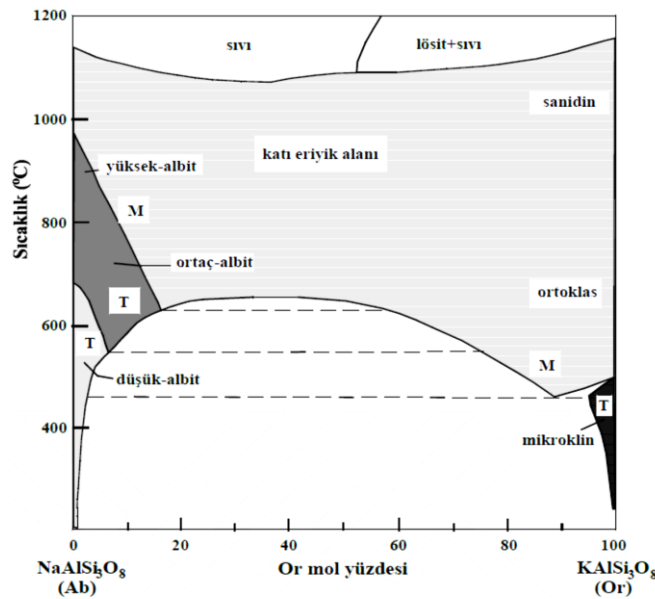
2.1.2 Plajiyoklaz feldspatlar

Albit bir sodyum feldspattır ve anortit bir kalsiyum feldspattır. Her ikisi de bir eriyikten kristalleştirme ile oluşur. Çizelge 2.2’de sodyum ve kalsiyum minerallerinin oranlarıyla değişen ara mineraller albit oligoklas andezin labrador bitovnit ve anortit izomorf geçiş grubu görülmektedir (MTAGM, 2015). Doğada, birçok eriyik bol miktarda sodyum, kalsiyum ve oksijen ile birlikte bol miktarda sodyum veya kalsiyum içerir. Çoğu albit kristal yapısında sodyum yerine bir miktar kalsiyum ikamesi içerecek ve çoğu anortit kristal yapısında bir miktar kalsiyum yerine sodyum ikamesi içerecektir (Presnall ve Bateman, 1973).

Çizelge 2.2: Plajiyoklazların oluşturduğu izomorf seri.

		Anortit Miktarı, %
Albit	$\text{Na AlSi}_3\text{O}_8$	0-10
Oligoklas	$(\text{Na,Ca}) (\text{Al, Si})_4\text{O}_8$	10-30
Andezin	$(\text{Na,Ca}) (\text{Al, Si})_4\text{O}_8$	30-50
Labrador	$(\text{Na,Ca}) (\text{Al, Si})_4\text{O}_8$	50-70
Bitovnit	$(\text{Na,Ca}) (\text{Al, Si})_4\text{O}_8$	70-90
Anortit	$\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$	90-100

Plajiyoklazlar farklı sıcaklık derecelerinde bir katı eriyik oluşturup, bileşimleri albit ve anortit arasında çeşitli seriler oluştururlar. Şekil 2.2’de faz diyagramında katı çözeltiler görülmektedir (T-trikinal; M-monoklinal) (Gülgönül, 2004).



Şekil 2.2: Farklı sıcaklıklardaki katı çözelti grafiği.

2.1.3 Feldspatların fiziksel özellikleri

Mineralleri isimlendirirken sertlik, renk, yoğunluk gibi bazı fiziksel özelliklerinin bilinmesi gerekir (Günçelik, 2006). Mohs sertlik çizelgesi içerisinde feldspatlar 6-6,5 sertlik derecesine sahiptirler. Yani feldspatlar bir camı çizerken çakı veya toplu iğne ile çok zor çizilebilirler. Feldspatların özgül ağırlığı 2,5-2,6 g/cm³ civarındadır. Feldspatlar kayaç yapıları olarak birbirlerine benzeseler de trikline, kristal taneleri şeklinde, prizmatik bir şekle sahiptir. Beyaz, açık sarı, açık pembe, yeşil, renksiz ve gri renkte olabilir. Camsı, inci parıltılıdır. Feldspatlar, birbirlerini dik açılarda kesen iki yönlü dilinime sahiptir. Sertliği, dilinimi ve rengi feldspatların diğer minerallerden ayırt edilmesini sağlar.

2.1.4 Feldspatların kimyasal özellikleri

Sodyum ve potasyum feldspat gibi ticari amaçlı feldspatların oksitli bileşen miktarları önemlidir (Karaman, 2009). Feldspat içerisinde ortalama olarak bulunması gereken bileşik miktarları Çizelge 2.3'te görülmektedir.

Çizelge 2.3: Bazı feldspatların kimyasal içeriği.

	Na ₂ O, %	K ₂ O, %	CaO, %	Al ₂ O ₃ , %	SiO ₂ , %
Albit	11,8			19,4	68,8
Ortoklas		16,9		18,4	69,7
Anortit			20,1	28,6	43,3

Endüstrinin yaygın alanlarından seramik ve cam sanayisinde feldspatların ergime sıcaklıkları önemli role sahiptir. Sodyum, potasyum ve kalsiyum mineral ağırlıklı feldspatların ergime sıcaklıkları Çizelge 2.4'te görülmektedir (Günçelik, 2006; Tsuchiyama ve Takahashi, 1983). Ülkemizde potasyum feldspat üretimi, birkaç istisna dışında tamamen açık işletme yöntemleri kullanılarak yapılmaktadır (Hızal, 1997).

Çizelge 2.4: Feldspat ergime aralıkları.

Potasyum Feldspat	1200-1250 °C
Sodyum Feldspat	1150-1225 °C
Kalsiyum Feldspat	1500-1550 °C

2.2 Feldspat Mineralinin Doğada Bulunması

Feldspatlar, yerkabuğundaki metamorfik, sedimanter ve magmatik kayaç bileşimlerinde yüksek oranda bulunması sebebiyle feldspat miktarı yeterli veya ekonomik değeri olması halinde çeşitli kaynaklardan üretilerek endüstride kullanılması mümkün olmaktadır (DPT, 2001).

2.2.1 Pegmatitler

Pegmatitler, bir magmanın kristalleşmesinin son aşamasında oluşan aşırı magmatik kayalardır. Çoğu pegmatit, bol kuvars, feldspat ve mika içeren granite benzer bir bileşime sahiptir ve bunlara "granit pegmatitler" denir (Capitani ve diğ., 2016). Feldspatın en önemli ekonomik kaynağı pegmatit yataklarıdır. Bu yatakların çoğunluğu düşük kalitededir ve seramik ve cam endüstrilerinde istenmeyen safsızlıklar içerir (Oteyaka ve diğ., 2017). Pegmatitler endüstride direkt veya zenginleştirme yöntemlerine tabi tutularak kullanılmaktadır.

2.2.2 Aplitler

Aplitler, granitin ince taneli eşdeğeridir ve sadece kuvars ve alkali feldspat ile çok az miktarda muskovit ve biyotitten oluşur. Çoğunlukla ince tanelidir (Haldar ve Tişljar, 2014). Aplit ve granit bileşimde benzerdir, ancak tane boyutunda büyük farklılıklar gösterir. Ticari olarak çoğunluğu albitten oluşan feldspatik bir damar veya dayk kayaçlarıdır. Kaolinleşmiş olan türleri granitik kayaçlarla ilişkili olup, sanayide kullanılmaktadır.

2.2.3 Nefelinli siyenit

Silis içeriği düşük bir kayaç olup, albit ve mikroklin türü feldspat ile nefelinden oluşmaktadır. Nefeline siyenit %48-54 albit, %18-23 mikroklin ve %20-25 nefelin birleştirilir (Çınar ve Durgut, 2019). Nefeline siyenit, çoğunlukla endüstriyel hammadde olarak yüksek alüminyum ve alkalın içeriği bakımından seramik ve cam üretiminde kullanılır. Düşük serbest silis içeriği, yüksek ergitme gücü ve dar erime aralığı cam endüstrisine ideal uyum gösteren karakteristikleridir. Kimyasal adı sodyum ve potasyum alüminosilikat olan nefelin siyenit mineralinin formülü $Na_3KA_4Si_4O_{16}$ 'dır. Na/K oranı 3/1 olup, Mohs sertlik ölçeğine göre sertliği 5-6 olan, özgül ağırlığı 2,5-2,7 gr/cm³ ve hegzagonal sistemde kristallenen bir mineraldir.

2.2.4 Feldspat filonları

Feldspat içeriği bakımından zengin, granitik kayaların kendi bünyelerinde veya temas halinde bulunduğu yan kayalarda enjeksiyon damarları şeklinde oluşan sokulumlardır. İmpürite oranları nispeten düşük olup, yüksek tenörlü Na veya K-feldspat içerirler (DPT, 2001).

2.2.5 Alaskit

Granit-pegmatitik arası kimyasal bir bileşime sahiptir. Ortalama olarak %45 plajioklaz, %25 kuvars, %20 mikroklin, %10 muskovit içeren bir minerolojik bileşime sahiptir (TMMOB Maden Mühendisleri Odası, 2010).

2.2.6 Pertit

Potasyum bakımından zengin alkali feldspat mikroskopik plajioklaz büyümelerinden oluşur. Bir mikroklin / ortoklaz arası ile albit veya oligoklazın bir birleşmesidir. Granit, ana bileşenlerle ve apatit, ilmenit, hematit, rutil, içerebilir. Granit, grafik ve pegmatitlerde perlit oluşumu yaygın olarak bulunmakta ve kayaca belirgin bir dokusal özellik kazandırmaktadır (TMMOB Maden Mühendisleri Odası, 2008).

2.2.7 Feldspatik kumlar

Doğal veya işlenmiş feldspat ve kuvarşın karışımından oluşun kumlardır. Feldspatça zengin olan kayaların erozyonu sonucu taşınıp depolanması ile birlikte oldukça zengin plaser yataklar oluşabilir (DPT, 2001). Bazı pegmatitik maden işletmelerinde zenginleştirme sırasında veya kaolinlerin yıkanması sırasında yan ürün olarak da elde edilebilir.

2.2.8 Grafik granitler

Potasyum feldspatın hakim olduğu, ikincil mineral olarak kuvars içeren ve yüksek K₂O oranı istendiğinde kullanılan bir pegmatik kayaç cinsidir.

2.2.9 Altere granitler

Granitik kayaların atmosferik şartlar altında veya hidrotermal etkilerle belirli ölçüde kayaları oluşturan minerallerin fiziksel ve kimyasal etkilerle kompozisyonlarının değişmesi sonucu, içerdii feldspatlarda kaolinleşme gelişir ve kayaç bünyesindeki

mafik mineraller belirli ölçüde uzaklaştırılarak demir oksit safsızlıkları azalır (TÜİK, 2020).

2.3 Feldspatın Kullanım Alanları

Feldspat minerali dünya genelinde olduğu gibi ülkemizde de endüstrinin birçok alanında kullanılmaktadır. Feldspatların sanayide kullanımı etkileyen iki özelliği alümina ve alkali içeriğidir. Başlıca tüketim alanları olarak %60 cam, %35 seramik sanayiinde, %5'i kauçuk, plastik ve boya sanayilerinde dolgu malzemesi gelmektedir.

2.3.1 Cam sanayisi

Feldspat, cam yapımında bir akışkan madde görevi görür ve silisin ergime sıcaklığını düşürmek için kullanılır. Aynı zamanda bir dengeleyicidir. Stabilizatörler cama fiziksel ve kimyasal darbelere karşı yüksek derecede direnç verir. Kuvarsın ergime sıcaklığını düşüren ve camın viskozitesini kontrol etmeye yardımcı olan bir ergitici maddesi görevi görür (Bulut ve diğ., 2014). Feldspattaki alkali içeriği akışkan görevi görür, camın erime sıcaklığını düşürür ve böylece üretim maliyetlerini azaltır. Cam için hammadde silika kumu, soda külü (sodyum karbonat) ve kireçtaşı (kalsiyum karbonat) içerir. Alümina (Al_2O_3) sertlik, işlenebilirlik, mukavemet sağlar ve camı kimyasallara karşı daha dirençli hale getirirken alkali (NaO_2 ve K_2O) feldspata akışkanlık katarak erime sıcaklığını azaltır. Böylece daha az enerji kullanılır (Silva ve diğ., 2019). Camın saydamlığını kaybetmemesi için imalat sırasında viskoziteyi de arttıran alümina içeriği, konteyner (şişe, cam vb.) ve düz cam ürünlerinde ortalama %1,5-2 oranında ve cam elyaflarda %15'e kadar bulunmaktadır. Cam üretiminde flotasyon işlemi haricinde kuru manyetik ayırma işlemiyle mika (biyotit, muskovit) ve demir oksit mineralleri ayrılabilir (Burat, 2017). Nefelinli siyenit, toplam tüketim miktarı %65 olan en önemli kullanım alanı cam sanayisidir. Ekonomik değerlendirme için alümina (%23-24 Al_2O_3), alkali (%9,8-10,2 K_2O) ve silika (%59-60 SiO_2) içeriği cam sanayinde kullanılır (Kulaksız ve Özçelik, 1997). Nefelinli siyenit cam yapımında, cam hamurunun eritilmesinde flaks özelliğinden dolayı kullanılır ve konteynır (kap) camında hamurun %5-15'ini içerir (DPT, 2001). Feldspat tüketimi yavaş yavaş seramikten cama doğru kaymaktadır. Cam endüstrisinde büyüyen bir segment olarak güneş panelleri üretiminde kullanılan güneş camı da feldspat minerali üretim havuzuna dahil olmuştur. İçecek kapları (cam endüstrisi tarafından tüketilen feldspatın yarısından fazlası), cam, konut ve bina inşaatı için fiberglas yalıtım dahil

olmak üzere cam, dünya genelinde feldspatın önde gelen kullanım alanı olmaya devam etmiştir (National Minerals Information Center, 2020).

2.3.2 Seramikler

Feldspat minerali uzun yıllardır seramik endüstrisinde önemli pay sahibidir. Seramikler, sızdırmazlığın gerekli olduğu duvarlara kadar yüksek mekanik direnç ve yüzey sertliğinin gerekli olduğu birçok farklı yerde kullanımını mümkün kılan mükemmel teknik özelliklere sahip olmalıdırlar (Bahat, 1969). Seramikte flakslar sıcaklığın düşürülmesini sağlamak amacıyla kullanılırlar. Flakslar (eriticiler) seramik reçetesine, bünye pişirildiğinde sıvı oluşumunu sağlayacak olan sıcaklığın düşürülmesini sağlamak için katılır. Flaks, seramik pişirme sırasında camlaşma derecesini kontrol edilmesini sağlar ve bu sayede ürün fırından istenen camlaşma derecesinde çıkar. Farklı seramiklerin, değişik camlaşma derecesine sahip olması gerektiği için belirli bünyelerde kullanılacak olan flaks miktarı da değişkenlik gösterecektir. Seramikler belirli mukavemet özelliğini kazanma ve yoğunlaşma için ortalama 1100-1300°C sıcaklıklarda pişirilirler (DPT, 2001). Kil, kuvars ve feldspattan oluşan seramik reçetesinde feldspata yumuşaklık özelliği kazandırarak sıvı hale geçer. Feldspat sıkı bir erime noktasına sahip değildir, çünkü bir dizi sıcaklıkta kademeli olarak erir. Bu, kuvars ve killerin erimesini büyük ölçüde kolaylaştırır ve uygun karıştırma ile seramik yapımının bu önemli adımının modülasyonuna izin verir. Feldspatlar, düşük sıcaklıklarda camsı bir faz oluşturmak için eritici maddeler olarak ve sırlarda alkaliler ve alümina kaynağı olarak kullanılır. Seramik gövdenin mukavemetini, tokluğunu ve dayanıklılığını geliştirir ve diğer bileşenlerin kristal fazını çimentolar, diğer parti bileşenlerini yumuşatır, eritir ve ıslatır (Osama ve diğ., 2015). Seramik endüstrisinde potasyum feldspat daha geniş kullanıma sahiptir. Potasyum feldspat, yüksek viskoziteye sahip bir eriyik oluşturması ve pişirme sırasında seramik şeklinin bozulmamasına karşı mukavemet sağlaması sebebiyle daha avantajlıdır. Potasyum ve sodyum feldspat ya da nefelinli siyenit gibi flakslardan ne kadar hangisinden kullanılacağına, bir çok teknik kriter belirler.

2.3.3 Emaye ve sır üretimi

Feldspat, emaye bileşiminde daha az yüzey kusurları ve yüzey kalitesinin artmasına yardımcı olur. Kullanım alanı olarak seramik sır, seramik karo sır, vitrifiye, sofr

takımı, boya, hafif aşındırıcılar, ürean, kaynak elektrotları (çelik üretimi), lateks köpük, çubuk kaplamanın kaynağı vb. geniş bir kullanım alanına sahiptir.

2.3.4 Kaynak elektrotları üretimi

Feldspatların yeni kullanım alanlarından biri de kaynak elektrotları üretimidir. Kaynak elektrodunun eritici özellikleri, elektrot kaplama malzemesinin yapımında ideal bir bileşen olma özelliği sağlar. Karışıma eklenen feldspatın iki görevi vardır. Bunlar ark stabilizörü olarak davranması ve kaynak çukurunu korumasıdır. Ark stabilizörü olarak kullanılan malzemeler, feldspat yanında sodyum ve potasyum silikat, talk, kil, demir ve nikel tozları gibi metalik katkı maddelerini içerir. Potasyum iyonları ark kolonunda akım kesildiğinde tekrardan arkı alevlendirebilme özelliğinden dolayı, potasyum silikatlar alternatif akım için kullanıma daha uygundur. Kullanım avantajıyla beraber ark stabilitesi sağlar ve düşük bir devreyle çalışabildiğinden daha az maliyetli ekipman kullanımına olanak sağlar. Alternatif akımda kullanım için özellikle potasyum silikatlar uygundur, zira ark kolonunda potasyum iyonları, akım kesildiğinde dahi arkı tekrar alevlendirilebilirler (DPT, 2001; Zhang ve diğerleri, 2018). Kaynak çukuru doldurulmasında ise, feldspat gibi erimiş olan katı bariyerden cüruf oluşturucular yeni kaynatılmış metali ve kaynak çukurunu korurlar.

2.3.5 Boya sanayi

Boylar genellikle renk verici, inceltici ve bağlayıcı diye adlandırılan solventten oluşurlar. Günümüzde boya üretiminde nefelinli siyenit ve feldspat kullanılmaktadır (TMMOB Maden Mühendisleri Odası, 2010). Bunun nedeni, daha iyi parlaklık ve akıcılık vermeleri ve boyanın maliyetini azaltmalarıdır (Kulaksız ve Özçelik, 1997). Feldspatlar geneleksen boya dolguları olan kalsiyum karbonat ve barite karşı alternatif olarak kullanılırlar. Örneğin dış cephe boyları gibi asite dirençli malzemelerde ve renk stabilitesi için kalsiyum karbonat yerine feldspat kullanılırlar. Toz kaplama, su-emülsiyon ve yağ tipi boylarda, 20-30 mikron boyutunda feldspat kullanılır (Kulaksız ve Özçelik, 1997). Nefelinli siyenit ise gün geçtikçe kullanımı artarak dolgu malzemesi olarak tercih edilmektedir. Mikronize olmuş nefelinli siyenit esas olarak düşük yağ emmeli, toksik olmayan ve serbest akışlı beyaz ekstender bir renk vericidir.

2.3.6 Plastik

Dolomit, feldspat, vollastonit, kalsit grubu mineraller plastiğin üretim türüne göre plastiğe eklenen maddelerdir (Kulaksız ve Özçelik, 1997). Gün geçtikçe artan plastik sanayinde feldspatlar önemli role sahiptir. Plastikler için yanmayı geciktirici, renk verici ve dolgu olarak kullanılmaları feldspatlar için tercih sebebidir. Plastik reçetelerinde dolgu maddeleri dayanımı arttırıcı ve maliyet düşürücü olarak kullanılır (DPT, 2001).

