

ALUNİT CEVHERİNİN ZENGİNLEŞTİRİLMESİ

CONCENTRATION OF ALUNITE ORE

GİZEM KOCAUSTA

PROF. DR. ÖZCAN YILDIRIM GÜLSOY

Tez Danışmanı

Hacettepe Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin

Maden Mühendisliği Anabilim Dalı İçin Öngördüğü

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Olarak Hazırlanmıştır.

2018

GİZEM KOCAUSTA' nın hazırladığı "**ALUNIT CEVHERİNİN ZENGİNLEŞTİRİLMESİ**" adlı bu çalışma aşağıdaki jüri tarafından **MADEN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI'** nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Yaşar ÜÇBAŞ
Başkan



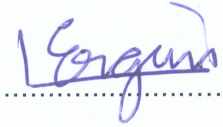
Prof. Dr. Özcan Y. GÜLSOY
Danışman



Prof. Dr. Zafir EKMEKÇİ
Üye



Prof. Dr. Ş. Levent ERGÜN
Üye



Doç. Dr. İlkay B. ÇELİK
Üye



Bu tez Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak onaylanmıştır.

Prof. Dr. Menemşe GÜMÜŞDERELİOĞLU

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

YAYINLAMA VE FİKRİ MÜLKİYET HAKLARI BEYANI

Enstitü tarafından onaylanan lisansüstü tezimin/raporumun tamamını veya herhangi bir kısmını, basılı (kağıt) ve elektronik formatta arşivleme ve aşağıda verilen koşullarda kullanıma açma iznini Hacettepe Üniversitesi'ne verdiğimi bildiririm. Bu izinle Üniversiteye verilen kullanım hakları dışındaki tüm fikri mülkiyet haklarım bende kalacak, tezimin tamamının ya da bir bölümünün gelecekteki çalışmalarda (makale, kitap, lisans ve patent vb.) kullanım hakları bana ait olacaktır.

Tezin kendi orjinal çalışmam olduğunu, başkalarının haklarını ihlal etmediğimi ve tezimin tek yetkili sahibi olduğumu beyan ve taahhüt ederim. Tezimde yer alan telif hakkı bulunan ve sahiplerinden yazılı izin alınarak kullanması zorunlu metinlerin yazılı izin alarak kullandığımı ve istenildiğinde suretlerini Üniversiteye teslim etmeyi taahhüt ederim.

- ☒ **Tezimin/Raporumun tamamı dünya çapında erişime açılabilir ve bir kısmı veya tamamının fotokopisi alınabilir.**

Bu seçenekle teziniz arama motorlarında indekslenebilecek, daha sonra tezinizin erişim statüsünün değiştirilmesini talep etseniz ve kütüphane bu talebinizi yerine getirirse bile, teziniz arama motorlarının önbelleklerinde kalmaya devam edebilecektir.)

- ☐ **Tezimin/Raporumun tarihine kadar erişime açılmasını ve fotokopi alınmasını (İç Kapak, Özet, İçindekiler ve Kaynakça hariç) istemiyorum.**

(Bu sürenin sonunda uzatma için başvuruda bulunmadığım takdirde, tezimin/raporumun tamamı her yerden erişime açılabilir, kaynak gösterilmek şartıyla bir kısmı veya tamamının fotokopisi alınabilir.)

- ☐ **Tezimin/Raporumun tarihine kadar erişime açılmasını istemiyorum, ancak kaynak gösterilmek şartıyla bir kısmı veya tamamının fotokopisinin alınmasını onaylıyorum.**

- ☐ **Serbest Seçenek/Yazarın Seçimi**

10 / 01 / 2018

GİZEM KOCAUSTA

Gizem Kocusta



Sevgili Babam'a

ETİK

Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada,

- Tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi
- Görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- Atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- Ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversitede veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

Beyan ederim.

10.01.2018

GİZEM KOCAUSTA

Gizem Kocausta

ÖZET

ALUNİT CEVHERİNİN ZENGİNLEŞTİRİLMESİ

Gizem Kocausta

Yüksek Lisans, Maden Mühendisliği Bölümü

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Özcan Yıldırım GÜLSOY

Ocak 2018, 108 Sayfa

Bu tez kapsamında; ruhsatı Eti Maden İşletmeleri'ne ait olan Kütahya - Şaphane alunit cevherinden, içerdiği kuvarı ayırarak yüksek alunit içerikli konsantre üretilebilirliği araştırılmıştır. Gerçekleştirilen laboratuvar test çalışmalarının detayları ve sonuçları sunulmuştur.

Bölgeden Eti Maden tarafından kırılmış ve torbalanmış halde temin edilmiş olan iki farklı numune üzerinde çalışılmıştır. Bu numuneler yüksek ve düşük tenörlü olmak üzere iki farklı şekilde adlandırılmıştır. Yüksek tenörlü alunit cevher numunesi, ağırlıkça %40-42 alunit, %55-56 kuvarı ve %2.5-4.5 oranlarının çoğunluğunu kaolin mineralinin oluşturduğu diğer mineralleri içermektedir. Düşük tenörlü alunit cevher numunesi ise ağırlıkça %29-31 alunit, %53-55 kuvarı ve %14.5-16.5 oranlarının çoğunluğunu kaolin mineralinin oluşturduğu diğer mineralleri içermektedir.

Yapılan mineralojik incelemelerde her iki numune de alunitin ince boyda oluşum gösterdiği ve içerdiği silikat minerallerinden serbestleşmesi için -106 μm 'nin altına öğütülmesi gerektiği belirlenmiştir.

Bu cevherler için ayırım yöntemlerinden birisi olan şiddetli karıştırma ve dağıtma ile önemli bir ayırımın sağlanamamış olmasına rağmen, flotasyonla son derece başarılı bir zenginleştirme sağlanmıştır. Alunitlerin kuvarıdan ayrılmasında yaygın olarak kullanılan flotasyon ile zenginleştirme yöntemi çalışma kapsamında detaylı olarak incelenmiş ve elde edilen sonuçlar bu tez kapsamında sunulmuştur. Yapılan test çalışmalarında farklı işlem parametreleri test edilerek en iyi ayırım koşulu belirlenmiştir.

Flotasyon çalışmasında toplayıcı olarak yağ asitleri kullanılmıştır. Bununla beraber pH ayarlamak ve bastırıcı etkisinden faydalanmak amacıyla sodyum karbonat

(Na_2CO_3) kullanılmıştır. Diğer bir bastırıcı kimyasal olarak ise sodyum silikat (Na_2SiO_3) kullanılmıştır. Çalışmalar sonunda, kaba yüzdürme aşamasını takiben yüksek tenörlü alunit cevherinde 5 kademe temizleme flotasyonu ile %97.59 alunit ve %2.60 SiO_2 içeren bir ürün %45.61 alunit verimiyle elde edilmiştir. Düşük tenörlü alunit cevherinde 4 kademe temizleme flotasyonu ile %85.36 alunit ve %5.50 SiO_2 içeren bir ürün %69.73 alunit verimiyle elde edilmiştir. Kaba flotasyon aşamasında alunit verimi her iki numune içinde %95-96 seviyesindedir.