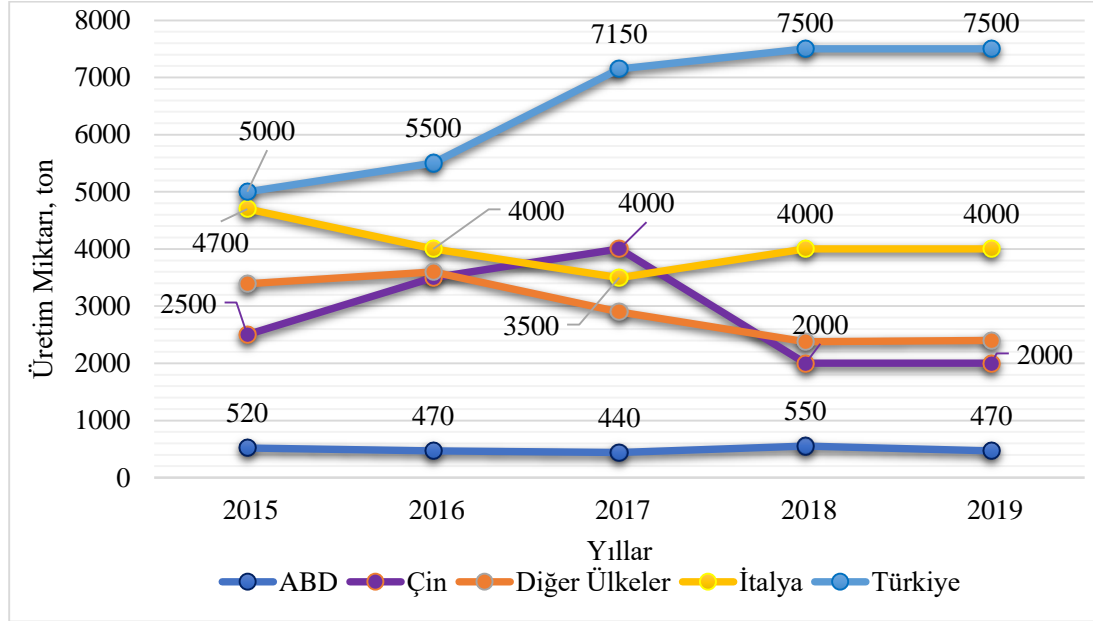
2.4 Dünya’da Feldspat

Endüstrinin birçok alanında kullanılan feldspat mineralleri, yer kürede birçok rezervi bulunmasına rağmen rezerv miktarı hakkında kesin değerler bilinmemektedir. Feldspat rezervine sahip olan ülkeler ulusal istatistik kurumlarına belirtmiş olduğu verilere göre, Amerika merkezli Ulusal Mineraller Bilgi Merkezi’nin derlediği Dünya’da üretilen feldspat miktarı toplamda son 5 yıl içerisinde %15 oranında artış göstermiştir. Feldspatın üretiminde en önde gelen ülkeler üretim miktarına göre sırasıyla Türkiye, İtalya, Hindistan ve Çin’dir. Çizelge 2.5’te yıllık küresel çapta feldspat üretimi ve rezerv miktarları gösterilmektedir.

Çizelge 2.5: Dünya feldspat rezervleri.

Ülkeler	Yıllara Göre Feldspat Üretimi (bin metrik ton)					Rezerv Miktarı
	2015	2016	2017	2018	2019	
ABD	520	470	440	550	470	Bilinmiyor
Brezilya	330	400	400	400	400	150.000
Çin	2.500	3.500	4.000	2.000	2.000	Bilinmiyor
Çekya	430	420	460	449	460	23.000
Mısır	300	400	400	400	400	1.000.000
Hindistan	1.500	1.500	1.500	4.000	4.000	320.000
İran	1.200	1.000	1.000	750	750	630.000
İtalya	4.700	4.000	3.500	4.000	4.000	Bilinmiyor
Güney Kore	601	600	600	617	650	240.000
Malezya	343	330	350	420	420	Bilinmiyor
İspanya	600	600	600	600	600	Bilinmiyor
Tayland	1.300	1.300	1.390	1.500	1.600	235.000
Türkiye	5.000	5.500	7.150	7.500	7.500	240.000
Diğer Ülkeler	3.390	3.600	2.900	2.380	2.400	Bilinmiyor
Dünya Geneli Toplam	22.700	23.600	24.700	25.600	26.000	Bilinmiyor

Dünya geneli üretimde birçok ülke üretimini aynı oranda sürdürürken 2015 yılı ve sonrasında, Türkiye ve Hindistan üretimini ciddi bir oranda arttıran iki ülke olmuştur. Dünya geneli üretime baktığımız zaman dış ticaret hacmi de gözetilerek son 5 yıl içerisinde üretici konumundaki ülkeler stabilitesi korunurken ve dalgalanmalar yaşarken Türkiye son beş yıl içerisinde %50 oranında üretimini arttırarak yıllık 7,5 milyon ton üretim hacmi gerçekleştirmektedir. Şekil 2.3'te 2015-2019 yılları arasında üretim miktarındaki değişimler gösterilmiştir (National Minerals Information Center, 2020).



Şekil 2.3: Son 5 yıllık feldspat üretim hacmi değişimi.

2.5 Türkiye'de Feldspat

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 (Terzi ve Kurşun, 2013). Maden Tetkik Arama (MTA) Genel Müdürlüğü verilerine göre Türkiye'de genellikle nefelinli siyenit ve feldspatik kum rezervleri verilmektedir.

Türkiye’de de Dünya rezervleri gibi feldspat rezervi konusunda kesin rakamlar vermek pek mümkün olmamaktadır. Batı Anadolu’da yer alan, Bozdoğan-Yatağan-Milas-Çine yöresinde bulunan ve üretim yapılan yataklar, ülkemizin kaliteli ve en önemli albit (Na-Feldspat) yataklarıdır. Buradaki maden yatakları rezerv açısından zengin, kaliteli, limana ve tüketim alanlarına yakın olduğu için bu yataklar önem kazanmaktadır. Şekil 2.4’te Türkiye’deki feldspat rezervlerini belirten harita gösterilmiştir.



Şekil 2.4: Türkiye feldspat rezerv haritası.

Ülkemizde, Milas-Yatağan-Çine bölgesindeki büyük sodyum feldspat rezervleri ve potansiyeli dışında, Uşak’ta da albit rezervleri bulunmaktadır. Manisa-Demirci-Gördes, Bilecik- Söğüt ve Kırşehir Masifi’nde potasyum-sodyumlu karışık feldspat rezervleri bulunmaktadır. Kırşehir Masifi, çok önemli bir potasyum feldspat potansiyeline sahiptir. Feldspat kalitesine göre şirketler zenginleştirme işlemlerinden sonra pazara sunmaktadırlar. Günümüzde birçok firma flotasyon tesislerinde daha verimli feldspat üretmekte ve ekonomik değer kazanan feldspatın hem iç pazara hem de ihraç edilmektedir. Türkiye’deki işletme ruhsatlı sahalardan ruhsat sahiplerince Türkiye İstatistik Kurumu’na (TÜİK) bildirilen üretim ve satış miktarı değerlerine ait veriler Çizelge 2.6’da gösterilmiştir.

TÜİK verilerine göre son on yıl içerisinde feldspat minerali için Dünya’nın önde gelen üreticilerinden olan Türkiye aynı zamanda endüstriyel değeri olan feldspatı satmaktadır. 2010 yılından sonra 2018 yılına kadar yaklaşık 3 kat üretim miktarı artmıştır.

Çizelge 2.6: Son 10 yıllık Türkiye’deki feldspat üretim ve satış miktarları.

Yıllar	Üretim Miktarı, ton	Satış Miktarı, ton
2019	6.346.775	-
2018	5.540.010	2.414.119
2017	3.940.474	811.203
2016	3.487.356	729.078
2015	3.620.821	1.058.244
2014	3.711.486	1.262.996
2013	5.384.059	1.482.197
2012	3.102.878	1.190.776
2011	2.711.777	955.874
2010	2.164.740	717.749

2.6 Feldspat Ekonomisi

Ülkemizde bir çok bölgede K-feldspat kaynağı olabilecek yataklar vardır. Örneğin, Örneğin, Manisa Demirci-Gördes bölgesindeki yataklardan, K₂O içeriği %13 civarında olan ve demir-titan gibi renk verici içeriklerin %0,1'in altında olduğu kaliteli konsantreler üretilebileceği bilinmektedir. Çok büyük rezerve sahip bu bölgedeki yatakların değerlendirilmesi, yurt dışından temin edilen K-feldspat ithalatını azaltarak ekonomik açıdan bir katkı sağlayabilir (Gülsoy, 2003).

2.7 Feldspat İhracat ve İthalat Rakamları

Türkiye, yıllık olarak 6 milyon tonun üzerinde üretimiyle feldspat madenciliğinde dünya lideridir. MTA Genel Müdürlüğü’nün verilerine göre Türkiye’nin 2018 yılı feldspat hacmi incelendiğinde, ihracatın geçen yıla göre yaklaşık %3,5 oranında artarak ithalatın ise %80 oranında artarak 6.671.265 ton ve 206.015.535 \$ değerinde feldspat madeni ihracatı gerçekleştiği görülmektedir. Türkiye’deki yıllık üretimin %80’i İspanya, İtalya, Rusya, Lübnan, Mısır, Almanya, Polonya, İsrail, Cezayir, Romanya, ABD ve Asya ülkelerine ihraç edilmektedir. Çizelge 2.7’de Türkiye’nin 2010 ve 2018 yılları arasında ihracat ve ithalat rakamları gösterilmiştir.

Çizelge 2.7: 2010-2018 yılları arasında feldspat dış ticareti.

Yıllar	İhracat		İthalat	
	Miktar, ton	Değer, \$	Miktar, ton	Değer, \$
2018	6.671.265	206.015.535	101.303	4.219.362
2017	6.439.995	178.900.860	56.515	4.783.848
2016	5.521.300	155.561.506	44.365	3.846.937
2015	5.150.938	144.741.457	65.405	6.070.090
2014	4.559.460	155.621.851	41.695	4.081.680
2013	4.096.543	142.146.429	39.455	3.676.765
2012	4.082.530	132.017.287	47.361	4.368.384
2011	3.962.250	130.792.232	34.725	3.297.962
2010	3.727.204	104.689.420	39.952	3.681.507

Türkiye'nin konumu itibariyle deniz ulaşımı ve kara yolu gibi lojistik avantajları ihracat miktarını arttıran etkenlerdir. İstanbul Maden İhracatları Birliği (İMİB) verilerine göre 2019 yılı içerisinde aylık bazda ihracat miktarı ve uluslararası ihracat değeri Çizelge 2.8'de gösterilmiştir.

Çizelge 2.8: 2019 yılı Türkiye geneli aylık bazda feldspat ihracat verileri.

Aylar	Miktar, ton	Değer, \$
Ocak	427.751	14.303.122
Şubat	515.675	17.045.762
Mart	611.624	20.151.937
Nisan	535.388	17.514.397
Mayıs	798.512	26.276.281
Haziran	524.946	17.296.938
Temmuz	636.591	20.989.906
Ağustos	422.591	15.276.563
Eylül	460.621	15.847.631
Ekim	609.785	20.053.141
Kasım	571.744	19.934.268
Aralık	231.542	9.650.596
Genel Toplam	6.346.775.089	214.340.542

2.8 Feldspat Zenginleştirme Yöntemleri

Feldspatta demir varlığı nihai ürüne renk verdiği için arzu edilmez ve bu nedenle demir içeriği belirli bir değerin altında tutulmalıdır. Çeşitli zenginleştirme teknikleri, el ayıklama, manyetik ayırma ve yüzdürme gibi feldspattan demir doğuran mineraller de dahil olmak üzere renklendirici safsızlıkları gidermek için kullanılır (Dogu ve Arol, 2004). Ayrıca ters flotasyon yöntemi, feldspatlardaki safsızlıkların giderilmesi için hala dünyada en yaygın olarak kullanılan yöntemdir.

2.8.1 Manyetik ayırma ile zenginleştirme

Feldspat cevherinin zenginleştirilmesinde kullanılan yöntemlerden birisi manyetik ayırma ile zenginleştirmedir. Bu zenginleştirme yönteminde, yüksek alan şiddetli, sabit mıknatıslı, rulo tipi kuru manyetik ayırıcılar olan REMS kullanılmaktadır. Bu yöntemde demir içeren mineraller mıknatısa yapışarak ayrılır (Bayraktar ve diğ., 2001). Kuru manyetik ayırmada, ince fraksiyonun (genellikle -75 mikron) iyi bir şekilde ayrılması dikkat edilmesi gereken en önemli noktadır. Çünkü, ince taneler statik elektriklenme yolu ile iri tanelere yapışır ve ayırımın başarısız olmasına neden olur. Kuru manyetik ayırmadaki olumsuz yönlerden birisi de tane boyutu küçüldükçe ayırıcı kapasitesinin azalmasıdır (Bayraktar ve diğ, 2001). Ayrıca Manyetik ayırma, feldspatların maliyet ve basitlik açısından zenginleştirilmesi için en uygun yöntemlerden biridir ancak manyetik ayırıcıların etkili bir ayrılması ve tane boyutu sınırlamaları için yüksek manyetik alan yoğunlukları gerektiren titanyum minerallerinin çok düşük manyetik duyarlılıkları nedeniyle genellikle tercih edilmez. Manyetik ayırmada nadir toprak alaşımları için yüksek yoğunluklu rulo tipi manyetik ayırıcı ile gerçekleştirilen manyetik ayırmada, ayırıcı açısının ayırma geri kazanımı için en önemli parametre olduğu ve tambur hızının kapasiteyi artıran bir etkiye sahip olduğu gözlenmiştir (Kursun ve diğ, 2018).

2.8.2 Elektrostatik ayırma ile zenginleştirme

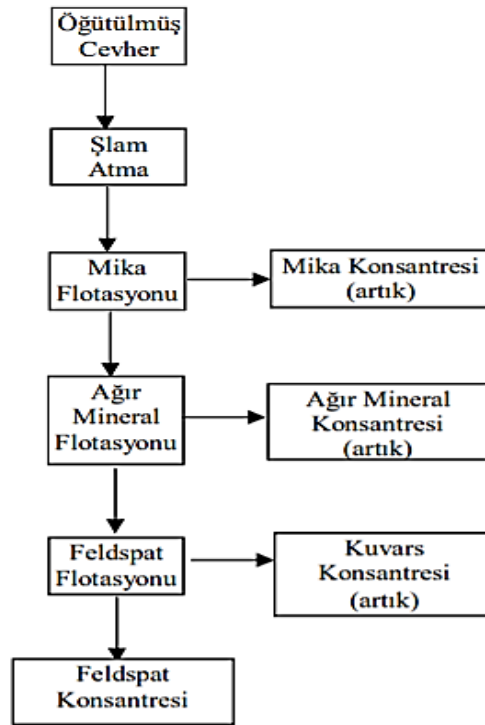
Elektrostatik ayırma ile zenginleştirmenin yapılabilmesi için cevherin ısıtma, kurutma, tozdan ayırma ve boyuta göre sınıflandırma gibi ön zenginleştirme işlemlerinden geçmesi gerekmektedir. Bu nedenle, endüstriyel ölçekte bu yöntem son zamanlarda uygulanmaya başlanmıştır. Pegmatitlerde bulunan minerallerin ayrılması, voltaj farklarına ve reversibilite özelliklerine göre elektrostatik ayırma ile sağlanabilir.

Elektrostatik ayırma tek başına zenginleştirme yöntemi olarak kullanılabilirdiği gibi özellikle flotasyon yöntemiyle birlikte tesislerde uygulanmaktadır.

2.8.3 Flotasyon ile zenginleştirme

Feldspatın yaklaşık olarak %70-75'i bu yöntemle zenginleştirilmektedir. Feldspat ve kuvars diğer minerallerden (mika, turmalin ve ağır mineraller) ekonomik olarak ayrılabilir. Flotasyon işleminin başarısı kondisyon koşulları ve reaktiflerin yanı sıra flotasyon makinasının özelliklerine de bağlıdır. Flotasyon işleminde toplayıcı reaktiflerin mineral yüzeyleri arasında ilişki için bazen ön işlemler gerekebilir. Pülpün ısıtılması, şlamın uzaklaştırılması gibi bu işlemler flotasyon kontrolü için yapılan yöntemlerdir (Atak ve Tolun, 1994).

Feldspat flotasyonu genellikle 3 aşamadan oluşur. İlk kademede mika ayrılırken, ikinci kademede ise titanyum, demir oksitler gibi renk verici mineraller ile birlikte ağır mineraller uzaklaştırılmaktadır. Son aşamada ise feldspat ve kuvars ayrımı gerçekleşir (Heyes ve diğ., 2012). Eğer, cevherin içindeki mika mineralleri az olursa, birinci kademinin uygulanmasına gerek duyulmayabilir ve bu sebeple, mika mineralleri ağır minerallerle birlikte yüzdürülür (Bulut ve diğ., 2019). Şekil 2.5'te feldspat flotasyonu genel akım şeması gösterilmiştir.



Şekil 2.5: Feldspat flotasyonu genel akım şeması.

Feldspat ve kuvars mineralleri yüzey özellikleri bakımından birbirlerine benzemektedir. (TMMOB, 2001). Bu ayırma işleminde HF kullanılarak, 2,5 gibi düşük bir pH değerinde kuvarsın bastırılması ve feldspatın yüzdürülmesi sağlanır (Burat ve diğ, 2007). İki minerali flotasyonla birbirinden selektif olarak ayırabilmek için genellikle florür kullanılarak feldspat minerali canlandırılır. Hidroflorik (HF) asit eklenerek (pH: 2,5-3) feldspatlar rahat bir şekilde yüzdürülürler. Ağır mineral flotasyonlarında sülfanotlar gibi anyonik toplayıcılar ve yağ asitleri de kullanılır (Bayraktar ve diğ, 1997).

2.8.4 Flotasyon yöntemi ile feldspat kazanımı

Sümer ve Kaya (1995) çalışmalarında renkli safsızlıkların uzaklaştırılmasında feldspatın flotasyon yöntemi ile zenginleştirilmesi araştırılmıştır. İki ve üç kademeli flotasyonda katyonik ve anyonik toplayıcılar kullanılarak, tane boyutu ve reaktif türü dikkate alınarak demir ve titan oksit gibi safsızlıkların uzaklaştırılması ve feldspat kalitesinin artırılması hedeflenmiştir. Potasyum feldspat ile yapılan üç kademeli flotasyon sonucunda Fe_2O_3 tenörü %0,49'dan %0,23'e ve TiO_2 tenörü ise %0,06'dan %0,04'e düşürülmüştür. K_2O tenörü %8,66'dan %9,82'ye ve Na_2O tenörü %2,32'den %2,79'a çıkarılmıştır. Sodyum feldspat kullanılarak gerçekleştirilen üç kademeli flotasyon sonucunda TiO_2 tenörü %0,55'ten %0,23'e ve Fe_2O_3 tenörü ise %0,17'den %0,13'e düşürülmüştür. Yapılan bu çalışmalar sonucunda endüstrinin istediği özelliklere yakın feldspat konsantrelerinin flotasyon yöntemi ile üretilebileceği tespit edilmiştir (Sümer ve Kaya, 1995).

Feldspat kuvars ayırımı konusunda yapılan çalışmalarda, çevreye daha az zararlı reaktiflerin kullanıldığı alternatif yöntemler araştırılmıştır. HF kullanılmadan yapılan feldspat kuvars ayırımında Duomeen TDO (dimindioleat) ile başarılı sonuçlar elde edilmesine karşılık, feldspat/kuvars ayırımında seçimliliğin pH 3 üzerinde kaybolduğu belirtilmiştir. Kalyon ve Gülsoy (2005) feldspat kuvars ayırımında hidroflorik asit kullanmadan yapılan flotasyon çalışmalarının sonuçlarını karşılaştırmıştır (Kalyon ve Gülsoy, 2005). Bu çalışmanın sonucunda feldspat-kuvars ayırımındaki en başarılı yöntemin HF/amin yöntemi olduğu; Duomeen TDO'nun ise en başarılı ayırımın sağlandığı HF'siz ayırım yöntemi olduğunu belirtmişlerdir.

Gülsoy ve arkadaşlarının (2003) çalışmalarında iri boyutlarda kuru manyetik ayırma ve flotasyon yöntemi ile zenginleştirme yapılmış olup sonuçlar karşılaştırılmıştır. Yapılan

çalışmaların sonucuna göre flotasyonla elde edilen konsantre manyetik ayırmayla elde edilen konsantreye göre daha yüksek potasyum, daha düşük titan ve demir içermektedir (Gülsoy ve diğ, 2003).

Bayraktar ve arkadaşlarının (2001) yapmış olduğu başka bir çalışmada, sodyum ve potasyum feldspat cevherlerinin zenginleştirilerek cam ve seramik endüstrinde kullanılabilirliği incelenmiştir. Bu çalışmada kuru manyetik ayırma ve flotasyon ile zenginleştirme yöntemi yapılarak sonuçları karşılaştırılmıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda, %0,15-0,80 Fe₂O₃ ve %0,30-0,55 TiO₂ içeriğe sahip tüvenan albit cevherinin, kuru manyetik ayırma ile %0,01-0,07 Fe₂O₃ ve %0,06-0,13 TiO₂ içeren konsantreler ve flotasyon ile %0,01-0,05 Fe₂O₃ ve %0,01-0,05 TiO₂ içeren konsantreler elde edilebileceğini göstermektedir (Bayraktar ve diğ, 2001).

Seyrankaya (2003)'nin yapmış olduğu başka bir çalışmada albit içerikli cevherden flotasyon yöntemi ile ağır minerallerin uzaklaştırılmıştır. Mika flotasyonu aşamasında toplayıcı olarak amin asetat ve köpürtücü kullanılmıştır. Sülfirik asit yardımıyla ortam pH'ı 3-3,5 olarak ayarlanmıştır. Yapılan deneylerde reaktif miktarı arttıkça mika ile diğer silikat minerallerinin de köpük fazında toplandığı görülmüştür. Aynı zamanda asidik ortamda anyonik türdeki reaktiflerle Na-feldspat cevheri içerisinde bulunan ağır minerallerin uzaklaştırılması araştırılmıştır. Flotasyon işlemi için iki aşama önerilmiştir. İlk aşamada mika flotasyonu, ikinci aşamada ise ağır mineral flotasyonu yapılmıştır (Seyrankaya, 2003). En uygun flotasyon şartlarında nihai feldspat konsantresinin Na₂O tenörü %11,72'ye çıkmış, TiO₂ içeriği %0,025'e, Fe₂O₃ içeriği ise %0,029'a düşürülmüştür.

Gence (1997)'in yapmış olduğu çalışmada feldspat flotasyonu üç aşamada gerçekleştirilmiş olup, ilk aşamada mika, ikinci aşamada demirli mineraller ile renk verici mineraller yüzdürülmüş ve son aşamada ise feldspat/kuvars ayrımı yapılmıştır. Cevher %6,31 K₂O ve %0,35 Fe₂O₃ içeriğine sahiptir. Flotasyonla zenginleştirme işleminde ilk aşamada pH 3,5'e düşürülmüş, aminler vasıtasıyla mika mineralleri yüzdürülerek uzaklaştırılmış, K₂O verimi %92,9 olarak bulunmuştur (Gence, 1997). İkinci aşamada renk verici minerallerin yüzdürülmesi amaçlanmıştır. Asidik ortamda (pH 3,5) demir oksitlerin yüzdürülmesi sağlanmış ve demir oksit içeriği %0,07'ye düşürülmüştür. Üçüncü ve son aşamada kuvarsı bastırmak ve feldspatı canlandırmak amacıyla HF asidi kullanılmıştır. Flotasyon sonucunda %7,96 K₂O ve %4,31 Na₂O içerikli konsantre %95,5 K₂O ve %89,4 Na₂O verimleri ile elde edilmiştir.



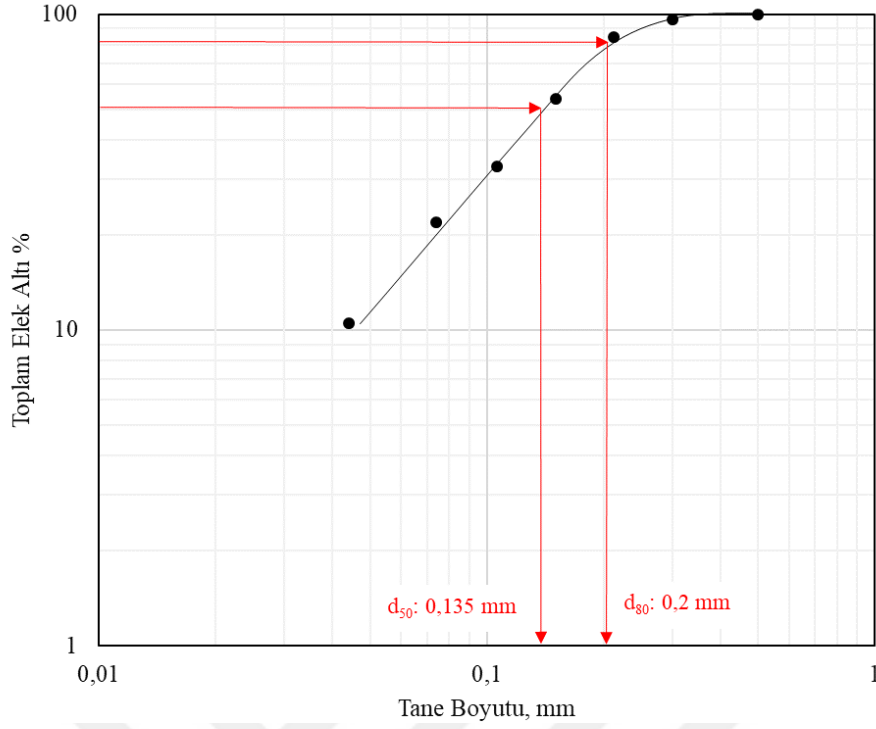
3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Deneysel çalışmalarda, Eczacıbaşı ESAN A.Ş.'ye ait Muğla-Milas Bölgesi'ndeki mevcut flotasyon tesisinden 300 mikron altında öğütülmüş olarak temin edilen feldspat cevheri (albit) kullanılmıştır. Numune ile ilk olarak temsili numune alma işlemleri, tane boyut dağılımının belirlenmesi, kimyasal ve mineralojik özelliklerinin tespiti çalışmaları yapılmıştır. Deneylere esas olan numune harmanlanarak, sırasıyla konileme-dörtleme ve numune bölücüyle numune alma işlemleri gerçekleştirilmiştir. Etüvde kurutulan numunelerin nem içerikleri yaklaşık %1 olarak tespit edilmiş ve flotasyon çalışmaları kurutulmuş numuneler kullanılarak başlatılmıştır.

Deneysel çalışmalarda mika mineralleri için amin tipi katyonik reaktifler tercih edilirken, renkli safsızlıkların (demir ve titanyum oksitler) uzaklaştırılması için farklı anyonik reaktifler kullanılmıştır. Kimyasal analiz sonuçlarına göre en iyi performans gösteren anyonik ve katyonik reaktifler seçilerek çift kademeli flotasyon deneylerine geçilmiştir. Bu deneylerde ayrıca anyonik ve katyonik reaktiflerin hücreye ilave edilme sırası değiştirilmiş, elde edilen ürünlerdeki içerik ve verim farklılıkları irdelenmiştir. Son olarak da bir önceki deneylerde seçilen bazı reaktifler belli oranlarda karıştırılarak tek kademe flotasyon deneylerine gerçekleştirilmiştir. Böylelikle reaktiflerin safsızlıkları uzaklaştırılması konusundaki sinerjik etkileri incelenmiştir. Her bir deneye ait test grubu için en uygun toplayıcı miktarı ve pH değerleri belirlenmiştir.

3.1 Deneylere Esas Olan Numunenin Alınması ve Özellikleri

Deneysel çalışmalarda kullanılan feldspat cevheri, dünyanın en önemli feldspat rezervlerine sahip olan Eczacıbaşı Esan A.Ş.'ye ait Muğla İli Milas Bölgesi'nden temin edilmiştir. Milas bölgesi feldspat rezervleri 80 milyon ton civarında olan, düşük miktarda safsızlık (Fe_2O_3 ve TiO_2) ve yüksek oranda Na_2O içeren cevherlerden oluşmaktadır. Şekil 3.1'de numunenin alındığı bölgenin konumu ve jeolojik konumu verilmektedir.



Şekil 3.2: Tüvenan numunenin toplam elek altı grafiği.

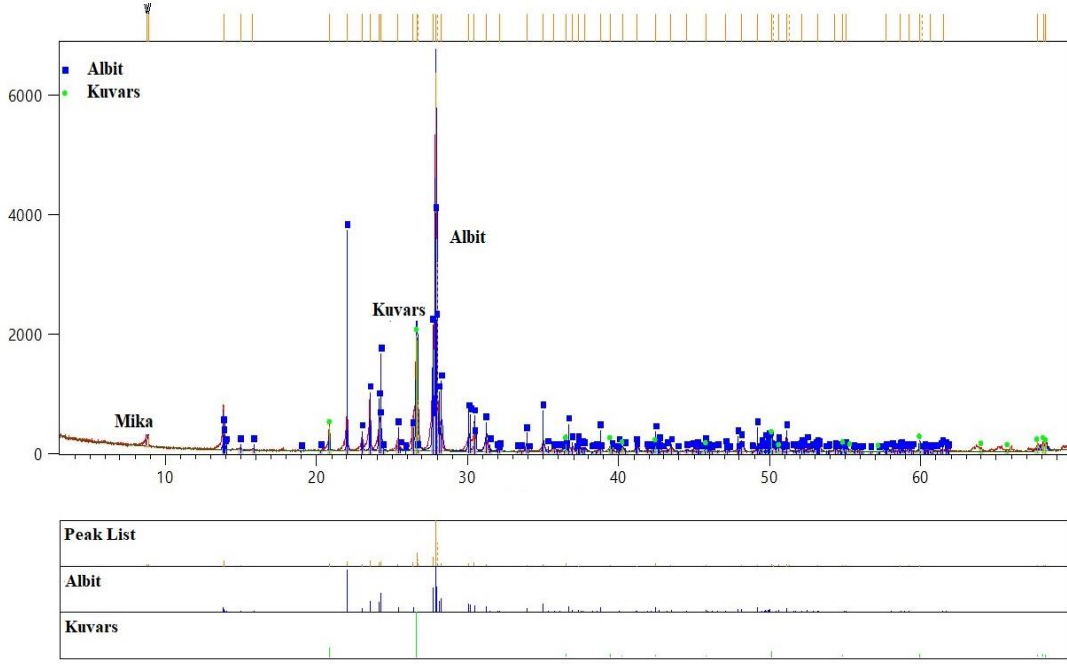
3.1.2 Kimyasal özellikler

Deneyleerde kullanılan feldspat numunesinin kimyasal analizi Eczacıbaşı ESAN A.Ş.'ye ait akredite kimyasal analiz laboratuvarında XRF metodu kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Zenginleştirme çalışmalarında kullanılacak olan temsili numunenin kimyasal analiz sonuçları Çizelge 3.2'de verilmektedir.

Çizelge 3.2: Tüvenan cevherin kimyasal analiz değerleri.

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	Ateş yayıatı
67,64	18,84	0,32	0,45	1,22	0,69	9,73	0,66	0,45

Kimyasal analizlere göre temsili numunenin, renkli safsızlıklardan kaynaklı olarak %0,32 Fe₂O₃ ve %0,45 TiO₂ içerdiği belirlenmiş, Na₂O oranının ise %9,73 olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca, numunenin fazlarını belirlemek amacıyla X-Işını Difraksiyonu (XRD) analizi yapılmış ve sonuçlar Şekil 3.3'te verilmiştir.



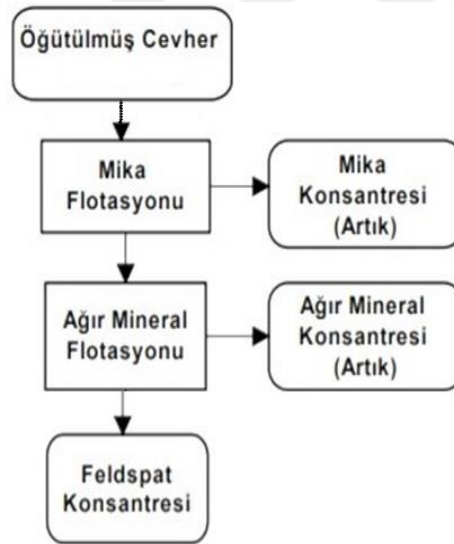
Şekil 3.3: Tüvenan numuneye ait XRD analizinin grafiği.

3.2 Flotasyon Deneylemleri

Flotasyon deneylemlerinin ilk aşaması en uygun toplayıcı reaktif miktarı ve türünü belirlemek amacıyla yapılmıştır. Literatürde mevcut olan ve bu konuda yapılan benzer çalışmalar incelenmiş, kationik ve anyonik toplayıcılar ile doğal pH koşullarında deneylemler gerçekleştirilmiştir. İlk kademe deneylemlerde amin tipi kationik reaktifler ile mika mineralleri yüzdürülmüş, renkli safsızlıkların (demir ve titanyum oksitler) uzaklaştırılmasında ise farklı özellikteki anyonik reaktifler kullanılmıştır. Çalışmalar sırasında herhangi bir köpürtücü reaktif kullanılmamıştır. En iyi performans gösteren anyonik ve kationik reaktifler tespit edilmiş ve çift kademeli flotasyon deneylemlerine geçilmiştir. Çift kademeli flotasyon deneylemlerinde anyonik ve kationik reaktiflerin ilave edilme sırası değiştirilmiştir. Sinerjik etkiyi incelemek amacıyla ise bir önceki deneylemlerde yüksek performans gösteren reaktifler belli oranlarda karıştırılarak flotasyon hücresine tek kademeli olarak eklenmiştir. En son olarak ise üç farklı pH değerinde flotasyon deneylemleri yapılarak pH'ın flotasyondaki etkisi araştırılmıştır.

Flotasyon deneylemleri, Denver tipi kendinden havalandırılmalı laboratuvar ölçekli flotasyon makinesi ile 1250 devir/dakika'da 2 litrelik flotasyon hücresi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Temsili olarak alınan yaklaşık 500 gram numune, 2000 ml şehir şebeke suyu ile flotasyon hücresine ilave edilmiştir. Renkli safsızlıkları uzaklaştırmak için kullanılan reaktifler ile sulu çözeltiler oluşturulmuş ve daha sonra gerekli reaktif

miktarı pipet yardımıyla flotasyon hücresine eklenmiştir. Flotasyon deneylerinde özel katkı maddeli ideal moleküler yapıya sahip yağ asitleri ve amin tipi reaktifler tercih edilmiştir. Katyonik toplayıcılar olarak Ingevity şirketinden OCD-9200-14 ve Derboteks şirketinden A4, anyonik toplayıcılar olarak ise İngevity şirketinden Altapyne M32 ve Altapyne M28, Derboteks şirketinden Derna-7, ve ArrMazz şirketinden 2404, 2408 ve 2410 reaktifleri tedarik edilerek kullanılmıştır. Deneylerde yüzen ve batan ürünleri toplamak için tüm flotasyon aşamalarında 5 dakika kondisyon süresi verilmiştir. Flotasyon süresi ise 60 saniye olarak seçilmiştir. Deneylerde uygulanan çift kademeli feldspat flotasyonunun akım şeması Şekil 3.4'te yer almaktadır. Flotasyon çalışmaları Şekil 3.5'te gösterilen Denver flotasyon makinesiyle gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.4: Feldspat flotasyonu akım şeması.



Şekil 3.5: Deneysel çalışmaların yapıldığı Denver tipi flotasyon makinası.

3.2.1 Katyonik reaktiflerle yapılan tek kademeli flotasyon deneyleri

Katyonik reaktiflerle yapılan flotasyon deneylerinde mika minerallerini toplamak amacıyla %1'lik çözeltiler halinde hazırlanan OCD-9200-14 ve A4 reaktifleri farklı miktarlarda flotasyon hücresine ilave edilmiştir.

3.2.1.1 OCD-9200-14 reaktifi ile yapılan flotasyon deneyleri

OCD-9200-14 reaktifi ilavesi ile doğal pH değerinde (7,60) yapılan deneylere ait flotasyon test koşulları Çizelge 3.3'te gösterilmiştir. Çizelge 3.4'te flotasyon sonucunda elde edilen ürünlerin Fe₂O₃, TiO₂, Na₂O ve K₂O içerikleri ve dağılımları verilmektedir. Reaktif miktarına göre Fe₂O₃ ve TiO₂ içeriklerinin değişimi ise Şekil 3.6'da gösterilmiştir.

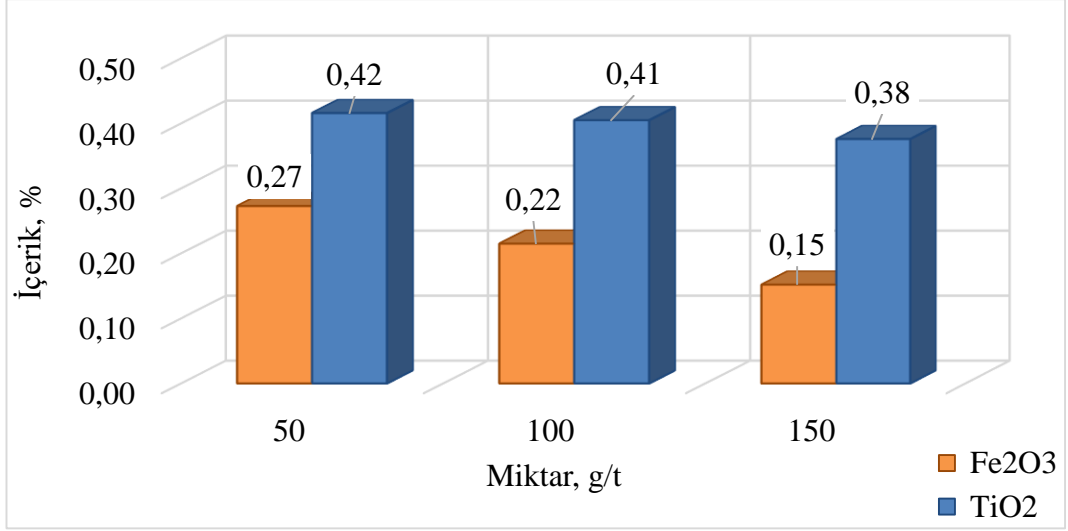
Çizelge 3.3: OCD-9200-14 reaktifinin kullanıldığı flotasyon deneylerinin şartları.

Parametreler	Değerler
Miktar, g/t	50
Kondisyon süresi, dakika	5
Flotasyon süresi, saniye	60
Miktar, g/t	100 (50+50)
Kondisyon süresi, dakika	5 + 5
Flotasyon süresi, saniye	60 + 60
Miktar, g/t	150 (50+50+50)
Kondisyon süresi, dakika	5 + 5 + 5
Flotasyon süresi, saniye	60 + 60 + 60

Çizelge 3.4: OCD-9200-14 reaktifi kullanılarak yapılan flotasyon deneylerinin sonuçları.

Reaktif Miktarı, g/t	Ürünler	Miktar, %	Fe ₂ O ₃ , %		TiO ₂ , %		Na ₂ O, %		K ₂ O, %	
			İ	D	İ	D	İ	D	İ	D
50	Yüzen	1,2	4,17	15,7	3,23	8,7	1,55	0,2	3,93	7,2
	Batan	98,8	0,27	84,3	0,42	91,3	9,83	99,8	0,62	92,8
	Toplam	100,0	0,32	100,0	0,45	100,0	9,73	100,0	0,66	100,0
100	Yüzen	2,6	4,22	34,6	2,12	12,4	2,67	0,7	4,38	17,4
	Batan	97,4	0,22	65,4	0,41	87,6	9,92	99,3	0,56	82,6
	Toplam	100,0	0,32	100,0	0,45	100,0	9,73	100,0	0,66	100,0
150	Yüzen	5,4	3,26	55,1	1,74	21,0	2,91	1,6	3,81	31,2
	Batan	94,6	0,15	44,9	0,38	79,0	10,12	98,4	0,48	68,8
	Toplam	100,0	0,32	100,0	0,45	100,0	9,73	100,0	0,66	100,0

İ : İçerik, D : Dağılım



Şekil 3.6: OCD-9200-14 reaktifi ilavesi ile yapılan flotasyon deneylerinde elde edilen konsantrenin Fe₂O₃ ve TiO₂ değerlerinin değişimi.

Üç farklı reaktif miktarında gerçekleştirilen ve özellikle mika ve demir oksitli mineralleri uzaklaştırmak için OCD-9200-014 reaktifi kullanarak yapılan test sonuçlarına göre, konsantredeki en düşük Fe₂O₃ içeriğine 150 g/t reaktif miktarında ulaşılmıştır. Mika ve demir oksitli minerallerini yüzdürmede nispeten başarılı olan OCD-9200-14 reaktifi titan oksit minerallerinin uzaklaştırılmasında beklediği üzere etkisiz kalmıştır. En uygun reaktif miktarı 150 g/t olarak belirlenmiş, daha yüksek reaktif miktarlarında ise bu safsızlıkların çok daha etkili olarak uzaklaştırılacağı ön görülmektedir. Fakat, bununla birlikte yüksek reaktif miktarlarına çıkıldığında yüzen ürün içerisinde feldspat kaçağı artacağından konsantrenin Na₂O kazanma verimi de düşecektir. Konsantrenin Na₂O içeriği ise reaktif miktarının artmasına paralel olarak yükselmektedir. K₂O dağılımı incelendiğinde, reaktif miktarının artışı ile içeriğin arttığı, yani bir anlamda mika minerallerinin uzaklaştırıldığı anlaşılmaktadır. Yine de feldspat konsantresindeki %31 olan K₂O dağılımına bakıldığında mikaların çok da etkili uzaklaştırılmadığı sonucuna varılabilir.