Yüksek tenörlü alunit cevher numunesinde, temizleme atıklarının sistem içinde geri döndürülmesi ile elde edilecek ürün özellikleri simülasyon yardımı ile hesaplanmıştır. Temizleme atıklarının geri döndürülmesiyle nihai ürünün alunit tenörünü %86 değerine kadar düşürmektedir. Ancak, bu şekilde beslemedeki alunitin %94,9'u kazanılmıştır. Flotasyon testleri ardından her iki numuneye de son ürün eldesi için su liçi ve kostik liçi uygulaması yapılmış ancak ayrıntılı test çalışması yürütülmemiştir. Su liçi ile potasyum sülfatta ($\text{K}_2(\text{SO}_4)$) %99.96 verimle %99.55 tenörlü ürüne ulaşılmıştır. Kostik liçi sonrasında karbon dioksitle çökelen ürünlerin XRD (X-Işını Kırınımı) Analizi'nde alüminyum hidroksit ($\text{Al}(\text{OH})_3$) ve alüminyum oksit (Al_2O_3) pikleriyle eşleşme gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Alunit cevheri, flotasyon, liçi, alumina, potasyum sülfat

ABSTRACT

CONCENTRATION OF ALUNITE ORE

Gizem Kocausta

Master of Science, Department of Mining Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Özcan Yıldım GÜLSOY

January 2018, 108 Pages

Within the scope of this thesis, researches has done to Kütahya – Şaphane field alunite ore, which's license belongs to Eti Mine Works. The researches has aimed to produce high alunite concentrate by separating quartz. Details and results of the laboratory tests are presented with this thesis.

Studies were performed on two different samples which were crushed and bagged by Eti Maden from the region. These samples are named as high grade sample and low grade sample. The high-grade alunite ore sample contains 40-42% alunite by weight, 55-56% quartz and 2.5-4.5% by weight of other minerals formed by mostly kaolin mineral. The low-grade alunite ore sample contains 29-31 % alunite by weight, 53-55 % quartz and 14.5-16.5 % by weight of other minerals formed by mostly kaolin minerals.

In the mineralogical studies, it is determined that both samples of alunite ore are formed in fine size and the samples are required to be ground below -106 µm to liberate the alunite grains from the silicate minerals.

Although no significant difference has been achieved with scrubbing and dispersion for these ores, an extremely successful enrichment has been achieved with flotation. The flotation enrichment method which is widely used in quartz separation from alunite is studied in detail in the scope of this study and the results obtained are presented in this thesis. The different test parameters are tested and the best separation conditions are determined.

Fatty acids were used as collector in the flotation study. Sodium carbonate (Na_2CO_3) was used to adjust the pH and to take advantage of the depressant effect. Sodium silicate (Na_2SiO_3) was used as another depressant chemical. At the end of the study, a product containing 97.59 % alunite and 2.60 % SiO_2 in high-grade ore with 5-step cleaning flotation was obtained with 45.61 % alunite recovery. In low grade ore, a product containing 85.36 % alunite and 5.50 % SiO_2 by weight with 4-step cleaning

flotation was obtained with 69.73 % alunite recovery. Also alunite recoveries in the rougher flotation stages are 95-96 % in both samples.

For the high grade alunite ore sample, the product characteristics obtained by returning the cleaning wastes in the system are calculated with the help of simulation. Simulation results showed that the final alunite product's grade reduces to 86 %. However, 94.9 % of alunite in the feed was thus obtained.

After flotation tests, water and caustic leach were applied to both samples, but no detailed testing was carried out. 99.55% purity of potassium sulphate ($K_2(SO_4)$) has been obtained with 99.56% recovery with water leach. After caustic leaching carbon dioxide gas applied to solution to obtain precipitation. XRD (X-Ray Diffraction) Analysis has been done to products and these analyses are shown that some peaks are matched with aluminum hydroxide ($Al(OH)_3$) and aluminum oxide (Al_2O_3).

Key words: Alunite ore, flotation, leaching, alumina, potassium sulphate



TEŞEKKÜR

Hayatımın her aşamasında sevgileri ve destekleriyle yanımda olan hiçbir teşekkürün yetmeyeceği ancak bana aşıladıklarıyla başka insanların faydalanmasını sağlamamla kendimi az da olsa yeterli görebileceğim bir tanelerim babam Ahmet Onur KOCAUSTA' ya ve annem Meral KOCAUSTA 'ya,

Yüksek lisans öğrenim hayatım boyunca ve bu tez çalışmalarımın her aşamasında çok değerli sabrı, özverisi ve değer biçilemeyecek klavuzluğuyla yolumu aydınlatan, tekrar hiçbir teşekkürün yetmeyeceğini düşündüğüm Hacettepe Üniversitesi Rektör Yardımcısı ve Danışman'ım Sayın Hocam Prof. Dr. Özcan Yıldırım GÜLSOY' a,

Tezim süresince yanlarında çalışmamın çok büyük şans ve olanak olduğunu düşündüğüm ve tezimle alakalı değerli katkılarından dolayı Sayın Hocalarım Prof. Dr. Ş. Levent ERGÜN 'e, Prof. Dr. Zafir EKMEKÇİ 'ye, Yrd. Doç. Dr. N. Metin CAN 'a, Doç. Dr. İlkey B. ÇELİK 'e ve Dr. E. Caner ORHAN 'a, Prof. Dr. Yaşar ÜÇBAŞ'a,

Teze olan bütün katkılarından dolayı Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü'ne,

Bölüm imkânlarından yararlanmamı sağlayan Hacettepe Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü Başkanı Sayın Prof. Dr. Ahmet Hakan Benzer'e,

Süreç içerisinde fikirleriyle, bilgileri ve arkadaşlığıyla yol gösteren, her koşulda yardım ve desteğini hissettiren Sevgili Dr. Ergin GÜLCAN'a,

Çalışmalarım süresince güler yüzleriyle desteklerini ve yardımlarını hiç esirgemeyen Sevgili Hocalarım Yrd. Doç. Dr. Özlem BIÇAK 'a, Yasemin ÖZTÜRK 'e, Dr. Özgür ÖZCAN 'a,

Yüksek lisans çalışmalarım boyunca fikri ve fiziki varlığıyla yardımcı ve destek olan çalışma arkadaşım Tahsin Onur DİZDAR'a,

Başta Sevgili Yüksek Mühendis Ahad AGHLMANDI HARZANAGH olmak üzere bu zaman süresince desteklerini hiç esirgemeyen Yüksek Mühendis Özgün DARILMAZ 'a, Yüksek Mühendis Elif ÖZDEMİR 'e ve Yüksek Mühendis İlhan EHSANİ 'ye, Yüksek Mühendis Büşra ÖZSOY 'a, Yüksek Mühendis Ahmet Yaşar YAMANTAŞ 'a ve Yüksek Mühendis Orberk Mert MERCAN 'a

Son olarak bütün bölüm personeline sağlamış oldukları her türlü yardım ve güzel ortam için,