3.2.1.2 A4 reaktifi ile yapılan flotasyon deneyleri

A4 reaktifi ilavesi ile doğal pH değerinde (7,56) yapılan deneylere ait flotasyon test koşulları Çizelge 3.5'te gösterilmiştir. Flotasyon sonucunda elde edilen ürünlerin Fe₂O₃, TiO₂, Na₂O ve K₂O içerikleri ve dağılımları Çizelge 3.6'da verilmektedir. Üç farklı reaktif miktarına göre Fe₂O₃ ve TiO₂ içeriklerinin değişimi Şekil 3.7'de gösterilmiştir.

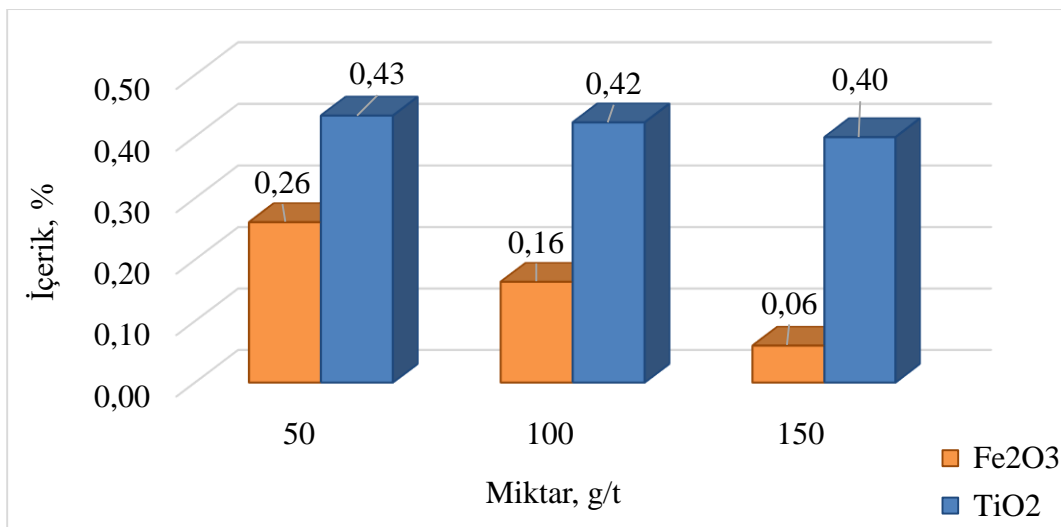
Çizelge 3.5: A4 reaktifinin kullanıldığı flotasyon deneylerinin şartları.

Parametreler	Değerler
Miktar, g/t	50
Kondisyon süresi, dakika	5
Flotasyon süresi, saniye	60
Miktar, g/t	100 (50+50)
Kondisyon süresi, dakika	5 + 5
Flotasyon süresi, saniye	60 + 60
Miktar, g/t	150 (50+50+50)
Kondisyon süresi, dakika	5 + 5 + 5
Flotasyon süresi, saniye	60 + 60 + 60

Çizelge 3.6: A4 reaktifi kullanılarak yapılan flotasyon deneylerinin sonuçları.

Reaktif Miktarı, g/t	Ürünler	Miktar, %	Fe ₂ O ₃ , %		TiO ₂ , %		Na ₂ O, %		K ₂ O, %	
			İ	D	İ	D	İ	D	İ	D
50	Yüzen	1,1	6,10	19,3	2,02	4,5	1,89	0,2	8,50	13,0
	Batan	98,9	0,26	80,7	0,43	95,5	9,81	99,8	0,58	87,0
	Toplam	100,0	0,32	100,0	0,45	100,0	9,73	100,0	0,66	100,0
100	Yüzen	3,7	4,35	50,6	1,16	9,4	2,40	0,9	6,68	37,3
	Batan	96,3	0,16	49,4	0,42	90,6	10,01	99,1	0,43	62,7
	Toplam	100,0	0,32	100,0	0,45	100,0	9,73	100,0	0,66	100,0
150	Yüzen	11,5	2,32	83,4	0,84	21,5	5,58	6,6	3,43	59,8
	Batan	88,5	0,06	16,6	0,40	78,5	10,27	93,4	0,30	40,2
	Toplam	100,00	0,32	100,0	0,45	100,0	9,73	100,00	0,66	100,00

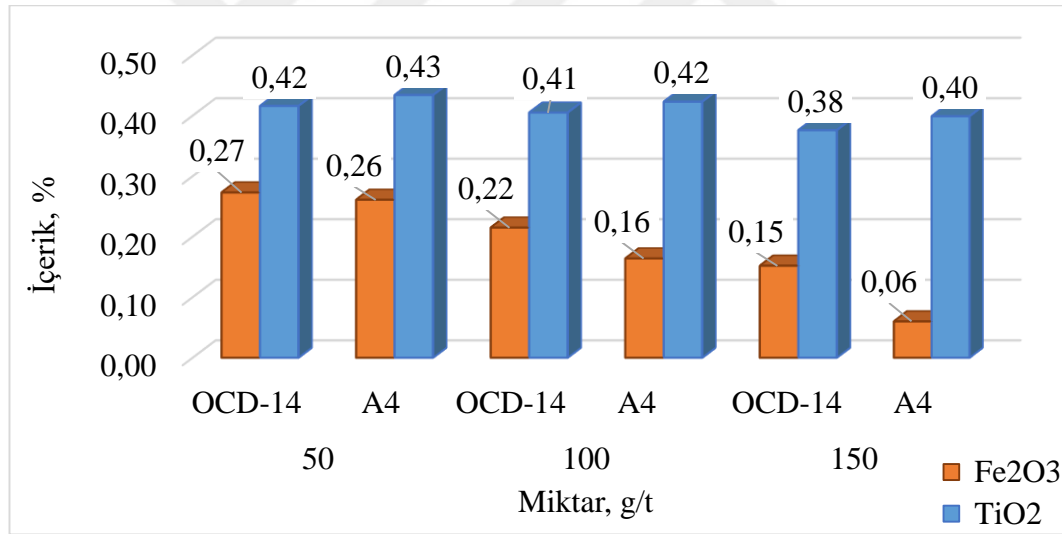
İ : İçerik, D : Dağılım



Şekil 3.7: A4 reaktifi ilavesi ile yapılan flotasyon deneylerinde elde edilen konsantrenin Fe₂O₃ ve TiO₂ değerlerinin değişimi.

Farklı reaktif miktarında gerçekleştirilen, mika ve demir oksit minerallerini uzaklaştırmak için A4 reaktifini kullanarak yapılan test sonuçlarına göre, konsantredeki en düşük Fe_2O_3 içeriğine benzer olarak 150 g/t reaktif miktarında ulaşılmıştır. OCD-9200-14 reaktifi gibi A4 reaktifi de titan oksit minerallerinin uzaklaştırılmasında etkisiz kalmıştır. En uygun reaktif miktarı 150 g/t olarak belirlenmiş, daha yüksek reaktif miktarlarında ise bu değerlerin daha da düşeceği düşünülmektedir. Reaktif miktarı artmasıyla beraber yüzen ürün içerisinde feldspat kaçağı artmış (OCD-9200-14 göre yaklaşık iki kat) ve Na_2O kazanma verimi ise bir önceki reaktifte göre daha fazla oranda düşmüştür. K_2O dağılımına bakıldığında A4 reaktifinin OCD-9200-14 reaktifine göre mika minerallerini çok daha etkili olarak uzaklaştırdığı anlaşılmaktadır. Ancak, yine de feldspat konsantresindeki K_2O dağılımına bakıldığında ciddi miktarda mikanın bulunduğu anlaşılmaktadır.

Feldspat konsantrelerindeki Fe_2O_3 ve TiO_2 içeriklerinin farklı katyonik reaktif türü ve miktarlarına göre değişimi Şekil 3.8'de gösterilmektedir.



Şekil 3.8: OCD-9200-14 ve A4 reaktifi ilavesi ile yapılan flotasyon deneylerinde elde edilen konsantrelerin Fe_2O_3 ve TiO_2 değerlerinin değişimi.

Katyonik reaktif ilavesiyle yapılan flotasyon deneyleri incelendiğinde Fe_2O_3 içeriğinin artan reaktif miktarıyla ciddi oranda azaldığı görülmüştür. Demir oksit minerallerinin ve mikanın uzaklaştırılmasında A4 reaktifi daha etkili bulunmuştur. Katyonik reaktiflerle yapılan deneylerde demir mineralleri yüzdürülerek uzaklaştırılabilirken titan oksit mineralleri etkilenmeyerek hücrede feldspat konsantresi ile birlikte kalmıştır.

3.2.2 Anyonik reaktiflerle yapılan tek kademeli flotasyon deneyleri

Doğal pH değerinde yapılan deneylerde %10'luk çözeltiler halinde hazırlanan Altapyne M32, Altapyne M28, Derna-7, 2404, 2408 ve 2410 reaktifleri kullanılmıştır.

3.2.2.1 M32 reaktifi ile yapılan flotasyon deneyleri

Doğal pH ortam koşullarında (7,54) M32 reaktifi kullanılarak yapılan flotasyon deneylerine ait koşullar Çizelge 3.7'de gösterilmiştir. Çizelge 3.8'de Fe₂O₃, TiO₂, Na₂O ve K₂O içerikleri ve dağılımları gösterilmiştir. Her bir aşama için Fe₂O₃ ve TiO₂ değerlerine ait değişim grafiği Şekil 3.9'da gösterilmiştir.

Çizelge 3.7: M32 reaktifinin kullanıldığı flotasyon deneylerinin şartları.

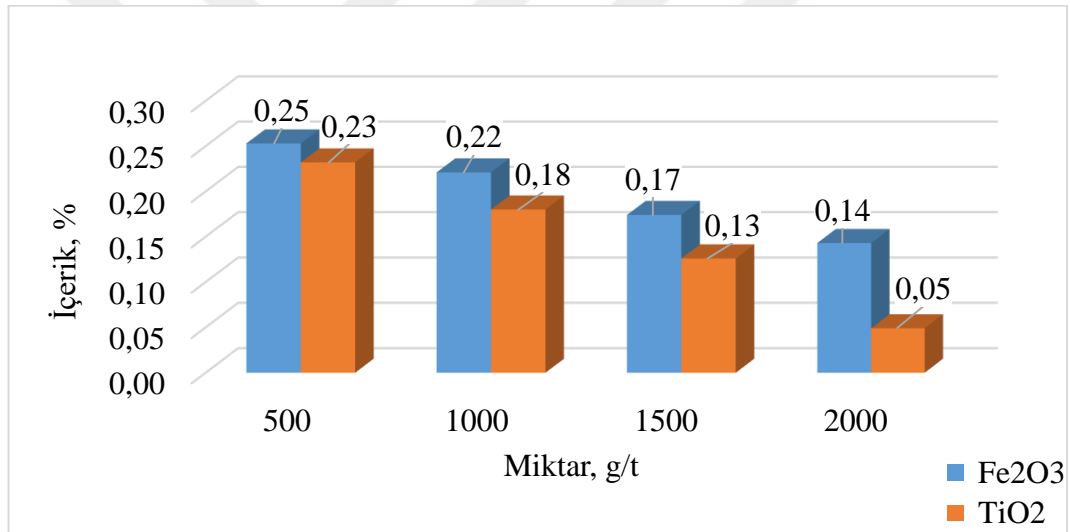
Parametreler	Değerler
Miktar, g/t	500
Kondisyon süresi, dakika	5
Flotasyon süresi, saniye	60
Miktar, g/t	1000 (500+500)
Kondisyon süresi, dakika	5 + 5
Flotasyon süresi, saniye	60 + 60
Miktar, g/t	1500 (500+500+500)
Kondisyon süresi, dakika	5 + 5 + 5
Flotasyon süresi, saniye	60 + 60 + 60
Miktar, g/t	2000 (500+500+500+500)
Kondisyon süresi, dakika	5 + 5 + 5 + 5
Flotasyon süresi, saniye	60 + 60 + 60 + 60

Dört farklı reaktif miktarında gerçekleştirilen, mika ve oksitli mineralleri uzaklaştırmak için M32 reaktifi kullanarak yapılan test sonuçlarına göre, konsantredeki en düşük Fe₂O₃ içeriğine 2000 g/t reaktif miktarında ulaşılmıştır. TiO₂ içeriğinde en sert düşüş 2000 g/t reaktif miktarı ilavesi ile olmuştur, fakat feldspat konsantrasi miktarındaki kayıp %3,6'dan %17,4'e çıkmıştır. Reaktif miktarı arttıkça Fe₂O₃ ve TiO₂ içeriği düşmekte, ancak safsızlıklarla yüzen feldspat miktarı artmaktadır. Bu reaktif özellikle TiO₂ uzaklaştırmada oldukça başarılıdır.

Çizelge 3.8: M32 reaktifi kullanılarak yapılan flotasyon deneylerinin sonuçları.

Reaktif Miktarı, g/t	Ürünler	Miktar, %	Fe ₂ O ₃ , %		TiO ₂ , %		Na ₂ O, %		K ₂ O, %	
			İ	D	İ	D	İ	D	İ	D
500	Yüzen	2,0	3,56	22,5	11,00	49,5	2,95	0,6	5,02	15,4
	Batan	98,0	0,25	77,5	0,23	50,5	9,87	99,4	0,57	84,6
	Toplam	100,0	0,32	100,0	0,45	100,0	9,73	100,0	0,66	100,0
1000	Yüzen	2,3	4,68	32,5	12,33	59,6	1,37	0,3	5,50	18,5
	Batan	97,7	0,22	67,5	0,18	38,3	9,92	99,7	0,55	81,5
	Toplam	100,0	0,32	100,0	0,45	97,8	9,73	100,0	0,66	100,0
1500	Yüzen	3,6	4,18	47,6	9,02	73,0	1,80	0,7	4,89	27,0
	Batan	96,4	0,17	52,4	0,13	27,0	10,03	99,3	0,50	73,0
	Toplam	100,0	0,32	100,0	0,45	100,0	9,73	100,0	0,66	100,0
2000	Yüzen	17,4	1,16	63,4	2,34	90,7	7,81	14,0	1,95	51,6
	Batan	82,6	0,14	36,6	0,05	9,3	10,21	86,0	0,39	48,4
	Toplam	100,0	0,32	100,0	0,45	100,0	9,73	100,0	0,66	100,0

İ : İçerik, D : Dağılım



Şekil 3.9: M32 reaktifi ilavesi ile yapılan flotasyon deneylerinde elde edilen konsantrenin Fe₂O₃ ve TiO₂ değerlerinin değişimi.

Na₂O içeriği ise reaktif miktarının artmasına paralel olarak yükselirken, yüzen ürün içerisinde feldspat kaçak miktarı arttığı için 1500 g/t reaktif miktarından sonra verim düşüşe geçmektedir. K₂O dağılımı incelendiğinde reaktif miktarının artışı ile bu değerlerin arttığı ve mikanın da etkili olarak uzaklaştırıldığı anlaşılmaktadır.

3.2.2.2 M28 reaktifi ile yapılan flotasyon deneyleri

M28 reaktif ilavesi ile doğal pH değerinde (7,70) yapılan deneylere ait flotasyon test koşulları Çizelge 3.9’da gösterilmiştir. Çizelge 3.10’da flotasyon sonucunda elde edilen ürünlerin Fe₂O₃, TiO₂, Na₂O ve K₂O içerikleri ve dağılımları verilmektedir. Reaktif miktarına göre Fe₂O₃ ve TiO₂ içeriklerinin değişimi ise Şekil 3.10’da gösterilmiştir.

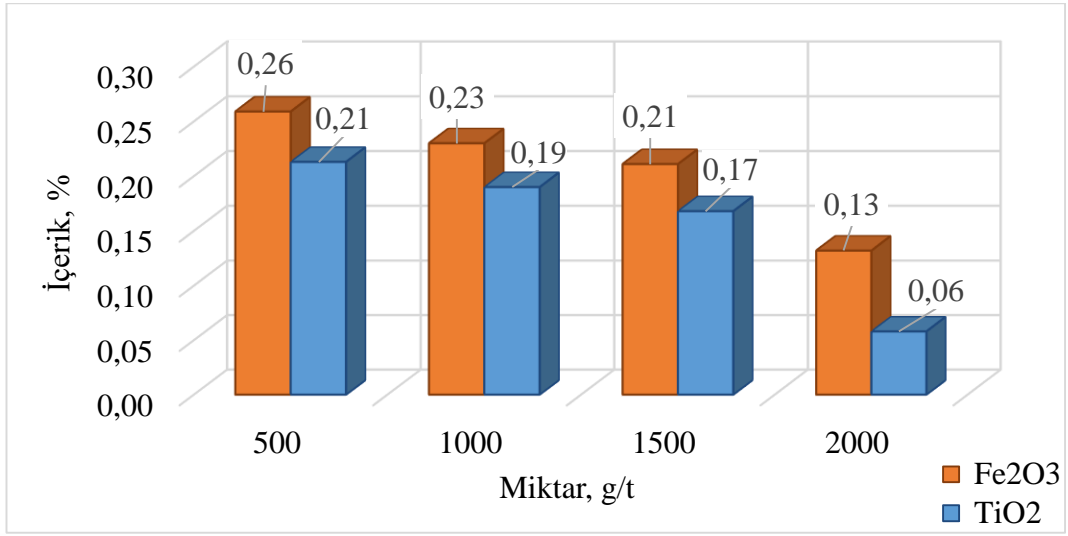
Çizelge 3.9: M28 reaktifinin kullanıldığı flotasyon deneylerinin şartları.

Parametreler	Değerler
Miktar, g/t	500
Kondisyon süresi, dakika	5
Flotasyon süresi, saniye	60
Miktar, g/t	1000 (500+500)
Kondisyon süresi, dakika	5 + 5
Flotasyon süresi, saniye	60 + 60
Miktar, g/t	1500 (500+500+500)
Kondisyon süresi, dakika	5 + 5 + 5
Flotasyon süresi, saniye	60 + 60 + 60
Miktar, g/t	2000 (500+500+500+500)
Kondisyon süresi, dakika	5 + 5 + 5 + 5
Flotasyon süresi, saniye	60 + 60 + 60 + 60

Çizelge 3.10: M28 reaktifi kullanılarak yapılan flotasyon deneylerinin sonuçları.

Reaktif Miktarı, g/t	Ürünler	Miktar, %	Fe ₂ O ₃ , %		TiO ₂ , %		Na ₂ O, %		K ₂ O, %	
			İ	D	İ	D	İ	D	İ	D
500	Yüzen	1,61	4,06	20,4	14,97	53,4	0,54	0,1	4,34	10,5
	Batan	98,39	0,26	79,6	0,21	46,6	9,88	99,9	0,60	89,5
	Toplam	100,00	0,32	100,0	0,45	100,0	9,73	100,0	0,66	100,0
1000	Yüzen	2,41	3,97	29,9	10,98	58,8	2,04	0,5	4,31	15,7
	Batan	97,59	0,23	70,1	0,19	41,2	9,92	99,5	0,57	84,3
	Toplam	100,00	0,32	100,0	0,45	100,0	9,73	100,0	0,66	100,0
1500	Yüzen	3,02	3,82	36,1	9,49	63,8	2,68	0,8	4,19	19,2
	Batan	96,98	0,21	63,9	0,17	36,2	9,95	99,2	0,55	80,8
	Toplam	100,00	0,32	100,0	0,45	100,0	9,73	100,0	0,66	100,0
2000	Yüzen	12,1	1,68	63,8	3,29	88,7	9,51	11,9	2,40	44,1
	Batan	87,9	0,13	36,2	0,06	11,3	9,76	88,1	0,42	55,9
	Toplam	100,0	0,32	100,0	0,45	100,0	9,73	100,0	0,66	100,0

İ : İçerik, D : Dağılım



Şekil 3.10: M28 reaktifi ilavesi ile yapılan flotasyon deneylerinde elde edilen konsantrenin Fe₂O₃ ve TiO₂ değerlerinin değişimi.

Dört farklı reaktif miktarında gerçekleştirilen, mika ve oksitli mineralleri uzaklaştırmak için M28 reaktifi kullanarak yapılan test sonuçlarına göre, konsantredeki en düşük Fe₂O₃ içeriğine 2000 g/t reaktif miktarında ulaşılmıştır. M32 reaktifi gibi TiO₂ içeriklerindeki en sert düşüş 2000 g/t reaktif miktarında olmuştur ve %0,06 TiO₂ içerikli bir konsantre üretilmiştir. Feldspat kaçak oranında ise M32 reaktifine benzer özellik göstermektedir. 1500 g/t'dan 2000 g/t reaktif miktarına çıkıldığında yüzen miktar oranı yaklaşık 4 kat artmıştır. Bu nedenle en uygun reaktif miktarı 1500 g/t olarak belirlenmiştir. Bu reaktif miktarında Na₂O içeriği ve verimi oldukça yüksektir. Reaktif miktarı arttıkça yüzen ürün içerisinde feldspat kaçağı artacağından Na₂O kazanma verimi düşüşe geçmektedir. K₂O dağılımları incelendiğinde ise artan reaktif miktarına göre bu değerlerin yükseldiği görülmüştür. Feldspat konsantresindeki %80,8 olan K₂O verimine dağılımına bakıldığında mika minerallerinin çok etkili olarak uzaklaştırılmadığı sonucuna varılabilir.

3.2.2.3 Derna-7 reaktifi ile yapılan flotasyon deneyleri

Doğal pH ortam koşullarında (7,72) Derna-7 reaktifi kullanılarak yapılan flotasyon deneyi koşulları Çizelge 3.11'de gösterilmiştir. Çizelge 3.12'de Fe₂O₃, TiO₂, Na₂O ve K₂O içerikleri ve dağılımları gösterilmiştir. Her bir aşama için sadece Fe₂O₃ ve TiO₂ değerlerine ait değişim grafiği Şekil 3.11'de gösterilmiştir.

Çizelge 3.11: Derna-7 reaktifinin kullanıldığı flotasyon deneylerinin şartları.

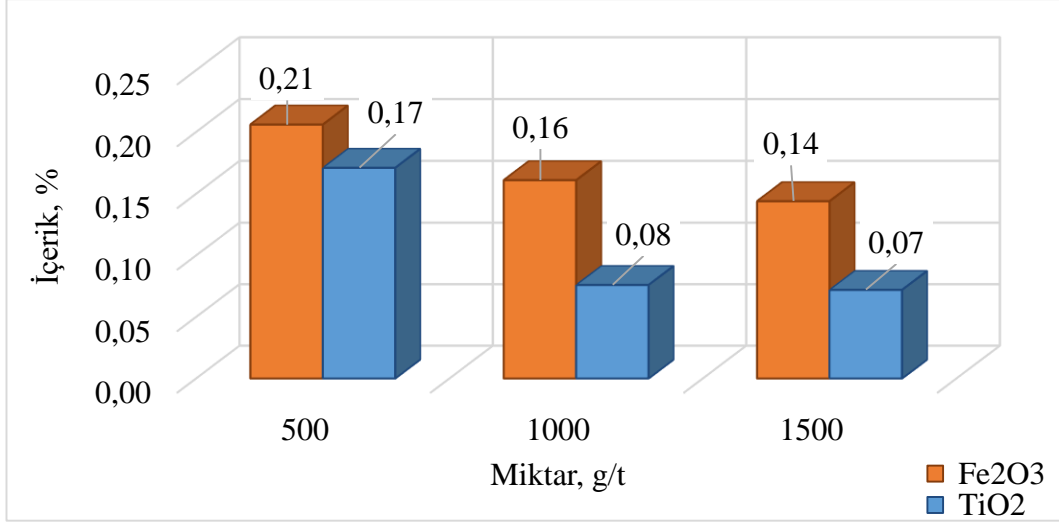
Parametreler	Değerler
Miktar, g/t	500
Kondisyon süresi, dakika	5
Flotasyon süresi, saniye	60
Miktar, g/t	1000 (500+500)
Kondisyon süresi, dakika	5 + 5
Flotasyon süresi, saniye	60 + 60
Miktar, g/t	1500 (500+500+500)
Kondisyon süresi, dakika	5 + 5 + 5
Flotasyon süresi, saniye	60 + 60 + 60

Çizelge 3.12: Derna-7 reaktifi kullanılarak yapılan flotasyon deneylerinin sonuçları.

Reaktif Miktarı, g/t	Ürünler	Miktar, %	Fe ₂ O ₃ , %		TiO ₂ , %		Na ₂ O, %		K ₂ O, %	
			İ	D	İ	D	İ	D	İ	D
500	Yüzen	5,5	2,30	39,1	5,29	64,1	0,89	0,5	2,74	22,64
	Batan	94,5	0,21	60,9	0,17	35,9	10,24	99,5	0,54	77,36
	Toplam	100,0	0,32	100,0	0,45	100,0	9,73	100,0	0,66	100,00
1000	Yüzen	6,3	2,70	52,8	6,05	84,2	1,35	0,9	3,05	28,99
	Batan	93,7	0,16	47,2	0,08	15,8	10,29	99,1	0,50	71,01
	Toplam	100,0	0,32	100,0	0,45	100,0	9,73	100,0	0,66	100,00
1500	Yüzen	7,7	2,44	58,4	5,01	85,2	2,98	2,3	2,95	34,24
	Batan	92,3	0,14	41,6	0,07	14,8	10,29	97,7	0,47	65,76
	Toplam	100,0	0,32	100,0	0,45	100,0	9,73	100,0	0,66	100,00

İ : İçerik, D : Dağılım

Üç farklı reaktif miktarında gerçekleştirilen flotasyon deneylerinin sonuçlarına göre, Derna-7 reaktifinin miktarının artmasıyla feldspat konsantresi içerisindeki Fe₂O₃ ve TiO₂ içeriklerinin düştüğü görülmektedir. Daha çok titan oksitli safsızlıkların uzaklaştırılmasında kullanılan bu reaktif için en uygun reaktif miktarının 1000 g/t olduğu söylenebilir. Daha yüksek reaktif miktarlarında yüzen ürün ile birlikte feldspat kaçağı artacağından Na₂O kazanma verimi de düşecektir. Na₂O içeriği ise reaktif miktarının artmasına paralel olarak %10,29'a kadar yükselmiştir. Feldspat konsantresindeki K₂O dağılımına bakıldığında mikaların bu reaktif ile etkili olarak uzaklaştırılmadığı sonucuna varılabilir.



Şekil 3.11: Derna-7 reaktifi ilavesi ile yapılan flotasyon deneylerinde elde edilen konsantrenin Fe₂O₃ ve TiO₂ değerlerinin değişimi.

3.2.2.4 2404 reaktifi ile yapılan flotasyon deneyleri

Ticari amaçlı kullanılan 2404 reaktifi, flotasyon uygulamalarında feldspat ve silis kumu gibi minerallerdeki oksitli minerallerin doğrudan yüzdürülmesi için özel olarak tasarlanmış anyonik bir toplayıcıdır. 2404 ile doğal pH değerinde (7,52) yapılan deneylere ait flotasyon test koşulları Çizelge 3.13'te gösterilmiştir. Çizelge 3.14'te flotasyon sonucunda elde edilen ürünlerin Fe₂O₃, TiO₂, Na₂O ve K₂O içerikleri ve dağılımları verilmektedir. Reaktif miktarına göre Fe₂O₃ ve TiO₂ içeriklerinin değişimi ise Şekil 3.12'de gösterilmiştir.

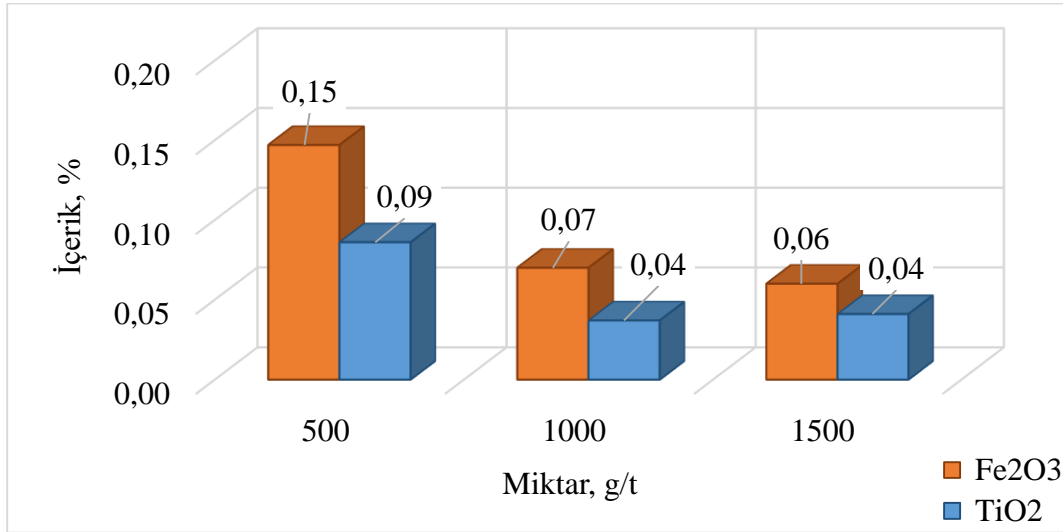
Çizelge 3.13: 2404 reaktifinin kullanıldığı flotasyon deneylerinin şartları.

Parametreler	Değerler
Miktar, g/t	500
Kondisyon süresi, dakika	5
Flotasyon süresi, saniye	90
Miktar, g/t	1000 (500+500)
Kondisyon süresi, dakika	5 + 5
Flotasyon süresi, saniye	90 + 90
Miktar, g/t	1500 (500+500+500)
Kondisyon süresi, dakika	5 + 5 + 5
Flotasyon süresi, saniye	90 + 90 + 90

Çizelge 3.14: 2404 reaktifi kullanılarak yapılan flotasyon deneylerinin sonuçları.

Reaktif Miktarı, Ürünler g/t	Miktar, %	Fe ₂ O ₃ , %		TiO ₂ , %		Na ₂ O, %		K ₂ O, %		
		İ	D	İ	D	İ	D	İ	D	
500	Yüzen	10,2	1,84	58,8	3,64	82,8	5,26	5,5	2,33	36,1
	Batan	89,8	0,15	41,2	0,09	17,2	10,24	94,5	0,47	63,9
	Toplam	100,0	0,32	100,0	0,45	100,0	9,73	100,0	0,66	100,0
1000	Yüzen	16,1	1,62	81,6	2,60	93,1	6,50	10,8	2,33	56,8
	Batan	83,9	0,07	18,4	0,04	6,9	10,35	89,2	0,34	43,2
	Toplam	100,0	0,32	100,0	0,45	100,0	9,73	100,0	0,66	100,0
1500	Yüzen	16,4	1,65	84,3	2,53	92,4	6,31	10,6	2,14	53,1
	Batan	83,6	0,06	15,7	0,04	7,6	10,40	89,4	0,37	46,9
	Toplam	100,0	0,32	100,0	0,45	100,0	9,73	100,0	0,66	100,0

İ : İçerik, D : Dağılım



Şekil 3.12: 2404 reaktifi ilavesi ile yapılan flotasyon deneylerinde elde edilen konsantrenin Fe₂O₃ ve TiO₂ değerlerinin değişimi.

Üç farklı reaktif miktarında gerçekleştirilen, mika ve renkli safsızlıkları (demir ve titan oksit minerallerini) uzaklaştırmak için 2404 reaktifi kullanarak yapılan test sonuçlarına göre, konsantredeki en düşük Fe₂O₃ içeriğine 1500 g/t reaktif miktarında ulaşılmıştır. TiO₂ içeriği 1000 g/t ve 1500 g/t reaktif miktarları kullanıldığında %0,04'e kadar düşmüştür. Bu iki reaktif miktarı kıyaslandığında Na₂O kayıpları birbirine çok yakındır. Reaktif miktarı artarken Na₂O kazanma verimi bir miktar düşmekte ancak konsantredeki Na₂O içeriği reaktif miktarının artmasına paralel olarak yükselmektedir. Veriminin azalma nedeni 500 g/t'dan yüksek reaktif konsantrasyonlarında feldspatın minerallerinin yüzdürülerek kaybedilmesidir. K₂O verimlerine bakıldığında en uygun reaktif miktarının 1000 g/t olduğu anlaşılmaktadır.

3.2.2.5 2408 reaktifi ile yapılan flotasyon deneyleri

2408 reaktifi feldspat gibi silikat cevherlerinden ağır minerallerin seçici yüzdürülmesi için tasarlanmış, oksit mineralleri flotasyonu için tescilli ve formüle edilmiş bir toplayıcıdır. 2024 gibi endüstriyel reaktiflerin farklı yağ asidi ile farklı özellik kazanan reaktif türünden olan ve doğal pH değeri (7,63) ile yapılan flotasyon deneylerinin koşulları Çizelge 3.15'te gösterilmiştir. Fe₂O₃, TiO₂, Na₂O ve K₂O içerikleri ve dağılımları Çizelge 3.16'da gösterilmiştir. Reaktif miktarına göre Fe₂O₃ ve TiO₂ içeriklerinin değişimi ise Şekil 3.13'te gösterilmiştir.

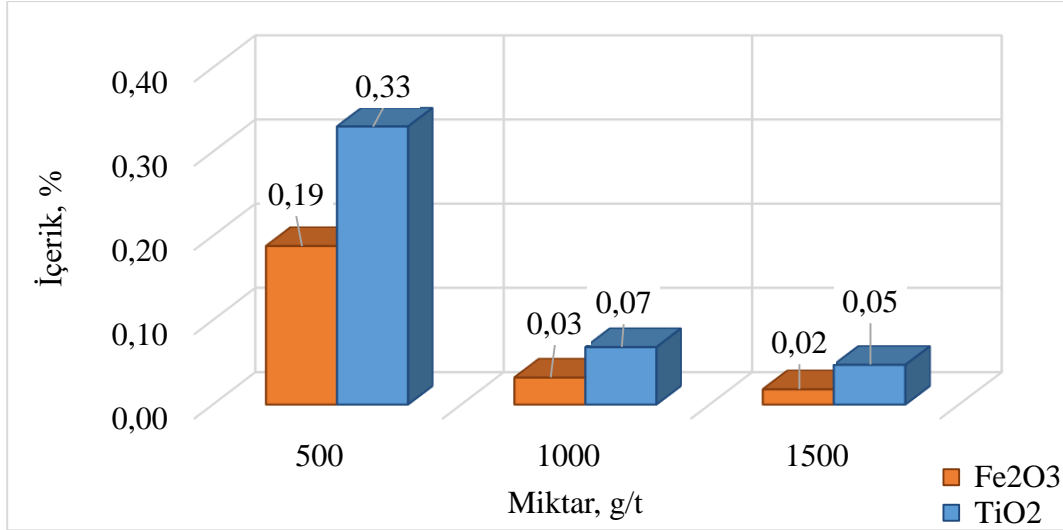
Çizelge 3.15: 2408 reaktifinin kullanıldığı flotasyon deneylerinin şartları.

Parametreler	Değerler
Miktar, g/t	500
Kondisyon süresi, dakika	5
Flotasyon süresi, saniye	90
Miktar, g/t	1000 (500+500)
Kondisyon süresi, dakika	5 + 5
Flotasyon süresi, saniye	90 + 90
Miktar, g/t	1500 (500+500+500)
Kondisyon süresi, dakika	5 + 5 + 5
Flotasyon süresi, saniye	90 + 90 + 90

Çizelge 3.16: 2408 reaktifi kullanılarak yapılan flotasyon deneylerinin sonuçları.

Reaktif Miktarı, g/t	Ürünler	Miktar, %	Fe ₂ O ₃ , %		TiO ₂ , %		Na ₂ O, %		K ₂ O, %	
			İ	D	İ	D	İ	D	İ	D
500	Yüzen	5,4	2,63	44,4	2,55	30,6	2,21	1,2	3,81	31,2
	Batan	94,6	0,19	55,6	0,33	69,4	10,16	98,8	0,48	68,8
	Toplam	100,0	0,32	100,0	0,45	100,0	9,73	100,0	0,66	100,0
1000	Yüzen	13,5	2,17	91,3	2,91	86,9	5,03	7,0	3,23	65,9
	Batan	86,5	0,03	8,7	0,07	13,1	10,46	93,0	0,26	34,1
	Toplam	100,0	0,32	100,0	0,45	100,0	9,73	100,0	0,66	100,0
1500	Yüzen	26,1	1,17	95,8	1,59	92,3	7,58	20,3	1,82	72,0
	Batan	73,9	0,02	4,2	0,05	7,7	10,49	79,7	0,25	28,0
	Toplam	100,0	0,32	100,0	0,45	100,0	9,73	100,0	0,66	100,0

İ: İçerik, D : Dağılım



Şekil 3.13: 2408 reaktifi ilavesi ile yapılan flotasyon deneylerinde elde edilen konsantrenin Fe₂O₃ ve TiO₂ değerlerinin değişimi.

Üç farklı reaktif miktarında gerçekleştirilen, renkli safsızlıkları (demir ve titan oksit minerallerini) ve mika minerallerini uzaklaştırmak için 2408 reaktifi kullanarak yapılan test sonuçlarına göre, konsantredeki en düşük Fe₂O₃ içeriğine 1500 g/t reaktif miktarında ulaşılmıştır. Fakat, bu değerde yüzen ürünün miktarı %26,1'e yükselmiş, yüzen ürün içerisinde feldspat kaçağı arttığı için Na₂O kazanma verimi çok azalmıştır. Reaktif miktarının artışı ile yüzen ürünlerdeki K₂O verimleri artmış ve mika mineralleri etkili olarak uzaklaştırılmıştır. Yüzen ürün miktarının 1000 g/t'dan 1500 g/t'a arttırılan reaktif ilavesi ile yaklaşık iki kat arttığı düşünüldüğünde en uygun reaktif miktarının 1000 g/t olduğu ortaya çıkmaktadır. Bu reaktif mika minerallerinin uzaklaştırılmasında da 2404 reaktifine göre nispeten daha başarılıdır.

3.2.2.6 2410 reaktifi ile yapılan flotasyon deneyleri

2410 reaktifi feldspat flotasyonunda ağır minerallerin yüzdürülmesi amacıyla kullanılan bir toplayıcıdır. Çizelge 3.17'de farklı yağ asidi sıralanışına sahip olan 2410 reaktifiyle doğal pH değerinde (7,70) yapılan flotasyon deneylerine ait koşullar gösterilmiştir. Fe₂O₃, TiO₂, Na₂O ve K₂O içerikleri ve dağılımları Çizelge 3.18'de gösterilmiştir. Reaktif miktarına göre Fe₂O₃ ve TiO₂ içeriklerinin değişimi ise Şekil 3.14'te gösterilmiştir.

Çizelge 3.17: 2410 reaktifinin kullanıldığı flotasyon deneylerinin şartları.

Parametreler	Değerler
Miktar, g/t	500
Kondisyon süresi, dakika	5
Flotasyon süresi, saniye	90
Miktar, g/t	1000 (500+500)
Kondisyon süresi, dakika	5 + 5
Flotasyon süresi, saniye	90 + 90
Miktar, g/t	1500 (500+500+500)
Kondisyon süresi, dakika	5 + 5 + 5
Flotasyon süresi, saniye	90 + 90 + 90

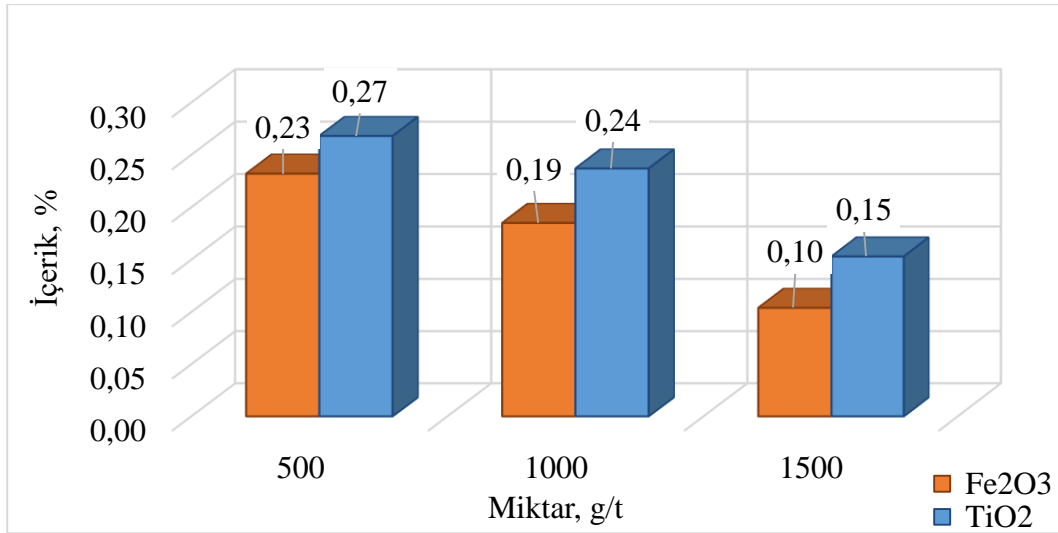
Üç farklı reaktif miktarında gerçekleştirilen, renkli safsızlıkları (demir ve titan oksit minerallerini) ve mika minerallerini uzaklaştırmak için 2410 reaktifi kullanarak yapılan test sonuçlarına göre, konsantredeki en düşük Fe₂O₃ içeriğine 1500 g/t reaktif miktarında ulaşılmıştır.