En içten duygularım ve minnertarlığım ile teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	i
ABSTRACT	iii
TEŞEKKÜR	v
İÇİNDEKİLER	vi
ÇİZELGELER	viii
ŞEKİLLER	xiv
1. GİRİŞ	1
2. ALUNIT CEVHERİYLE İLGİLİ GENEL BİLGİ	4
2.1. Alunit Cevherinin Genel Oluşum Jeolojisi	5
2.2. Türkiye’de ve Dünya’daki Alunit Yatakları	5
2.3. Alunitten Üretilen Endüstriyel Bileşikler, Kullanım Alanları ve Cevher İçerisindeki Safsızlıklar	6
2.4. Alunit Minerali Üzerinde Yapılmış Olan Çalışmalar	7
2.4.1. Alunit Cevheri Üzerinde Yapılan Flotasyon ve Diğer Zenginleştirme Çalışmaları	8
2.4.2. Alunit Cevheri Üzerinde Yapılan Liç Zenginleştirme Çalışmaları	15
3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR VE SONUÇLAR	28
3.1. Karakterizasyon Çalışmaları	28
3.1.1. Genel Bileşim	28
3.1.2. Mineral Oranları Hesabında Kullanılan Yaklaşım	31
3.2. Karıştırma ile Dağıtma Test Çalışmaları	33
3.2.1. Yüksek Tenörlü Alunit Cevher Numunesinde Yapılan Karıştırma ile Dağıtma Test Çalışmaları	33
3.2.2. Düşük Tenörlü Alunit Cevher Numunesinde Yapılan Aşındırma Çalışmaları	34
3.3. Flotasyon Test Çalışmaları	36
3.3.1. Toplayıcı, Bastırıcı Miktarlarının ve pH Değeri’nin Yüksek ve Düşük Tenörlü Alunit Cevheri Kaba Flotasyonu Üzerindeki Etkisinin İncelenmesine Yönelik Test Çalışmaları	38
3.3.2. Öğütme İnceliğinin Etkisi	55

3.3.3. Temizleme Kademesi Sayısının Belirlenmesine Yönelik Test Çalışmaları.....	62
3.3.4. Besleme Ağırlıkça Katı İçeriğinin Flotasyona Etkisi	65
3.3.5. Düşük Tenörlü Cevherde Bastırıcı Miktarının Etkisi.....	68
3.3.6. Farklı Toplayıcıların Flotasyona Etkisi	71
3.3.7. Devre Tasarımı için Yapılan Test Çalışmaları	76
3.3.8. Simülasyon ile Devre Tasarımı	81
3.4. Liç Test Çalışmaları.....	84
4. SONUÇLAR.....	89
KAYNAKLAR.....	91
EKLER	93
ÖZGEÇMİŞ	107

ÇİZELGELER

Sayfa

Çizelge 2.1 Saf alunit mineralinin kimyasal bileşimi [2]	4
Çizelge 2.2 Alunit mineralinin fiziksel özellikleri [6].....	4
Çizelge 2.3 Güney – Batı Utah’da bulunan Wah – Wah dağlarından çıkarılmış olan alunit cevherinin kimyasal ve mineralojik yapısı [1]	10
Çizelge 2.4 Numune 1’in ve Numune 2’nin mineral içerikleri ve kompozisyonları [12]	12
Çizelge 2.5 Numune 1 ve Numune 2’de alunit mineralinin fraksiyonlara göre dağılımı [12]	12
Çizelge 2.6 Çizelgede belirtilen minerallerin sıfır yük noktası (pzc) değerleri [12]	14
Çizelge 2.7 Farklı rezervlerden alınan alunit içeriğinin analizleri [21]	15
Çizelge 2.8 Su liçi öncesi kavurma işlemine maruz bırakılan cevherin ve su liçi sonrası çözünmeyen ürünün içeriği [21].....	17
Çizelge 2.9 Haff, Steinman’nın yaptıkları çalışmada kullanılan beslemenin içeriği	20
Çizelge 2.10 Cevherin su ile çözündürmesi sonucu elde edilen ürünlerin kimyasal içerikleri [26]	25
Çizelge 2.11 Sülfirik asit liçine beslenen ürünün ve alınan ürünlerin kimyasal içerikleri [26]	25
Çizelge 3.1 Yüksek ve düşük tenörlü cevher numunelerinde sahadan gelen kırılmış cevher numunelerinde elde edilen tane boyu dağılımları	29
Çizelge 3.2 Yüksek ve düşük tenörlü cevher numunesi kimyasal analizi	30
Çizelge 3.3 Yüksek ve düşük tenörlü besleme numunelerinin kimyasal analizlerine göre mineral dağılımı (Hesabı)	31
Çizelge 3.4 Düşük tenörlü ve yüksek tenörlü cevherlerin mineralojik bileşiminin karşılaştırmalı gösterimi	32
Çizelge 3.5 Şiddetli karıştıma ve dağıtma ile elde edilen ayırım sonucu	34

Çizelge 3.6 -5 mm'ye kırılmış cevherin fraksiyon bazlı alunit içeriği	34
Çizelge 3.7 Aşındırma işlemi sonrası fraksiyon bazlı alunit değerleri	35
Çizelge 3.8 -5 mm ' ye kırılmış cevherin fraksiyon bazlı alunit içeriği	35
Çizelge 3.9 Değirmende aşındırma işlemi sonrası fraksiyon bazlı alunit değerleri	36
Çizelge 3.10 Flotasyon testlerinde kullanılan kimyasallar	38
Çizelge 3.11 Yüksek tenörlü alunit cevher numunesinde toplayıcı miktarını saptamak için yapılan kinetik testlerin karşılaştırmalı test koşulları	39
Çizelge 3.12 Yüksek tenörlü cevher numunesinde 667 g/t toplayıcı - 333 g/t bastırıcılı test sonucu	40
Çizelge 3.13 Yüksek tenörlü cevher numunesinde 1333 g/t toplayıcı – 333 g/t bastırıcılı test sonucu	40
Çizelge 3.14 Yüksek tenörlü cevher numunesinde 2000 g/t toplayıcı - 333 g/t bastırıcılı test sonucu	41
Çizelge 3.15 Yüksek tenörlü cevher numunesinde 2667 g/t toplayıcı - 1000 g/t bastırıcılı test sonucu	41
Çizelge 3.16 Yüksek tenörlü cevher numunesinde bastırıcı miktarını saptamak için yapılan kinetik testlerin karşılaştırmalı test koşulları	42
Çizelge 3.17 Yüksek tenörlü cevher numunesinde 2000 g/t toplayıcı - 333 g/t bastırıcılı test sonucu	42
Çizelge 3.18 Yüksek tenörlü cevher numunesinde 2000 g/t toplayıcı - 667 g/t bastırıcılı test sonucu	43
Çizelge 3.19 Yüksek tenörlü cevher numunesinde 2000 g/t toplayıcı – 1000 g/t bastırıcılı test sonucu	43
Çizelge 3.20 Düşük tenörlü cevher numunesinde toplayıcı ve bastırıcı miktarını saptamak için yapılan kinetik testlerin karşılaştırmalı test koşulları	49
Çizelge 3.21 Düşük tenörlü cevher numunesinde 2000 g/t toplayıcı – 1000 g/t bastırıcılı test sonucu	49
Çizelge 3.22 Düşük tenörlü cevher numunesinde 2667 g/t toplayıcı – 1000 g/t bastırıcılı test sonucu	50