Çizelge 3.18: 2410 reaktifi kullanılarak yapılan flotasyon deneylerinin sonuçları.

Reaktif Miktarı, g/t	Ürünler	Miktar, %	Fe ₂ O ₃ , %		TiO ₂ , %		Na ₂ O, %		K ₂ O, %	
			İ	D	İ	D	İ	D	İ	D
500	Yüzen	3,4	2,80	30,0	5,59	42,5	2,95	1,0	4,05	21,0
	Batan	96,6	0,23	70,0	0,27	57,5	9,97	99,0	0,54	79,0
	Toplam	100,0	0,32	100,0	0,45	100,0	9,73	100,0	0,66	100,0
1000	Yüzen	5,2	2,77	45,2	4,31	50,1	3,03	1,6	4,46	35,4
	Batan	94,8	0,19	54,8	0,24	49,9	10,10	98,4	0,45	64,6
	Toplam	100,0	0,32	100,0	0,45	100,0	9,73	100,0	0,66	100,0
1500	Yüzen	7,4	3,01	69,9	4,14	68,5	2,39	1,8	4,51	50,9
	Batan	92,6	0,10	30,1	0,15	31,5	10,32	98,2	0,35	49,1
	Toplam	100,0	0,32	100,0	0,45	100,0	9,73	100,0	0,66	100,0

İ : İçerik, D : Dağılım

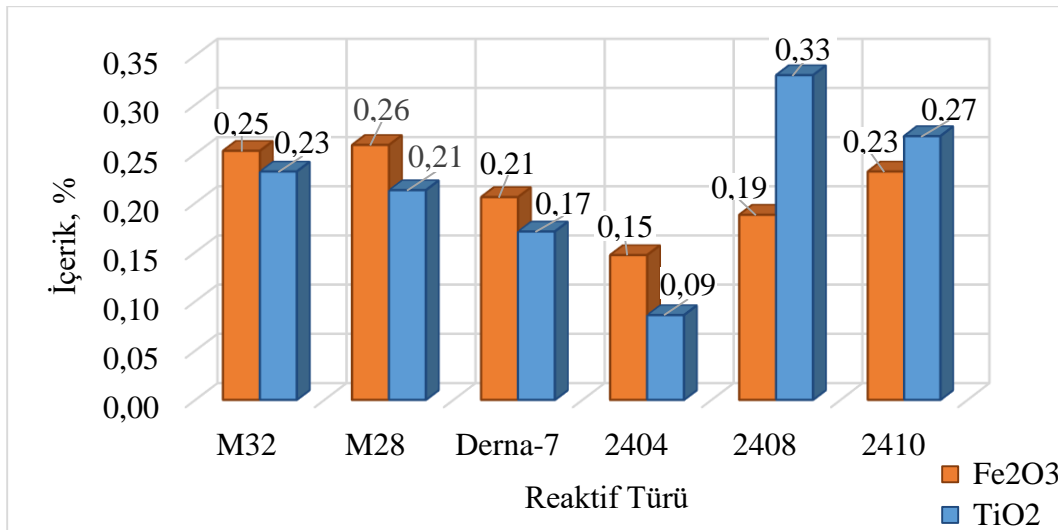
Reaktif miktarının artmasıyla feldspat konsantresindeki titan oksit içerikleri düşmektedir. Demir ve titan oksit için en uygun reaktif miktarı 1500 g/t olarak belirlenmiş, daha yüksek reaktif miktarlarında ise bu değerlerin daha da düşeceği ön görülmektedir.



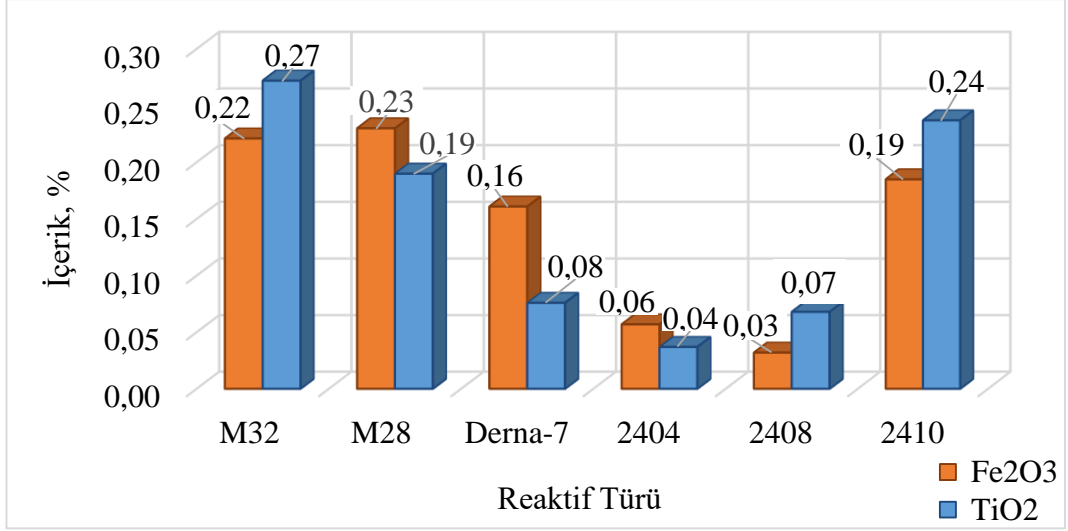
Şekil 3.14: 2410 reaktifi ilavesi ile yapılan flotasyon deneylerinde elde edilen konsantrenin Fe₂O₃ ve TiO₂ değerlerinin değişimi.

Fakat, yüksek reaktif miktarlarında yüzen ürün içerisinde feldspat kaçağı artacağından Na₂O kazanma verimi de paralel olarak düşecektir. K₂O uzaklaştırma verimlerine bakıldığında reaktif miktarının artışı ile bu değerlerin arttığı ve mika minerallerinin daha etkili olarak uzaklaştırıldığı görülmektedir.

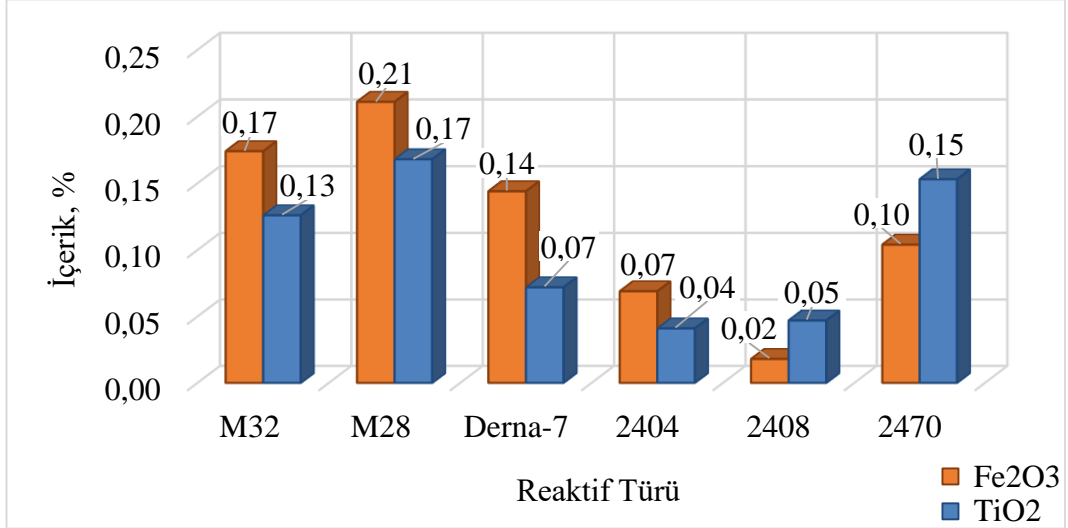
Anyonik reaktifler tek kademedeki yapılan tüm deneylere ait sonuçların karşılaştırılabilmesi amacıyla farklı reaktif miktarlarında elde edilen konsantrelerin Fe₂O₃ ve TiO₂ içerikleri ve dağılımları Şekil 3.15, Şekil 3.16 ve Şekil 3.17’de gösterilmiştir.



Şekil 3.15: 500 g/t anyonik reaktif ilavesi ile yapılan flotasyon deneylerinde elde edilen konsantrenin Fe₂O₃ ve TiO₂ değerlerinin değişimi.



Şekil 3.16: 1000 g/t anyonik reaktifi ilavesi ile yapılan flotasyon deneylerinde elde edilen konsantrenin Fe₂O₃ ve TiO₂ değerlerinin değişimi.



Şekil 3.17: 1500 g/t anyonik reaktifi ilavesi ile yapılan flotasyon deneylerinde elde edilen konsantrenin Fe₂O₃ ve TiO₂ değerlerinin değişimi.

3.2.3 Katyonik ve anyonik reaktiflerin ilave edilme sırasının incelendiği çift kademeli flotasyon deneyleri

Tek kademeli flotasyon deneylerinin sonuçlarına göre renkli safsızlıkları uzaklaştırma en etkili reaktifler belirlenmiş olup, katyonik ve anyonik reaktiflerin flotasyon hücresine ilave edilme sırası değiştirilerek çift kademeli flotasyon deneyleri yapılmış ve sonuçlar irdelenmiştir.

3.2.3.1 Derna-7 ve A4 reaktifi ile yapılan flotasyon deneyleri

Doğal pH ortam koşullarında (7,57) yapılan Derna-7 ve A4 reaktiflerinin ilavesi ile yapılan flotasyon deneylerindeki koşullar Çizelge 3.19’da gösterilmiştir. Çizelge 3.20’de Fe₂O₃, TiO₂, Na₂O ve K₂O içerikleri ve dağılımları gösterilmiştir. Her bir reaktif türü için sadece Fe₂O₃ ve TiO₂ değerlerine ait Derna-7 ve A4 değişim grafiği Şekil 3.18’de gösterilmiştir.

Çizelge 3.19: Derna-7 ve A4 reaktiflerinin kullanıldığı flotasyon deneylerinin şartları.

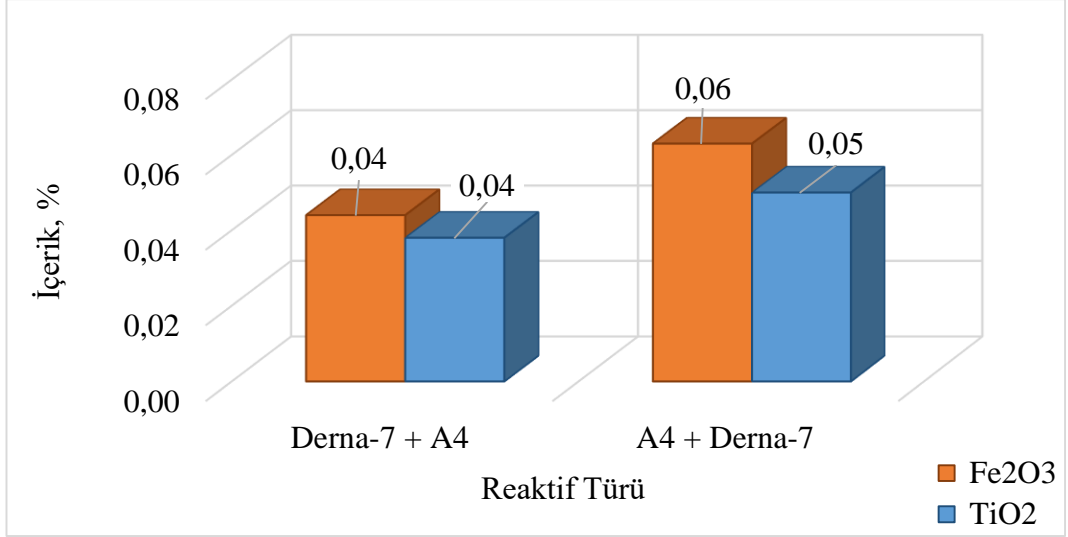
Parametreler	Değerler
Reaktif Sırası	Derna-7 + A4
Miktar, g/t	1000 + 100
Kondisyon süresi, dakika	5 + 5
Flotasyon süresi, saniye	60 + 60
Reaktif Sırası	A4 + Derna-7
Miktar, g/t	100 + 1000
Kondisyon süresi, dakika	5 + 5
Flotasyon süresi, saniye	60 + 60

Çizelge 3.20: Derna-7 ve A4 reaktifi kullanılarak yapılan çift kademeli flotasyon deneylerinin sonuçları.

Reaktif Miktarı, g/t	Ürünler	Miktar, %	Fe ₂ O ₃ , %		TiO ₂ , %		Na ₂ O, %		K ₂ O, %	
			İ	D	İ	D	İ	D	İ	D
Derna-7 + A4	Yüzen	13,8	2,05	88,1	3,03	92,7	6,66	9,4	3,10	64,7
	Batan	86,2	0,04	11,9	0,04	7,3	10,22	90,6	0,27	35,3
	Toplam	100,0	0,32	100,0	0,45	100,0	9,73	100,0	0,66	100,0
A4 + Derna-7	Yüzen	12,2	2,17	82,7	3,34	90,2	5,98	7,5	3,26	60,1
	Batan	87,8	0,06	17,3	0,05	9,8	10,25	92,5	0,30	39,9
	Toplam	100,0	0,32	100,0	0,45	100,0	9,73	100,0	0,66	100,0

İ : İçerik, D : Dağılım

Hem katyonik hem de anyonik reaktiflerle gerçekleştirilen, mika ve demir oksit minerallerini uzaklaştırmak için Derna-7 ve A4 reaktifleri kullanarak yapılan test sonuçlarına göre, konsantredeki en düşük Fe₂O₃ içeriğine ilk kademede Derna-7 ikinci kademede ise A4 reaktiflerinin ilave edilmesiyle ulaşılmıştır. TiO₂ içeriği tek kademede yapılan flotasyon deneylerine göre düşmektedir.



Şekil 3.18: Derna-7 ve A4 reaktifi ilavesi ile yapılan çift kademeli flotasyon deneylerinde elde edilen konsantrenin Fe₂O₃ ve TiO₂ değerlerinin değişimi.

İlk kademede A4 ikinci kademede Derna-7 reaktifleri ilave edilerek yapılan flotasyon deneylerinde feldpsat kaçağı azalmasına rağmen Na₂O kazanma verimi %92,5'e kadar yükselmiştir. Feldspat konsantresindeki K₂O dağılımına bakıldığında, tek başlarına mika minerallerini uzaklaştırmada fazla etkili olmayan Derna-7 ve A4 reaktifleri çift kademe flotasyon deneylerinde çok daha başarılı olmuştur. K₂O uzaklaştırma verimlerine bakıldığında ilk kademede anyonik reaktif kullanılarak yapılan flotasyon deneylerinde en yüksek değere ulaşılmıştır.

3.2.3.2 2404 ve 2408 reaktifi ile yapılan flotasyon deneyleri

Tek kademe yapılan flotasyon deneylerin sonuçlarına göre anyonik reaktifler içerisinde renkli safsızlıkları uzaklaştırmada en etkin reaktifler 2404 ve 2408 olarak belirlenmiştir. 2404 ve 2408 reaktifleri ile farklı pH koşulları altında (5, 7,5 ve 9) eklenerek çift kademeli deneyler yapılmıştır. pH düzenleyici olarak asidik ortam koşulları için sülfürik asit (H₂SO₄) ve bazik ortam koşulları için sodyum hidroksit (NaOH) kullanılmıştır.

2404 ve 2408 reaktiflerine ait flotasyon test koşulları Çizelge 3.21'de gösterilmiştir. Çizelge 3.22'de Fe₂O₃, TiO₂, Na₂O ve K₂O içerikleri ve dağılımları gösterilmiştir. Her bir reaktif türü için sadece Fe₂O₃ ve TiO₂ değerlerine ait 2404 ve 2408 değişim grafiği Şekil 3.19'da gösterilmiştir.

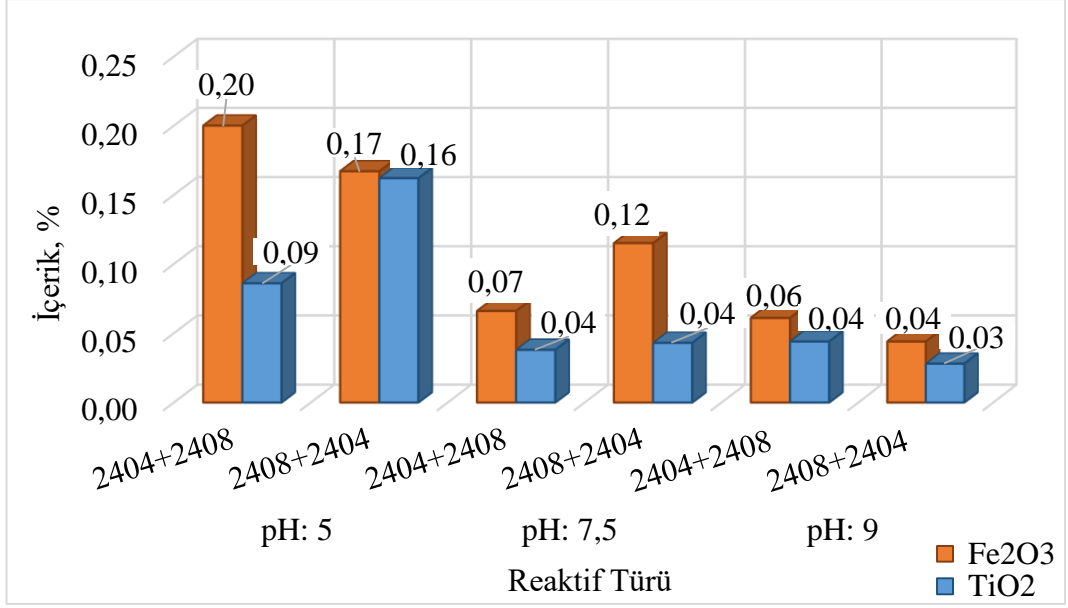
Çizelge 3.21: 2404 ve 2408 reaktiflerinin kullanıldığı flotasyon deneylerinin şartları.

Parametreler	Değerler
pH	5, 7,5, 9
Reaktif Sırası	2404 + 2408
Miktar, g/t	1000 (500+500)
Kondisyon süresi, dakika	5 + 5
Flotasyon süresi, saniye	90 + 90
Reaktif Sırası	2408 + 2404
Miktar, g/t	1000 (500+500)
Kondisyon süresi, dakika	5 + 5
Flotasyon süresi, saniye	90 + 90

Çizelge 3.22: 2404 ve 2408 reaktifleri kullanılarak yapılan flotasyon deneylerinin sonuçları.

Reaktif pH	Miktarı, g/t	Ürünler	Miktar, %	Fe ₂ O ₃ , %		TiO ₂ , %		Na ₂ O, %		K ₂ O, %	
				İ	D	İ	D	İ	D	İ	D
5	2404 + 2408	Yüzen	7,9	1,44	35,5	4,72	82,4	5,75	4,6	2,65	31,6
		Batan	92,1	0,20	64,5	0,09	17,6	10,07	95,4	0,49	68,4
		Toplam	100,0	0,32	100,0	0,45	100,0	9,73	100,0	0,66	100,0
	2408 + 2404	Yüzen	5,0	3,20	50,4	5,88	65,8	2,01	1,0	5,18	39,6
		Batan	95,0	0,17	49,6	0,16	34,2	10,14	99,0	0,42	60,4
		Toplam	100,0	0,32	100,0	0,45	100,0	9,73	100,0	0,66	100,0
7,5	2404 + 2408	Yüzen	22,0	1,22	83,9	1,91	93,4	7,22	16,4	1,93	64,6
		Batan	78,0	0,07	16,1	0,04	6,6	10,44	83,6	0,30	35,4
		Toplam	100,0	0,32	100,0	0,45	100,0	9,73	100,0	0,66	100,0
	2408 + 2404	Yüzen	28,7	0,83	74,4	1,46	93,2	8,02	23,7	1,38	60,0
		Batan	71,3	0,12	25,6	0,04	6,8	10,42	76,3	0,37	40,0
		Toplam	100,0	0,32	100,0	0,45	100,0	9,73	100,0	0,66	100,0
9	2404 + 2408	Yüzen	17,7	1,52	84,3	2,33	92,0	6,99	12,8	2,33	62,6
		Batan	82,3	0,06	15,7	0,04	8,0	10,32	87,2	0,30	37,4
		Toplam	100,0	0,32	100,0	0,45	100,0	9,73	100,0	0,66	100,0
	2408 + 2404	Yüzen	18,3	1,56	88,8	2,34	94,9	6,82	12,8	2,32	64,1
		Batan	81,7	0,04	11,2	0,03	5,1	10,38	87,2	0,29	35,9
		Toplam	100,0	0,32	100,0	0,45	100,0	9,73	100,0	0,66	100,0

İ : İçerik, D : Dağılım



Şekil 3.19: 2404 ve 2408 reaktifi ilavesi ile yapılan flotasyon deneylerinde elde edilen konsantrenin Fe₂O₃ ve TiO₂ değerlerinin değişimi.