Çizelge 3.23 Yüksek tenör numunesinde 2000 g/t toplayıcı - 1000 g/t bastırıcı miktarlarında düşük pH etkisini ölçme test koşulları	52
Çizelge 3.24 Yüksek tenörlü cevher numunesine 2000 g/t toplayıcı – 1000 g/t bastırıcı miktarında düşük pH ve yüksek pH etkisini gösteren karşılaştırmalı test sonuçları.....	53
Çizelge 3.25 Yüksek tenörlü cevher numunesine 2667 g/t toplayıcı - 1000 g/t bastırıcı miktarlarında düşük pH etkisini ölçme test koşulları	53
Çizelge 3.26 Yüksek tenörlü cevher numunesine 2667 g/t toplayıcı – 1000 g/t bastırıcı miktarında düşük pH ve yüksek pH etkisini gösteren karşılaştırmalı test sonuçları.....	53
Çizelge 3.27 Yüksek tenörlü cevher numunesinde toplayıcı miktarlarının etkisini ölçmek için karşılaştırmalı test koşulları	54
Çizelge 3.28 Yüksek tenörlü cevher numunesinde toplayıcı miktarlarının etkisini ölçmek için karşılaştırmalı test sonuçları	54
Çizelge 3.29 Düşük tenörlü cevher numunesinde 2667 g/t toplayıcı – 1000 g/t bastırıcı miktarında düşük pH etkisini ölçme test sonucu	55
Çizelge 3.30 Düşük tenörlü cevher numunesinde 2667 g/t toplayıcı – 1000 g/t bastırıcı miktarında düşük pH ve yüksek pH etkisini gösteren karşılaştırmalı test sonuçları.....	55
Çizelge 3.31 Yüksek tenörlü cevher numunesinde flotasyon beslemesi boyut dağılımının etkisini belirlemek amacıyla kullanılan farklı besleme boyut dağılımları	57
Çizelge 3.32 Yüksek tenörlü alunit cevher numunesinde farklı öğütme inceliklerinde yapılan testlerin koşulları	58
Çizelge 3.33 Yüksek tenörlü alunit cevher numunesinde farklı besleme inceliklerinde yapılan flotasyon test sonuçları.....	59
Çizelge 3.34 Düşük tenörlü cevher numunesinde flotasyon beslemesi boyut dağılımının etkisini belirlemek amacıyla kullanılan farklı besleme boyut dağılımları	60

Çizelge 3.35. Yüksek tenörlü cevher numunesinde temizleme kademeli testlerde sabit tutulan koşullar.....	62
Çizelge 3.36 Yüksek tenörlü cevher numunesi için temizleme sayısı 5 kademeye kadar çıkarılmış test sonuçları.....	63
Çizelge 3.37. Düşük tenörlü cevher numunesinde temizleme kademeli testlerde sabit tutulan koşullar.....	63
Çizelge 3.38 Düşük tenörlü cevher numunesi için temizleme sayısı 6 kademeye kadar çıkarılmış test sonuçları.....	64
Çizelge 3.39 Yüksek tenörlü cevher numunesinde ağırlıkça %30 katı içeren besleme ile yapılan flotasyon test koşulları.....	66
Çizelge 3.40 Yüksek tenörlü cevher numunesinde ağırlıkça %30 katı içeren beslemeyle 2000 g/t toplayıcı ve 1000 g/t bastırıcı ile yapılan flotasyon test sonucu	66
Çizelge 3.41 Yüksek tenörlü cevher numunesinde ağırlıkça %30 katı içeren beslemeyle 2667 g/t toplayıcı ve 1000 g/t bastırıcı ile yapılan flotasyon test sonucu	66
Çizelge 3.42 Düşük tenörde ağırlıkça %30 katı içeren besleme ile yapılan flotasyon test koşulları	67
Çizelge 3.43 Düşük tenörde ağırlıkça %30 katı içeren besleme ile 2667 g/t toplayıcı ve 1000 g/t bastırıcı ile yapılan flotasyon test sonucu	67
Çizelge 3.44 Yüksek tenörlü cevherde yapılan katı yoğunluğu % 15 ve % 30 olan olan ve toplayıcı miktarları 2667 g/t olan testlerin karşılaştırmalı test sonuçları ...	67
Çizelge 3.45 Düşük tenörlü cevherde yapılan katı yoğunluğu % 15 ve % 30 olan olan ve toplayıcı miktarları 2667 g/t olan testlerin karşılaştırmalı test sonuçları ...	68
Çizelge 3.46 Düşük tenörlü cevherde yapılan flotasyon testlerinde bastırıcı miktarlarının artırıldığı test koşulları	69
Çizelge 3.47 Düşük tenörlü cevher numunesinde 1000 g/t bastırıcı ile yapılan flotasyon test sonucu.....	69
Çizelge 3.48 Düşük tenörlü cevher numunesinde 1333 g/t bastırıcı ile yapılan flotasyon test sonucu.....	70

Çizelge 3.49 Düşük tenörlü cevher numunesinde 1666 g/t bastırıcı ile yapılan flotasyon test sonucu.....	70
Çizelge 3.50 Düşük tenörlü cevher numunesinde farklı bastırıcı miktarları ile yapılan karşılaştırmalı flotasyon test sonuçları	71
Çizelge 3.51 Çizelgede belirtilen minerallerin sıfır yük noktası (pzc) değerleri [12]	72
Çizelge 3.52 Yüksek tenörlü cevher numunesinde toplayıcı kimyasal A726 (yağ asidi) ile yapılan flotasyon test koşulları	72
Çizelge 3.53 Yüksek tenörlü cevher numunesinde toplayıcı kimyasal A726 (yağ asidi) ile yapılan flotasyon test sonucu	73
Çizelge 3.54 Yüksek tenörlü cevher numunesinde toplayıcı kimyasal Na - Oleat (yağ asidi) ile yapılan flotasyon test koşulları	73
Çizelge 3.55 Yüksek tenörlü cevher numunesinde toplayıcı kimyasal Na - Oleat (yağ asidi) ile yapılan flotasyon test sonucu	73
Çizelge 3.56 Yüksek tenörlü cevherde farklı toplayıcı kimyasallı karşılaştırmalı flotasyon test sonuçları.....	74
Çizelge 3.57 Düşük tenörlü cevher numunesinde toplayıcı kimyasal A726 (yağ asidi) ile yapılan flotasyon test koşulları.....	74
Çizelge 3.58 Düşük tenörlü cevher numunesinde toplayıcı kimyasal A726 (yağ asidi) ile yapılan flotasyon test sonucu.....	75
Çizelge 3.59 Düşük tenörlü cevher numunesinde toplayıcı kimyasal Na - Oleat (yağ asidi) ile yapılan flotasyon test koşulları	75
Çizelge 3.60 Düşük tenörlü cevher numunesinde toplayıcı kimyasal Na - Oleat (yağ asidi) ile yapılan flotasyon test sonucu	75
Çizelge 3.61 Düşük tenörlü cevherde farklı toplayıcı kimyasallı karşılaştırmalı flotasyon test sonuçları.....	76
Çizelge 3.62 Yüksek tenörlü cevhere ait 2667 g/t toplayıcı / 1000 g/t bastırıcı miktarlarında yapılan ve 5 kademeli temizleme içeren flotasyon test koşulları.....	77
Çizelge 3.63 Yüksek tenörlü cevhere ait 2667 g/t toplayıcı / 1000 g/t bastırıcı miktarlarında yapılan ve 5 kademeli temizleme içeren flotasyon test sonucu	77

Çizelge 3.64 Düşük tenörlü cevherde baz koşulların belirlenmesi.....	78
Çizelge 3.65 Düşük tenörlü cevhere ait 2667 g/t toplayıcı / 1333 g/t bastırıcı miktarlarında yapılan ve 4 kademeli temizleme içeren flotasyon test sonucu	78
Çizelge 3.66 Laboratuvarda elde edilen nihai ürünlerin genel bileşimleri	81
Çizelge 3.67 Su liçi sırasında yüksek ve düşük tenörlü cevhere uygulanan test koşulları	85
Çizelge 3.68 Yüksek tenörlü cevher numunesinde su liçi test sonucunda elde edilen ürünün kimyasal analiz sonucu	85
Çizelge 3.69 Düşük tenörlü cevher numunesinde su liçi test sonucunda elde edilen ürünün kimyasal analiz sonucu	86
Çizelge 3.70 Kostik liçi sırasında yüksek ve düşük tenörlü cevhere uygulanan test koşulları	87

ŞEKİLLER

Sayfa

Şekil 2.1 Gabriel ve Dasher tarafından yapılan çalışmanın akım şeması [15].....	9
Şekil 2.2 Hwang, Kullerud, Takayasu tarafından yapılan çalışmanın akım şeması [3]	11
Şekil 2.3 Farklı pH değerlerinde alunit ve kaolinit minerallerinin dağılımı [12].....	13
Şekil 2.4. Bozunmada sıcaklığın etkisi ile su ve SO ₃ ' ün uzaklaşma hızları [21] ..	16
Şekil 2.5 Mccullough, 1934, tarafından yapılan çalışmanın akım şeması [22]	19
Şekil 2.6 Haff, Steinman tarafından yapılan çalışmanın akım şeması [16].....	21
Şekil 2.7 Stevens, Forberg, Jennings, Stephens, Bowen, Thompson, Copenhaver tarafından yapılan çalışmanın akım şeması [24]	22
Şekil 2.8 Stevens tarafından yapılan çalışmanın akım şeması [23].....	24
Şekil 2.9 Loest, (1976) tarafından yapılan çalışmanın akım şeması [26]	26
Şekil 3.1 Sahadan gelen yüksek ve düşük tenörlü kırılmış cevher numunesine yapılmış olan kuru elek analizi.....	29
Şekil 3.4 Yüksek tenörlü cevherde reaktif miktarının yüzen ürün miktarına etkisi	44
Şekil 3.3 Yüksek tenörlü cevherde toplayıcı miktarının alunit verimi üzerine etkisi	45
Şekil 3.6 Yüksek tenörlü cevherde bastırıcı miktarının alunit verimi üzerine etkisi	46
Şekil 3.7 Yüksek tenörlü cevherde toplayıcı ve bastırıcı miktarlarının tenör eğrileri üzerine etkisi	46
Şekil 3.8 Yüksek tenörlü cevherde toplayıcı ve bastırıcı miktarlarının verim eğrileri üzerine etkisi	47
Şekil 3.9 Yüksek tenörlü cevherde toplayıcı ve bastırıcı miktarlarının verim-tenör eğrileri üzerine etkisi.....	47
Şekil 3.10 Düşük tenörlü cevher numunesinde toplayıcı miktarının yüzen ürün miktarına etkisi	50

Şekil 3.11 Düşük tenörlü cevher numunesine yapılan kinetik testler sonucunda elde edilen birikimli alunit verimi.....	51
Şekil 3.12 Düşük tenörlü cevher numunesine yapılan kinetik testler sonucunda elde edilen birikimli alunit tenörü	51
Şekil 3.13 Düşük tenörlü cevher numunesine yapılan kinetik testler sonucunda elde edilen birikimli verim-tenör eğrileri	52
Şekil 3.14 Farklı öğütme sürelerindeki tane boyu dağılımları	56
Şekil 3.15 Yüksek tenörlü cevher numunesinde farklı flotasyon besleme boyut dağılımları.....	58
Şekil 3.16 Düşük tenörlü cevher numunesinde farklı flotasyon besleme boyut dağılımları.....	61
Şekil 3.17 Yüksek tenörlü cevherde flotasyon akım şeması.....	79
Şekil 3.18 Düşük tenörlü cevherde flotasyon akım şeması	80
Şekil 3.19 Simülasyon ile oluşturulmuş olan flotasyon devresi.....	82
Şekil 1 1 No-lu örnek şiddetli hidrotermal alterasyon sonucu birincil dokusunu kaybetmiş ve çok ince taneli alterasyon ürünlerine dönüşmüştür. Tek nikol.	95

1. GİRİŞ

Alunit mineralinin kimyasal formülü $KAl_3((SO)_4)_2 6(OH)$ ya da $K_2O \cdot 3(Al_2O_3) \cdot 4SO_3 \cdot 6H_2O$ olarak verilmektedir [1] [2] [3] [4] [5] [6]. Alunit endüstriyel bir hammaddedir. Alunit minerali %11.37 oranında K_2O (potasyum oksit), %36.92 oranında Al_2O_3 (alüminyum oksit), %13.05 oranında H_2O , %38.66 oranında SO_3 (kükürt trioksit) bileşiklerini içermektedir. Alunit minerali birçok mineral içeren alunit süper grubunun içerisinde yer almaktadır. Alunit süper grubunun içerisinde bulunan gruplar Alunit Grubu, Beudantite Grubu, Plumbogummite Grubu ve Dussertite Grubu olarak sıralanabilmektedir. Bu gruplar 40'dan fazla mineral içermekle birlikte, formülasyonları $DG_3(TO_4)_2(OH, H_2O)_6$ olarak gösterilmektedir (EK-1). Bu formülün içindeki D harfi K^+ , Na^+ , NH_4^+ , H_3O^+ gibi tek değerlikli ya da Ca^{2+} , Ba^{2+} , Sr^{2+} , Pb^{2+} gibi çift değerlikli ya da Bi^{3+} gibi üç değerlikli katyonlardan oluşabilmektedir. Formülün içinde yer alan G harfi ise Al^{3+} veya Fe^{3+} iyonlarını temsil etmekle birlikte, formülün içindeki T harfi ise S^{6+} , As^{5+} ya da P^{5+} katyonlarını temsil edebilmektedir. Aynı zaman da formülde bulunan G, yukarıda da bahsedildiği üzere içeriğindeki Al ve Fe elementlerine göre ikiye ayrılabilir. Buna göre eğer mineral içeriğinde $Al > Fe$ durumunda ise mineral alunit minerali olarak, $Fe > Al$ ise mineral jarosit minerali olarak adlandırılmaktadır [7] [8] [9] [10] [11].

Potasyum alunit ($KAl_3((SO)_4)_2 6(OH)$) ve sodyum alunit ($NaAl_3((SO)_4)_2 6(OH)$) ve bu iki mineral arasında çözelti halinde bulunmaları en çok rastlanan alunit rezerv yapılarıdır [7]. EK 1' de alunit grubunun içerisindeki diğer alt gruplar ve grupların içerisindeki mineraller sunulmuştur.