Farklı ortam koşulları altında gerçekleştirilen, mika ve oksitli mineralleri uzaklaştırmak için 2404 ve 2408 reaktifleri kullanarak yapılan test sonuçlarına göre, konsantredeki en düşük Fe₂O₃ (%0,04) ve TiO₂ (%0,03) içeriklerine bazik ortam koşullarında ilk kademede 2408, ikinci kademede ise 2404 reaktiflerinin eklenmesiyle ulaşılmıştır.

3.2.4 Sinerjik etkinin incelendiği flotasyon deneyleri

Katyonik ve anyonik reaktiflerle gerçekleştirilen flotasyon deneylerinin sonuçları incelenip, mika ve renkli safsızlıkları uzaklaştırma konusunda en uygun reaktifler belirlenmiştir. Katyonik reaktif olarak A4 reaktifi, anyonik reaktifler olarak ise Derna-7, 2404 ve 2408 seçilmiştir. Reaktiflerin birlikte kullanılarak sinerjik etkinin incelenmesi için ağırlıkça farklı oranlarda karıştırılarak flotasyon deneyleri yapılmıştır.

3.2.4.1 Derna-7 ve A4 reaktifi ile yapılan flotasyon deneyleri

Derna-7 ve A4 reaktiflerine ait flotasyon test koşulları Çizelge 3.23'te gösterilmiştir. Çizelge 3.24'te Fe₂O₃, TiO₂, Na₂O ve K₂O içerikleri ve dağılımları gösterilmiştir. Her bir reaktif türü için sadece Fe₂O₃ ve TiO₂ değerlerine ait Derna-7 ve A4 değişim grafiği Şekil 3.20'de gösterilmiştir.

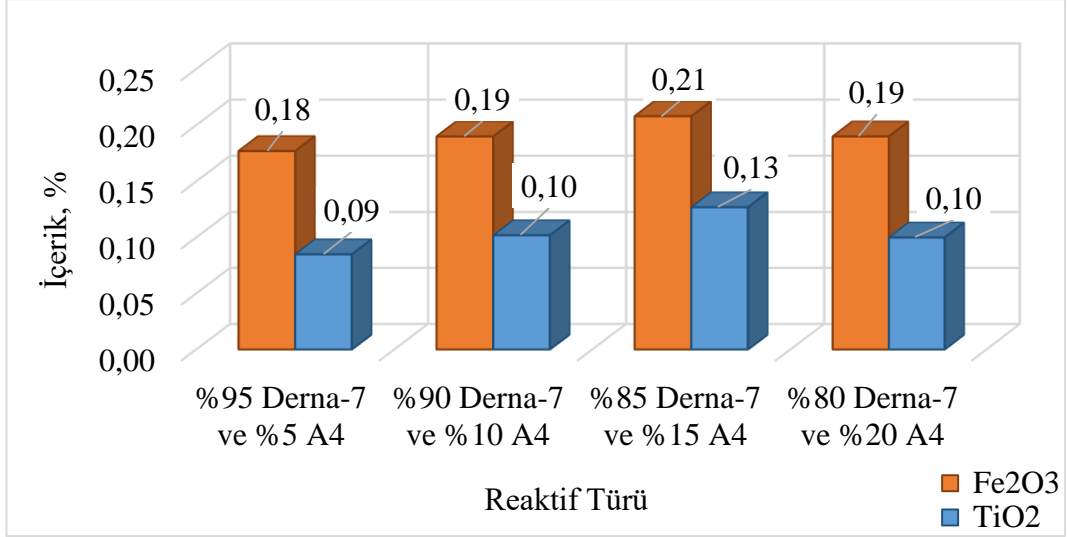
Çizelge 3.23: Derna-7 ve A4 reaktifinin kullanıldığı flotasyon deneylerinin şartları.

Parametreler	Değerler
İçerik	%95 Derna-7 ve %5 A4
Miktar, g/t	1500
Kondisyon süresi, dakika	5 + 5 + 5
Flotasyon süresi, saniye	60 + 60 + 60
İçerik	%90 Derna-7 ve %10 A4
Miktar, g/t	1500
Kondisyon süresi, dakika	5 + 5 + 5
Flotasyon süresi, saniye	60 + 60 + 60
İçerik	%85 Derna-7 ve %15 A4
Miktar, g/t	1500
Kondisyon süresi, dakika	5 + 5 + 5
Flotasyon süresi, saniye	60 + 60 + 60
İçerik	%80 Derna-7 ve %20 A4
Miktar, g/t	1500
Kondisyon süresi, dakika	5 + 5 + 5
Flotasyon süresi, saniye	60 + 60 + 60

Çizelge 3.24: Derna-7 ve A4 reaktifinin kullanıldığı flotasyon deneylerinin sonuçları.

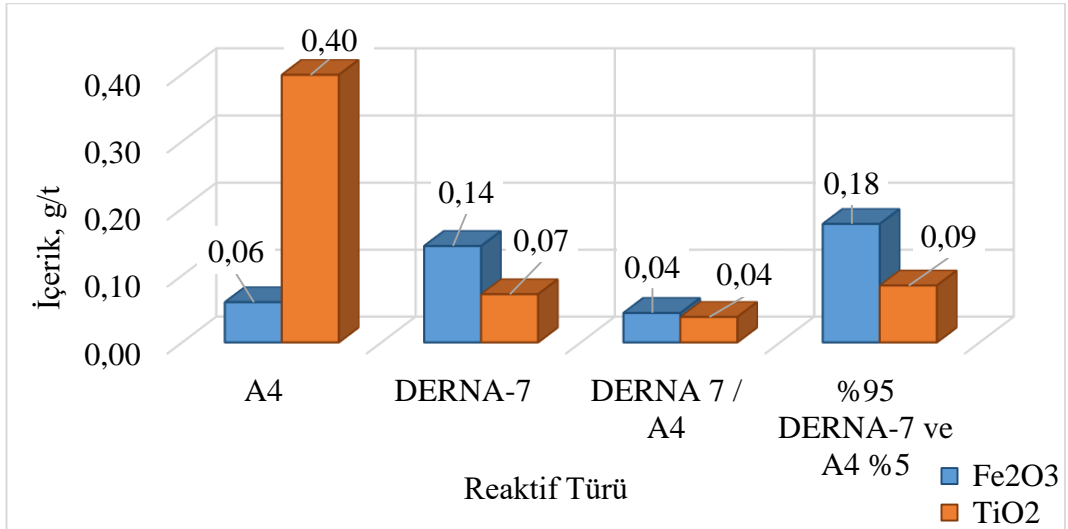
Reaktif Miktarı, g/t	Ürünler	Miktar, %	Fe ₂ O ₃ , %		TiO ₂ , %		Na ₂ O, %		K ₂ O, %	
			İ	D	İ	D	İ	D	İ	D
%95 Derna-7 ve %5 A4	Yüzen	5,3	2,89	47,6	7,01	82,1	2,73	1,5	3,53	28,2
	Batan	94,7	0,18	52,4	0,09	17,9	10,12	98,5	0,50	71,8
	Toplam	100,0	0,32	100,0	0,45	100,0	9,73	100,0	0,66	100,0
%90 Derna-7 ve %10 A4	Yüzen	4,3	3,22	43,2	8,22	78,3	1,91	0,8	4,01	26,0
	Batan	95,7	0,19	56,8	0,10	21,7	10,08	99,2	0,51	74,0
	Toplam	100,0	0,32	100,0	0,45	100,0	9,73	100,0	0,66	100,0
%85 Derna-7 ve %15 A4	Yüzen	4,0	2,98	37,6	8,12	72,9	4,51	1,9	3,75	22,9
	Batan	96,0	0,21	62,4	0,13	27,1	9,95	98,1	0,53	77,1
	Toplam	100,0	0,32	100,0	0,45	100,0	9,73	100,0	0,66	100,0
%80 Derna-7 ve %20 A4	Yüzen	5,2	2,91	47,6	6,79	78,9	1,22	0,7	3,38	26,8
	Batan	94,8	0,18	52,4	0,10	21,1	10,20	99,3	0,51	73,2
	Toplam	100,0	0,32	100,0	0,45	100,0	9,73	100,0	0,66	100,0

İ : İçerik, D : Dağılım



Şekil 3.20: Derna-7 ve A4 reaktifleri ilavesi ile yapılan flotasyon deneylerinde elde edilen konsantrenin Fe₂O₃ ve TiO₂ değerlerinin değişimi.

Ağırlıkça farklı reaktif miktarı ile hem katyonik hem de anyonik reaktiflerle gerçekleştirilen, mika ve demir oksit minerallerini uzaklaştırmak için Derna-7 ve A4 reaktifleri kullanarak yapılan test sonuçlarına göre, konsantredeki en düşük Fe₂O₃ ve TiO₂ içeriğine %95 Derna-7 ve %5 A4 reaktiflerinin ilave edilmesiyle ulaşılmıştır. Fe₂O₃ ve TiO₂ içerikleri orantısal olarak birbirine yakın sonuçlara sahiptir. Şekil 3.21’de doğal pH koşullarında Derna-7 ve A4 reaktifi ilavesi ile yapılan tek kademeli flotasyon, çift kademeli flotasyon ve sinerjik etkinin incelendiği flotasyon deneylerine ait Fe₂O₃ ve TiO₂ değişim grafiği gösterilmiştir.



Şekil 3.21: Derna-7 ve A4 reaktifi ilavesi ile yapılan flotasyon deneylerinde elde edilen konsantrenin Fe₂O₃ ve TiO₂ değerlerinin değişimi.

Derna-7 ve A4 reaktiflerinin sinerjik etkisinin incelendiği flotasyon deneylerinde Na₂O kazanma verimi en yüksek değere (%99,3)%80 Derna-7 ve %20 A4 reaktifinin eklenmesiyle ulaşılmıştır. K₂O uzaklaştırma verimlerine bakıldığında ise %95 Derna-7 ve %5 A4 reaktif kullanılarak yapılan flotasyon deneylerinde en yüksek değere ulaşılmıştır fakat K₂O dağılımına bakıldığında mikaların çok da etkili uzaklaştırılmadığı sonucuna varılabilir.

Tek kademeli flotasyon sonuçları, çift kademeli flotasyon sonuçları ve reaktiflerin belli oranlarda ilave edilerek sinerjik etkinin araştırıldığı flotasyon deney sonuçlarına göre, konsantredeki en düşük Fe₂O₃ (%0,04) içeriğine çift kademeli flotasyon deneylerin sonucunda ulaşılmıştır. Tek başına TiO₂ uzaklaştırma konusunda yeterli olmayan A4 reaktifi, çift kademeli flotasyon deneylerinde Derna-7 ile birlikte kullanıldığında etkili olmuş, en düşük TiO₂ feldspat konsantresi üretilmiştir. Çift kademeli flotasyon deneylerinde yüzen ürün içerisinde feldspat kaçağı artmış ve Na₂O kazanma verimi ise düşmüştür. %80 Derna-7 ve %20 A4 reaktif ilave edilerek yapılan flotasyon deneyinde en yüksek (%99,3) Na₂O kazanma verimine ulaşılmıştır. K₂O dağılımında Derna-7 ve A4 reaktiflerinin sinerjik etkisi incelendiğinde mikaların çok da etkili uzaklaştırılmadığı sonucuna varılabilir.

3.2.4.2 2404 ve 2408 reaktifi ile yapılan flotasyon deneyleri

2404 ve 2408 reaktifleri ile yapılan flotasyon deneyleri üç farklı pH değerinde (5, 7,5, 9) altında yapılmıştır. Asidik ortam koşulları için sülfürik asit (H₂SO₄) eklenerek pH 5'e düşürülüp, bazik ortam koşulları için sodyum hidroksit (NaOH) eklenerek pH değeri 9'a çıkartılmıştır. 2404 ve 2408 reaktiflerinin sinerjik etkinin incelenmesi için ağırlıkça eşit oranda (%50) kullanılarak flotasyon deneylerine yapılmıştır. 2404 ve 2408 reaktiflerine ait flotasyon test koşulları Çizelge 3.25'te gösterilmiştir.

Çizelge 3.25: 2404 ve 2408 reaktifinin kullanıldığı flotasyon deneylerinin şartları.

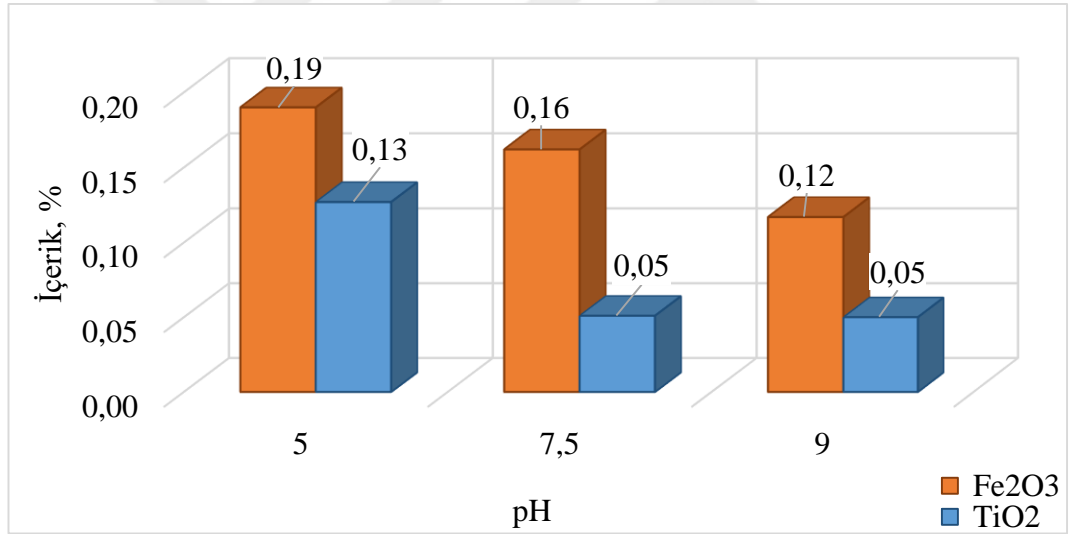
Parametreler	Değerler
pH	5, 7,5, 9
İçerik	%50 2404 ve %50 2408
Miktar, g/t	1000
Kondisyon süresi, dakika	5 + 5
Flotasyon süresi, saniye	90 + 90

Çizelge 3.26’da Fe₂O₃, TiO₂, Na₂O ve K₂O içerikleri ve dağılımları gösterilmiştir. Her bir reaktif türü için sadece Fe₂O₃ ve TiO₂ değerlerine ait 2404 ve 2408 değişim grafiği Şekil 3.22’de gösterilmiştir

Çizelge 3.26: 2404 ve 2408 reaktifinin kullanıldığı flotasyon deneylerinin sonuçları

Reaktif pH	Miktarı, g/t	Ürünler	Miktar, %	Fe ₂ O ₃ , %		TiO ₂ , %		Na ₂ O, %		K ₂ O, %	
				İ	D	İ	D	İ	D	İ	D
5	2404 ve 2408	Yüzen	21,6	0,79	53,4	1,62	77,9	9,77	21,7	0,81	26,3
		Batan	78,4	0,19	46,6	0,13	22,1	9,72	78,3	0,62	73,7
		Toplam	100,0	0,32	100,0	0,45	100,0	9,73	100,0	0,66	100,0
7,5	2404 ve 2408	Yüzen	31,5	0,66	65,3	1,32	92,2	8,51	27,6	1,18	56,4
		Batan	68,5	0,16	34,7	0,05	7,8	10,29	72,4	0,42	43,6
		Toplam	100,0	0,32	100,0	0,45	100,0	9,73	100,0	0,66	100,0
9	2404 ve 2408	Yüzen	25,4	0,92	72,7	1,63	91,7	8,11	21,1	1,54	59,3
		Batan	74,6	0,12	27,3	0,05	8,3	10,28	78,9	0,36	40,7
		Toplam	100,0	0,32	100,0	0,45	100,0	9,73	100,0	0,66	100,0

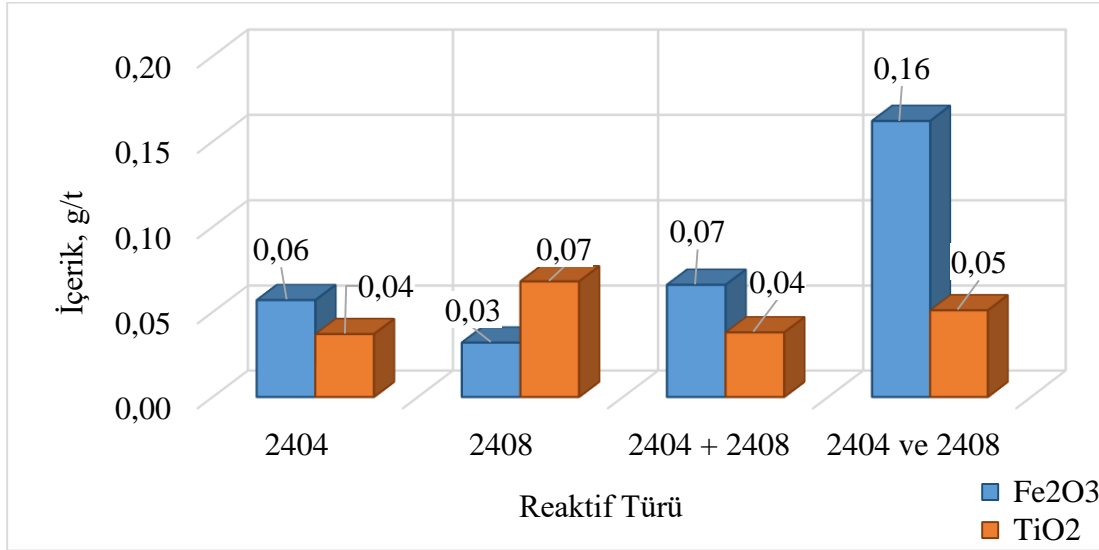
İ : İçerik, D : Dağılım



Şekil 3.22: 2404 ve 2408 reaktiflerinin eşit oranda ilavesi ile yapılan flotasyon deneylerinde elde edilen konsantrenin Fe₂O₃ ve TiO₂ değerlerinin değişimi.

2404 ve 2408 reaktifleriyle farklı ortam koşullarında flotasyon üzerindeki etkisinin araştırılması amacıyla, mika ve oksit minerallerini uzaklaştırmak için yapılan test sonuçlarına göre, en düşük Fe₂O₃ içeriğine (%0,12) pH 9’da ulaşılmıştır. TiO₂ içeriği doğal pH değerinde ve bazik ortam koşullarında benzer olarak bulunurken ve en yüksek verim değerine (%92,2) pH 7,5’te ulaşılmıştır. Doğal pH koşullarında yüzen ürünün miktarı %31,5’e yükselmiş, yüzen ürün içerisinde feldspat kaçağı arttığı için Na₂O kazanma verimi çok azalmıştır. Konsantrenin Na₂O içeriği %10,29’a çıkmıştır.