Alunit minerali özellikle hidrotermal oluşumlar sırasındaki yüksek sülfürik asit içerikli çözeltilerin feldspatlar gibi yüksek potasyum içerikli minerallerle temas etmesi sonucu büyük miktarlarda oluşan ve kayaç oluşturabilen bir mineraldir [7].

Bazen alunit masif kayaç oluşumları şeklindeki dolomit ve kalsit ile karıştırılabilmektedir. Ancak asit içinde kabarcık oluşturmaması ile kolayca ayırt edilebilmektedir [7].

Genel olarak alunitin kristal simetrisi turmalin grubu minerallere benzemekle birlikte, alunit turmalin grubu mineralleri gibi prizmatik formlar oluşturmamaktadır. Alunit kristalleri daha basık, kübik eşkenar dörtgen (rhombohedron) yapıda olabilmektedir.

Kayaçlar içinde tanecikler halinde, bazen de cep ve damar şeklinde yer almaktadır. Kristal şekli eşkenar dörtgen (rhombohedral) olmasına rağmen bu şekilde yaygın olarak görülmemektedir. Çoğunlukla kütlemsi, taneli, lifsi ve zaman zaman da beyaz-kırmızımsı ya da toprak renkli olarak ayırt edilebilmektedir. Kristal yapısında olanlar ise parlak ve camsı görünmektedir [4].

Alunit cevheri genel olarak oldukça ince tane boyu aralığında ($-38\ \mu\text{m}$) serbestleşme göstermektedir [12] [13] [3] [14]. Kuvars minerali alunit mineralinin en önemli yan taşı olmakla birlikte kaolin, feldispat, hematit, limonitik veya geotitik demir oksit, serüzit, pirit, rutil, profillit, volkanik cam alunit alunit cevherinin diğer yan taş mineralleri olarak gözlemlenebilmektedir [15].

Başta kuvars olmak üzere diğer silisli içeriklerin alunitten kimyasal işlemlerle ayrılması, potasyum sülfat ve alüminyum oksit üretimi aşamalarında önem arz etmektedir. Alunit cevheri karmaşık kimyasal yapısına rağmen diğer zor çözünür tuzlar gibi problemleri bir flotasyon davranımı göstermemesi, zenginleştirilmesi açısından önemli bir avantaj teşkil etmektedir. Bu nedenle genel zenginleştirme yöntemi olarak flotasyon göz önüne alınmaktadır.

Bu tezde kullanılan alunit cevheri Kütahya Şaphane yöresine ait olup, saha petrografik yönden genel olarak riyolit tüflerden oluşmuştur. Yer yer trakit ve trakitandezitik kayaçlara rastlanmaktadır. Alunit yatağında silisleşme ve alunitleşmenin yanı sıra kil mineralleşmesi (kaolinleşme) de gözlenmektedir. Silis ve alunit, kriptokristalin (taneleri gözle görülemeyecek kadar küçük olan kristallerden oluşan) yapıda birbiri içerisinde [2]. Cevher içindeki en önemli yan taş ocakta bölgesel olarak değişebilmektedir. Bu tez kapsamında çalışılan ilk numunede %50 seviyesinde kuvarsın ve %5 seviyesinde başta kaolin olmak üzere kil minerallerinin olduğu mineralojik ve kimyasal analizler sonucunda ortaya koyulmuştur. Çalışılan ikinci numunede ise yan taş yine %50 seviyesinde kuvars, %26 seviyesinde başta kaolin olmak üzere kil mineralleri içermektedir. Alunit mineralinden temel olarak potasyum sülfat ve alüminyum oksit üretimi hedeflendiğinden bunları sağlamak için uygulanacak olan kavurma ve liç işlemlerinden önce cevher içinde bulunan başta kuvars olmak üzere kil ve demirli bileşiklerin uzaklaştırılması gerekmektedir.

Bu tez kapsamında ETİ Maden İşletmeleri' ne ait Kütahya Şaphane alunit cevherlerinden ilk olarak kuvarsın ayrılmasına yönelik olarak zenginleştirme

alışmaları yürütülmüştür. Tezin ana amacını bu zenginleşme çalışmaları oluşturmaktadır. Daha sonra elde edilen temiz alunit konsantresinden de potasyum sülfat ve alüminyum sülfat retilabilirliği de araştırılmıştır.

Zenginleştirme çalışmalarında temel olarak flotasyon ile silis uzaklaştırılmasına yoğunlaşılmıştır. Alunit cevherinin literatürde bilinen ve endüstride kullanımı tercih edilen bir saflık derecesi saptanmamıştır. Ancak son ürün olarak alüminyumlu bileşik ve potasyum sülfat üretimindeki oluşabilecek maliyeti asgariye indirmek için ulaşılabilecek en yüksek tenör seviyesine fotasyon işlemi ile elde edinimi amaçlanmıştır.

Flotasyon işlemlerinde besleme olarak kullanılan yüksek tenörlü alunit numunesi ve düşük tenörlü alunit numunesi için 2 farklı iyileştirmeye gidilmiştir. Bu durumun nedeni başta da bahsedilmiş olduğu gibi numunlerin cevher içeriklerinin birbirinden farklı olmasıdır.

Bu amaçla flotasyon testleri yapılması ve gerekli test koşullarının belirlenmesi, elde edilebilecek ürün özelliklerinin ve miktarlarının ortaya konulması, çıkacak atıkların belirlenmesi işlemleri yürütülmüş ve elde edilen sonuçlar tartışılmıştır. Ardından gerçekleştirilmiş olan liç çalışmaları ile flotasyon konsantrelerinden potasyum sülfat (K_2SO_4) ve alümina (Al_2O_3) eldesinin mümkün olabilirliği araştırılmıştır.

2. ALUNİT CEVHERİYLE İLGİLİ GENEL BİLGİ

Alunit minerali ciddi miktarda alüminyum içeriğine sahiptir. Genel olarak verilen alunit kimyasal bileşimi, karmaşık yapısı nedeniyle gerçekte aluniti tam olarak ifade etmeyebilmektedir. Alunitler bünyelerinde $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ (alüminyum sülfat) ve K_2SO_4 (potasyum sülfat) gibi suda kolay çözünen iki bileşik içermesine rağmen yapılarından dolayı suda kolay çözünmemektedirler. Kayaçlar içinde tanecikler halinde, bazen de cep ve damar şeklinde yer almaktadır. Kristal şekli eşkenar dörtgen (rhombohedral) olmasına rağmen bu şekilde yaygın olarak görülmemektedir. Çoğunlukla kütlemsi, taneli, lifsi ve zaman zaman da beyaz-kırmızımsı ya da toprak renkli olarak ayırt edilebilmektedir. Kristal yapısında olanlar ise parlak ve camsı görünmektedir [4].

Alunitin kimyasal bileşimi Çizelge 2.1' de, fiziksel özellikleri ise Çizelge 2.2' de sunulmaktadır.

Çizelge 2.1 Saf alunit mineralinin kimyasal bileşimi [2]

Molekül ağırlığı 414.21 g.		
Potasyum	9.44 (K)	11.37 (K_2O)
Aluminyum	19.54 (Al)	36.92 (Al_2O_3)
Hidrojen	1.46 (H)	13.05 (H_2O)
Kükürt	15.48 (S)	38.66 (SO_3)
Oksijen	54.08 (O)	-

Çizelge 2.2 Alunit mineralinin fiziksel özellikleri [6]

Özellikler	
Renk	Beyaz, gri, sarımsı gri, kırmızımsı gri, sarımsı beyaz
Yoğunluk	2.59-2.9, ortalama 2.74
Saydamlık	Saydam-yarısaydam
Kırılma	Düzensiz
Kırınım	İyi
Doğası	Toprağımsı-sönük, kristal yapı göstermeyen kil görünümü vardır. Lifsi- fiber şeklinde lifsi yapıya sahip olabilmektedir. Masif – taneli olarak görülmektedir. Genel dokusu granit ve diğer magmatik kayaçlarda görülmektedir.
Sertlik	3.5-4 olup, Bakır Para-Florit arasında
Özgül Ağırlık	Ortalama 2.7 - 2.8+ (yarısaydam mineral ortalamasında)
Işıldama	Yok
Parlaklık	Seramiğimsi, incimsi
Çizgi Rengi	Beyaz

2.1. Alunit Cevherinin Genel Oluşum Jeolojisi

Alunit cevheri genel olarak riylit, dasit, andazit türü antiintermediyer volkanik kayaların hidrotermal alterasyonu sonucu oluşmaktadır. Kayaçlar içinde tanecikler halinde, bazen de cep ve damar şeklinde yer almaktadır. Kristal şekli eşkenar dörtgen (rhombohedral) olmasına rağmen bu şekilde yaygın olarak görülmemektedir. Çoğunlukla kütlemsi, taneli, lifsi ve zaman zaman da beyaz-kırmızımsı ya da toprak renkli olarak bulunmaktadır. Kristal yapısında olanlar ise parlak ve camsı görünüm oluşturmaktadır [6].

Riyolit ve riylitik tüflerin kırık, çatlak ve boşluklarında oluşan alunitler, iki tip cevherleşme göstermektedir. Birinci tip cevherleşmede ki alunitlerde, 3 - 10 cm kalınlığında çatlak dolgu şekli görülmektedir. Balmumu rengine olup, eşkenar dörtgen (rhombohedral) kristaller şeklinde bulunmaktadır. İkinci tip oluşumda ise alunit cevheri, alkali feldspat içeren kayaç ve tüflerde ramplasman (Metazomatoz: minerallerin yüksek sıcaklıkta yan kayaca nüfuz ederek yan kayacın kimyasını değiştirmesi olayıdır. Yeni mineral girişinden dolayı kayacın kimyasal yapısı değişerek başkalaşmaktadır. Bu başkalaşım sonucu genelde değerli madenler oluşmaktadır) ile oluşmuştur. Bu tip cevherleşme masif olup, alunit cevherleri kirli beyaz olarak görülmektedir [6].

2.2. Türkiye’de ve Dünya’daki Alunit Yatakları

Türkiye’deki en önemli alunit cevher yatakları 7.826.000 ton (gör+muh) rezervli ve % 1.67 K₂O tenörlü Giresun – Şebinkarahisar ’da, 4.000.000 ton (gör+muh) rezervli ve % 7.54 K₂O tenörlü Kütahya – Gediz’de, 5.400.000 ton (muh) rezervli İzmir – Foça’ da bulunan yataklar olarak sıralanabilmektedir [2] [4] [9] [6]. Bu yataklara ek olarak Kuzey-Batı Anadolu’da ekonomik açıdan değeri yüksek olan alunitik kaolin yatakları bulunmaktadır [4].

Dünyadaki önemli alunit cevheri yatakları arasında ise en büyük iki tanesi Amerika Birleşik Devletleri’nde bulunmaktadır. Bu yataklardan ilki Utah’ın güney-batısında yer almaktadır. Rezervinin 118 milyon ton, Al₂O₃ tenörünün ise %10’dan fazla olduğu düşünülmektedir. İkinci yatak ise Colorado’da olup her iki yatakta %9-15 Al₂O₃ tenörlü olduğu tahmin edilmektedir. Toplamda ortalama 20 milyon ton alüminyum rezervi olduğu varsayılmaktadır. Bunlar dışında bilinen alunit

yataklarının Rusya, Fransa, Macaristan, İtalya, Çin, Japonya, Avustralya, Azerbaycan' da bulunduğu bilinmektedir [4] [3] [15] [2] [6].

2.3. Alunitten Üretilen Endüstriyel Bileşikler, Kullanım Alanları ve Cevher İçerisindeki Safsızlıklar

Kuars alunit cevherinin başta gelen yan taşı olarak gözlemlenmektedir. Kil, feldispat, hematit, limonit, demir oksit, pirit, rutil, volkanik cam, pirofilit kuvarsla birlikte yan taş olarak bulunabilmektedir.

Bu nedenle bunları alunit cevherinden ayırarak mümkün olduğunca saf alunit konsantresi üretimi sonraki aşamalar için önem taşımaktadır. Alunitin karmaşık yapısının yanında diğer zor çözünür tuzlar gibi problemleri bir flotasyon davranımı göstermemesi, zenginleştirilmesi açısından önemli bir avantaj teşkil etmektedir. Bu nedenle genel zenginleştirme yöntemi olarak flotasyon göz önüne alınmaktadır.

Alunit ve alüminyum sülfat başlıca mühendislik yapılarının mukavemetinde kullanılan demir-çelik alaşımlarından sonra 2. sırada gelen alüminyum metali üretiminde kullanılabilmektedir. Ağırlıkça hafif bir metal olmasına rağmen, alüminyum metalinin alaşımlandırılması sağlanarak yapı çeliğinden daha mukavemetli hale getirilebildiği vurgulanmaktadır. Alüminyum ve alüminyum alaşımları bu kullanım alanı dışında kimya ve gübre endüstrisinde de çok çeşitli uygulamalarda kullanılmaktadır. Çimento endüstrisinde de çimentonun dayanıklılığını arttırmak amacıyla kullanıldığı bilinmektedir. Seramik sanayiinde dolomit ve kireç taşında ya da manyezit üretiminde katkı maddesi olarak [4], refrakter malzeme yapımında ve atık sularının içerisindeki fosfatın uzaklaştırılıp suyun saflaştırılmasında çöktürme kimyasalı olarak kullanılmaktadır. Bunlarla birlikte tekstil, deri, kağıt, arıtma sanayii ile eczacılık ve tıp alanında, kozmetik, şeker sanayii, yangın söndürme aletleri, boya ve vernik yapımında yararlanılmaktadır.

Alunit cevherinden potasyum sülfat da elde edilebilmektedir. Alunit cevheri değerli bir potasyum gübresi kaynağı (K_2SO_4) olarak kullanılmaktadır. Bugün yurdumuzda kullanılan potasyumlu gübre genellikle potasyum sülfattır. Potasyum sülfat gübre olarak en çok patates, tütün, sebze, meyve, turunçgiller, baklagiller, mısır, pamuk, şekerpancarı ve seralarda kullanılmaktadır. Halen yurdumuzda potasyumlu gübrelerin tamamına yakını ithalatla karşılanmaktadır [4] [2]. Aynı zamanda potasyum sülfat yeşil kum, polyhalite gibi su içinde çözünebilen potasyum

minerallerinden de elde edilebilmektedir. Fakat alunit cevherinin içeriğinde bulundurduğu kadar K_2O olmaması ve bu cevherlerin zenginleştirme işleminin daha karmaşık olması maliyetlerin artmasına neden olmaktadır [4].

Kuvars alunit cevherinin başta gelen yan taşı olarak görülmektedir [1] [15]. Silikat miktarı arttıkça alunit tenörü düşmekte ve bu da daha sonraki ısı ve kimyasal işlemleri hem zorlaştırmakta hem de işlem maliyetini arttırmaktadır.

Diğer taraftan alüminyum üretimi için kullanılan alunit mineralinin içerisindeki demirin çok olması durumunda liç ile alınması amaçlanan alüminyum ile beraber demir içeriğinin de çözünmesi söz konusudur. Bu durumda demirin alüminyum hidroksitten uzaklaştırılması gereksinimi oluşmaktadır[16]. Bu nedenle de mümkünse cevherden bu bileşenin de uzaklaştırılması gerekmektedir.

Kuvars ile birlikte kaolin minerali de alunit cevherinde gang minerali olarak görülmektedir. Bunun sonucu olarak kaolinin ayrılması amacıyla da çalışmalar yapılmıştır. Kaolin minerali, hem alunitin kalitesini arttırmak için hem de temiz kaolin üretmek amacıyla ayrılabilir. Yüksek kalitede saf kaolin minerali elde etmek amacıyla SO_3 bileşiği içeren alunit mineralinin ayrılması, sadece kaolin ayırmak için değil alunit cevherinin zenginleştirilmesi açısından da önem arz etmektedir [17] [18]. Özellikle seramik yapımı açısından bakıldığında alunit minerali, içeriğindeki SO_3 nedeniyle kaolin minerali için kirletici madde olarak görülmektedir. Çünkü seramik endüstrisinde alunit içeriği yüksek olan kaolin minerali, yüksek derecelerde ısıtılan seramik ürününün yüzeyinde küçük noktalar oluşturması nedeniyle tercih edilmemektedir. Bu nedenlerden dolayı kaolin mineralinde bulunan aluniti uzaklaştırmak amacıyla flotasyon ve çökelme çalışmaları yapılmıştır [12] [4].

2.4. Alunit Minerali Üzerinde Yapılmış Olan Çalışmalar

Alunit, anortozit, kil, boksit gibi başlıca alüminyum minerallerinin zenginleştirilmesi ve üretime geçilmesi açısından bazı zenginleştirme işlemleri geliştirilmiştir. Günümüzde alüminyum kaynağı olarak boksit dışındaki mineral alternatiflerinin zenginleştirilmesi düşünülse de ekonomik olarak boksit mineraliyle karşılaştırıldıklarında üzerlerinde çalışılması ve zenginleştirilmesi çok çekici gelmemektedir. Boksit mineralinin içeriğinde yaklaşık >50 % alüminyum miktarı mevcuttur. Bununla birlikte diğer alüminyum minerallerinin içeriklerindeki alüminyum miktarı % 25 – 35 arasında değişmektedir. Saf alüminyum üretimi amacıyla diğer

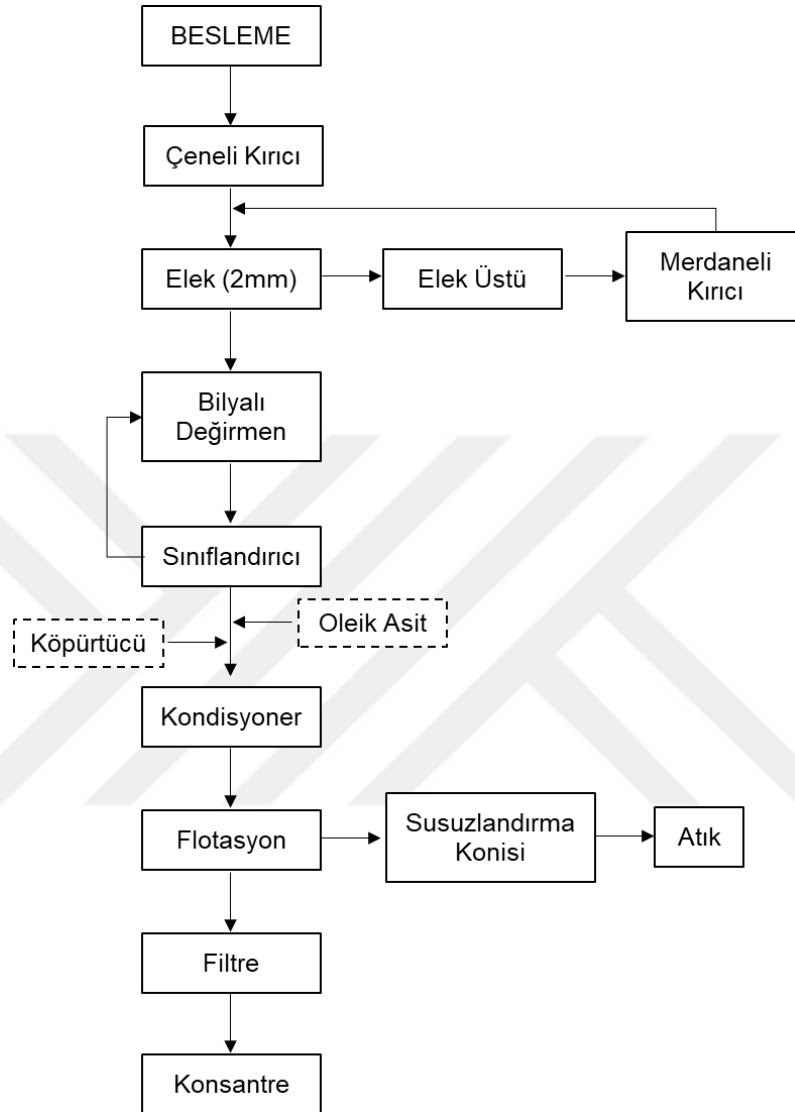
alüminyum minerallerini gerekli alüminyum bileşik formuna getirebilmek için (Al_2O_3 , AlCl_3) karmaşık zenginleştirme işlemi ve gerekli olan yüksek enerji miktarı bu cevherler üzerindeki çalışmaların azalmasına neden olmuştur [9]. Ancak, bu koşullar göz önüne alındığında dahi, diğer alüminyum mineralleri üzerinde çalışılması ve yeni zenginleştirme yöntemleri geliştirilmesi, artan boksit fiyatları ve artan diğer masraflar nedeniyle uzun süredir gündemdedir. Bununla beraber Al_2O_3 eldesi için yapılan H_2SO_4 liçi uygulaması hem işlem yönünden hem de ekonomik açıdan birçok problem içerdiğinden benimsenmesi zor olmaktadır. Bu problemlerden bir kaçı olarak kullanılmak istenen sülfürik asitin yüksek maliyeti, $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ mineralinin susuzlandırılması için yüksek enerji tüketim maliyeti, $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ mineralinin oldukça kötü filtreleme özelliğine sahip olması ve saf ürünlere ulaşılmasında zorluk çekilmesi olarak sıralanabilmektedir [13]