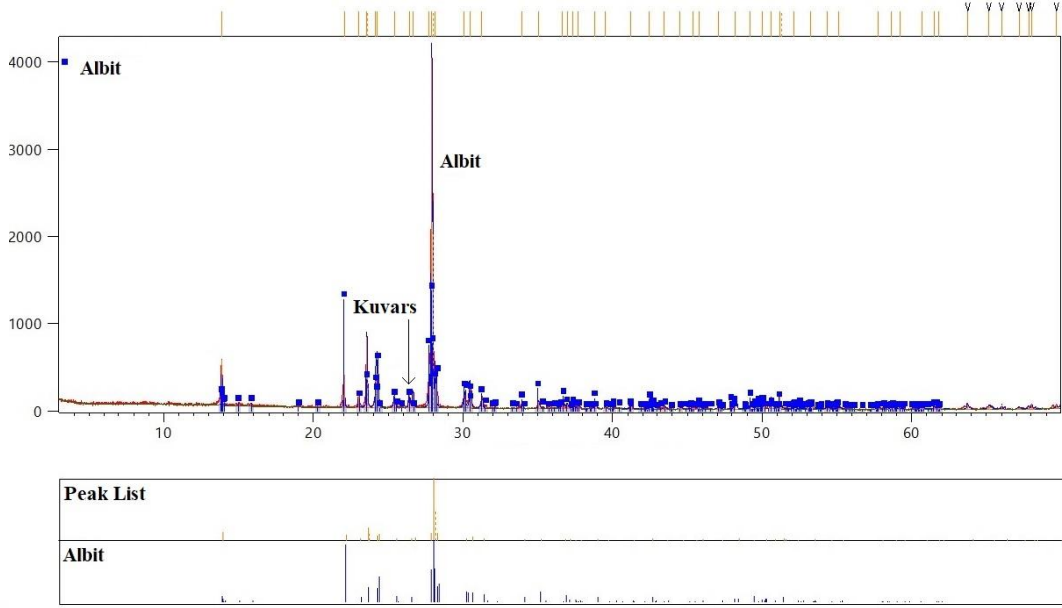
pH değerinin artışı ile yüzen üründeki K_2O verimleri artmış ve mika mineralleri etkili olarak uzaklaştırılmıştır. 2404 ve 2408 reaktiflerinin kullanıldığı ve sinerjik etkinin incelendiği flotasyon deneylerinde en düşük Fe_2O_3 ve TiO_2 içeriklerine pH 9 değerinde ulaşılmıştır. Şekil 3.23'te doğal pH koşullarında 2404 ve 2408 reaktifi ilavesi ile yapılan tek kademeli flotasyon, çift kademeli flotasyon ve sinerjik etkinin incelendiği flotasyon deneylerine ait Fe_2O_3 ve TiO_2 değişim grafiği gösterilmiştir.



Şekil 3.23: 2404 ve 2408 reaktifi ilavesi ile yapılan flotasyon deneylerinde elde edilen konsantrenin Fe_2O_3 ve TiO_2 değerlerinin değişim.

Doğal pH koşullarında yapılan tek kademeli flotasyon deney sonuçları, çift kademeli flotasyon deney sonuçları ve reaktiflerin belli oranlarda ilave edilerek sinerjik etkinin araştırıldığı flotasyon deney sonuçları kıyaslandığında, en düşük Fe_2O_3 içeriğine 2408 reaktifi kullanılarak yapılan tek kademe flotasyon deneylerinde ulaşılmıştır. TiO_2 içeriği tek kademe flotasyon deneylerinde 2404 reaktifi ilavesi ile %0,03'e kadar düştüğü görülmüştür. Çift kademeli flotasyon deneyinde ise demir ve titan oksit içerikleri ise tek kademeli flotasyonda elde edilen Fe_2O_3 içeriğinde nispeten yüksektir. 2404 ve 2408 reaktifi sinerjik etkisi incelendiğinde tek kademeli ve çift kademeli yapılan flotasyon deneylerine göre Fe_2O_3 uzaklaştırmada verimin daha düşük olduğu ancak TiO_2 içeriği için diğer flotasyon deneyleri ile birbirine yakın sonuçlar elde edilmiştir.

Sinerjik etkinin incelendiği flotasyon deneylerinde elde edilen feldspat konsantresinin XRD analiz grafiği Şekil 3.24'te gösterilmektedir.



Şekil 3.24: Sinerjik etkinin araştırıldığı flotasyon deneyleri sonucunda elde edilen feldspat konsantresinin XRD analiz grafiği.



4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışması kapsamında Muğla-Milas bölgesinden temin edilen yüksek sodyum içerikli feldspat mineralinin zenginleştirilmesinde tek kademeli, çift kademeli ve reaktiflerin belli oranlarda karışımlarının eklendiği ve sinerjik etkinin araştırıldığı deneyler yapılmıştır. Tez çalışması kapsamında elde edilen sonuçlar ve öneriler aşağıda verilmiştir.

- Çalışmalara esas olan numunenin boyut analiz grafiği verilerine göre d_{80} değeri 0,200 mm ve d_{50} değeri 0,135 mm olarak bulunmuştur.
- Kimyasal analiz sonuçlarına göre temsili numune %9,73 Na_2O , %0,45 TiO_2 , %0,32 Fe_2O_3 ve %0,66 K_2O içermektedir.
- Flotasyon deneylerinde öncelikle toplayıcı reaktifler tek başına kullanılmış, daha sonra elde edilen en uygun sonuçlara göre farklı reaktif kombinasyonlarının etkisi araştırılmıştır.
- Doğal pH koşullarında mika ve demir oksit minerallerinin ayrılması için yapılan deneylerde katyonik reaktifler kullanıldığında mikanın çok daha etkili olarak yüzdürüldüğü ve titan oksit minerallerinin uzaklaştırılmasında etkisiz kaldığı görülmüştür. Reaktif miktarları arttıkça yüzen ürün içerisinde feldspat kaçağı arttığı için konsantrenin Na_2O kazanma verimi azalmıştır.
- Anyonik reaktifler olan M32 ve M28 reaktifleri ile yapılan deneylerde titan oksit mineralleri etkili olarak uzaklaştırılmış, artan reaktif miktarına paralel olarak feldspat kaçağının yükseldiği anlaşılmıştır. En düşük renkli safsızlık içerikleri 1500 g/t reaktif miktarında elde edilmiştir.
- Yağ asidi ve bir miktar amin içeren reaktifler olan 2404, 2408 ve 2410 demir ve titan oksit uzaklaştırmada etkili olarak bulunmuştur. 2404 reaktifinin anyonik reaktifler içerisinde TiO_2 uzaklaştırmada en etkili reaktif olduğu görülmüştür. Feldspat kaybı dikkate alınarak 2404 reaktifi için en uygun reaktif miktarı 1000 g/t olarak bulunmuştur. 2408 reaktifinin flotasyon performansı

2404'e benzemektedir. Tek kademe yapılan deneyler sonucunda, en düşük Fe_2O_3 içeriğine (%0,02) 1500 g/t miktarında kullanılan 2408 reaktifi ile ulaşılmıştır. Ancak 2408 reaktifi kullanıldığında feldspat kaybı %13,5'ten %26,1'e çıkmıştır.

- Derna-7 reaktifi kullanılarak yapılan flotasyon deneylerinde reaktif miktarının artmasıyla feldspat konsantresi içerisindeki Fe_2O_3 ve TiO_2 içeriklerinin düştüğü görülmektedir. Titan oksitli safsızlıkların uzaklaştırılmasında Derna-7 reaktifi etkin bir şekilde kullanılabilir. Feldspat kaçağı arttıkça Na_2O kazanma verimi de düşecektir. Feldspat konsantresindeki K_2O dağılımına göre, Derna-7 reaktifinin tek başına kullanılması durumunda mika minerallerinin etkili olarak uzaklaştırılamayacağı sonucuna varılmaktadır.
- Tek kademede gerçekleştirilen flotasyon deneyleri sonucunda katyonik reaktifler arasında mika minerallerini uzaklaştırmada en etkili reaktifin A4 olduğu anlaşılabilmektedir. Anyonik reaktiflerle yapılan deneylerin sonuçlarına göre 2404, 2408 ve Derna-7 reaktifleri feldspat konsantresindeki safsızlıkları uzaklaştırmada oldukça etkilidir.
- Anyonik reaktifler arasında renkli safsızlıkları uzaklaştırmada en başarılı olan 2404 ve 2408 reaktifleri seçilerek, doğal pH değerinde farklı oranlarda ve farklı ilave edilme sıralarında deneyler gerçekleştirilmiştir. Çift kademede yapılan deneyler sonucunda, en düşük demir ve titan oksit içerikleri ilk kademede 2404 ikinci kademede ise 2408 eklenerek yapılan flotasyon deneylerinde elde edilmiştir.
- İlk kademede 2408, ikinci kademede ise 2404 reaktifi ilavesi ile yapılan iki kademeli flotasyon deneylerinde en düşük TiO_2 içerikli (%0,03) feldspat konsantresi üretilmiştir.
- Reaktiflerin sinerjik etkilerinin incelenmesi için, Derna-7, A4, 2404 ve 2408 reaktifleri seçilerek ağırlıkça farklı oranlarda ve farklı ortam şartlarında flotasyon deneyleri yapılmıştır. En düşük Fe_2O_3 ve TiO_2 içeriklerine pH 9 değerinde 2404 ve 2408 reaktiflerinin kullanıldığı durumda ulaşılmıştır. En yüksek Na_2O verimi olan %99,3'e ise Derna-7 reaktifinin %80, A4 reaktifinin %20 oranında ilave edilmesi ile ulaşılmıştır.

- Doğal pH değerinde Derna-7 ve A4 reaktiflerin sinerjik etkisinin incelendiği flotasyon deneylerinde, tek kademeli flotasyon deneylerinde Fe_2O_3 uzaklaştırmada A4 reaktifi, TiO_2 uzaklaştırmada ise Derna-7 reaktifi daha başarılıyken, çift kademeli flotasyon deneylerinde demir ve titan oksit içeriği için en düşük değere ulaşılmıştır. Reaktiflerin belli oranlarda eklenerek sinerjik etkinin başarılı olmadığı sonucuna varılmaktadır.
- Sinerjik etkisinin incelendiği 2404 ve 2408 reaktiflerinin doğal pH koşullarında yapılan flotasyon deney sonuçları kıyaslandığında, TiO_2 içeriği birbirine yakın değerler elde edilirken Fe_2O_3 uzaklaştırma verimi en yüksek değere 2404 ve 2408 reaktiflerinin belli oranda ilave edilmesiyle elde edilmiştir ve sinerjik etkinin başarılı olmadığı sonucuna varılmaktadır.
- Farklı özellikteki reaktiflerle yapılan flotasyon ile zenginleştirme çalışmaları sonucunda, tek kademeli ve çift kademeli flotasyon deneyleri sonucunda elde edilen feldspat konsantrasyonlarının seramik ve cam sanayinin gereksinimini karşılayabilecek ve satılabilir derecede feldspat özellikte olduğu belirlenmiştir.



KAYNAKLAR

- Atak, S. ve Tolun, R.** (1994). Flotasyon. *Cevher Hazırlama El Kitabı* içinde (ss. 185–236). İstanbul.
- Bahat, D.** (1969). Compositional study and properties characterisation of alkaline earth feldspar glasses and glass-ceramics. *Journal of Materials Science*, 4(10), 855–860.
- Bayraktar, I., Ersayın, S. ve Gülsoy, Ö. Y.** (1997). Upgrading titanium bearing Na-feldspar by flotation using sulphonates, succinamate and soaps of vegetable oils. *Minerals Engineering*, 10(12), 1363–1374.
- Bayraktar, İ., Gülsoy, Ö. Y., Can, N. M. ve Orhan, E. C.** (2001). Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu 118-19 Ekim. *4.Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu 118-19 Ekim 2001, İzmir, Türkiye* içinde (ss. 97–105). İzmir.
- Bulut, G., Kangal, M. O., Yeşilyurt, Z., Baştürkçü, H. ve Burat, F.** (2019). Characterization and production of Turkish nepheline syenites for industrial applications. *Physicochemical Problems of Mineral Processing*, 55(3), 605–616.
- Bulut, G., Sirinyurt, Y., Özer, M., Sirkeci, A. ve Acar, T.** (2014). The effect of different collectors on iron removal from quartz by flotation. *IMPC 2014 - 27th International Mineral Processing Congress*.
- Burat, F.** (2017). Feldispat Cevherinin Flotasyon ile Zenginleştirilmesinde Tane Boyutu Değişiminin Etkisi. *Çukurova University Journal of the Faculty of Engineering and Architecture*, 32(3), 205–216.
- Can, N. M. ve Çelik, İ. B.** (2009). Proses Mineralojisi: Cevher Hazırlamadaki Önemi, Ölçüm Yöntem Ve Araçları. *Bilimsel Madencilik Dergisi*, 48(1), 43–53. <https://dergipark.org.tr/en/pub/madencilik/issue/32488/361156> adresinden erişildi.
- Capitani, G. C., Mugnaioli, E. ve Guastoni, A.** (2016). What is the actual structure of samarskite investigation of metamict samarskite from the Garnet Codera dike pegmatite (Central Italian Alps). *American Mineralogist*, 101(7), 1679–1690.
- Celik, 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. doi:10.1016/s0892-6875(98)00106-x
- Çınar, M. ve Durgut, E.** (2019). Mineral beneficiation of nepheline syenite with combination of dry magnetic separation and flotation methods. *Physicochemical Problems of Mineral Processing*, 55(5), 1227–1238.

- Dogu, I. ve Arol, A. I.** (2004). Separation of dark-colored minerals from feldspar by selective flocculation using starch. *Powder technology*, 139(3), 258–263.
- DPT.** (2001). *Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Raporu Endüstriyel Hammaddeler Alt Komisyonu Toprak Sanayii Hammaddeleri I (Seramik Killeri-Kaolen-Feldspat-Pirofillit-Wollastonit-Talk) Çalışma Grubu Raporu Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı*. Ankara. <http://ekutup.dpt.gov.tr/> adresinden erişildi.
- Ethem, M. Y.** (1974). Reaktifler Üzerine Temel Bilgiler. *Bilimsel Madencilik Dergisi*, 13(4), 20–34. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/madencilik/issue/32655/362412> adresinden erişildi.
- Gaied, M. E. ve Gallala, W.** (2015). Beneficiation of feldspar ore for application in the ceramic industry: Influence of composition on the physical characteristics. *Arabian Journal of Chemistry*, 8(2), 186–190. doi:10.1016/j.arabjc.2011.04.011
- Gence, N.** (1997). Feldspat Flotasyonu. *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 10(2), 1–11.
- Gülgönül, İ.** (2004). *Sodyum ve Potasyum Feldspatların Katyonik Flotasyon Yöntemiyle Ayırımında Tek ve Çift Değerlikli İyonların Etki Mekanizmaları*. İstanbul Teknik Üniversitesi.
- Gülsoy, Ö. Y.** (2003). *Altere Granitlerden Yüksek Potasyumlu Feldspat Üretimi*. Cilt (C. 42).
- Gülsoy, Ö. Y., Bayraktar, İ. ve Can, N. M.** (2003). Altere Granitlerden Yüksek Potasyumlu Feldspat Üretimi. *Bilimsel Madencilik Dergisi*, 42(3), 3–10.
- Günçelik, S.** (2006). *K-Feldspat İle Na- Feldspatın Flotasyonla Seçimli Ayırımında Çok Değerlikli İyonların Etki Mekanizmasının Araştırılması*. Dumlupınar Üniversitesi.
- Hacıfazlıoğlu, H., Kursun, İ. ve 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), 381–392.
- Haldar, S. K. ve Tišljarić, J.** (2014). Igneous Rocks. *Introduction to Mineralogy and Petrology* içinde (ss. 93–120). Elsevier. doi:10.1016/B978-0-12-408133-8.00004-3
- Heyes, G. W., Allan, G. C., Bruckard, W. J. ve Sparrow, G. J.** (2012). Review of flotation of feldspar. *Mineral Processing and Extractive Metallurgy*, 121(2), 72–78.
- Hızal, M.** (1997). Potasyum Feldspatların Dünü, Bugünü ve Yarını (ss. 31–93). İzmir: 2. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu. http://www.maden.org.tr/resimler/ekler/e4450dc93010bbe_ek.pdf adresinden erişildi.
- Kalyon, D. ve Gülsoy, Ö. Y.** (2005). Feldspat-kuvars ayırımında hidroflorik asit kullanılmayan flotasyon yöntemlerinin karşılaştırılması. *Yerbilimleri*,

26(1),49–59. <https://dergipark.org.tr/en/pub/yerbilimleri/issue/13627/165112> adresinden erişildi.

- Kangal, M. O., Bulut, G., Yeşilyurt, Z., Güven, O. ve Burat, F.** (2017). An alternative source for ceramics and glass raw materials: Augen-Gneiss. *Minerals*, 7(5), 70.
- Karaman, M.** (2009). *X-Işını Floresans Spektrometrisi Tekniği İle Menderes Masifi Üzerinde Üretilen Feldspat Cevherlerinin Eser Element Analizleri*. Adnan Menderes Üniversitesi.
- Kulaksız, S. ve Özçelik, Y.** (1997). *Türkiye ve Dünyada Feldspat Üretim-Fiyat Değişimi ve Politikası*. İzmir.
- Kurşun, İ. ve Ipekoğlu, B.** (2000). Recovery of Potassium Feldspars From Granite and Syenite Rocks in Turkey. *The Arabian Journal For Science and Engineering*, 25, 205–211.
- Kursun, İ., Ozkan, Ş., Cinku, K. ve Eskibalci, M.** (2004). Application of novel flotation process for removal of feldspathic minerals from quartz sands.
- Kursun, İ., Terzi, M. ve Ozdemir, O.** (2018). Evaluation of digital image processing (DIP) in analysis of magnetic separation fractions from Na-feldspar ore. *Arabian Journal of Geosciences*, 11(16), 462.
- MTAGM.** (2015). Feldspat. *MTA Genel Müdürlüğü*. <http://www.mta.gov.tr/v3.0/bilgi-merkezi/feldspat> adresinden erişildi.
- National Minerals Information Center, U.** (2020). *Feldspar and Nepheline Syenite (Data in thousand metric tons unless otherwise noted)*. <https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2020/mcs2020-feldspar.pdf> adresinden erişildi.
- Oteyaka, B., Bilir, K., Gürsoy, H., Ucbas, Y. ve Çitciç, M.** (2017). *Recovery of feldspar from altered granites*. doi:10.4324/9780203747117-63
- Presnall, D. C. ve Bateman, P. C.** (1973). Fusion Relations in the System NaAlSi₃O₈-CaAl₂Si₂O₈-KAlSi₃O₈-SiO₂-H₂O and Generation of Granitic Magmas in the Sierra Nevada Batholith. *Geological Society of America Bulletin*, 84(10), 3181–3202.
- Seyrankaya, A.** (2003). Muğla–Milas Bölgesi Albit Cevherinden Ağır Minerallerin Flotasyon İle Uzaklaştırılması.
- Shakkour Osama, Rabb Ibrahim, Sadeq Ala'a, Sahawneh Julia, M. M.** (2015). *MINISTRY OF ENERGY AND MINERAL RESOURCES Mineral Status and Future Opportunity*. <https://www.memr.gov.jo/EchoBusV3.0/SystemAssets/PDFs/AR/MineralTR/Feldspar.pdf> adresinden erişildi.
- Silva, A. C., Carolina, S. D., Sousa, D. N. ve Silva, E. M. S.** (2019). Feldspar production from dimension stone tailings for application in the ceramic industry. *Journal of Materials Research and Technology*. doi:10.1016/j.jmrt.2018.02.011
- Sümer, G. ve Kaya, M.** (1995). Aydın-Çine feldspatlarının flotasyon ile zenginleştirilmesi. *Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu*, 21–22.
- Tatar, Y.** (2010). *Yerkabuğu-Hayat Kaynağımız*. <https://www.researchgate.net/>

publication/311672594 adresinden erişildi.

- Terzi, M. ve Kurşun, İ.** (2013). Feldspat Zenginleştirme Tesisi Atıklarının Değerlendirilebilirliğinin Araştırılması Investigation of Evaluability of Feldspar Processing Plant Wastes. *Yer Altı Kaynakları Dergisi | Journal of Underground Resources*, 3(January), 41–50. www.mtbilimsel.com adresinden erişildi.
- TMMOB Maden Mühendisleri Odası.** (2008). Feldspat Raporu. http://www.maden.org.tr/resimler/ekler/80ebff16ccaa9b4_ek.pdf adresinden erişildi.
- TMMOB Maden Mühendisleri Odası.** (2010). *Feldspat raporu. TMMOB, Maden Mühendisleri Odası* (C. 169).
- Tsuchiyama, A. ve Takahashi, E.** (1983). Melting kinetics of a plagioclase feldspar. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 84(4), 345–354. doi:10.1007/BF01160286
- TÜİK.** (2020). Ülkelere göre dış ticaret sıralaması Lössit; nefelin ve siyenit nefelin, feldspat. *TÜİK*. <http://rapory.tuik.gov.tr/18-02-2020-20:54:01-1067421455462430341341640478.html?> adresinden erişildi.
- Zhang, Y., Hu, Y., Sun, N., Liu, R., Wang, Z., Wang, L. ve Sun, W.** (2018). Systematic review of feldspar beneficiation and its comprehensive application. *Minerals Engineering*, 128, 141–152. doi:10.1016/j.mineng.2018.08.043

ÖZGEÇMİŞ



Ad-Soyad: Enes KALYONCU

Doğum Tarihi ve Yeri: 17.10.1991 / Giresun

E-posta : enes.kalyoncu28@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2015, Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği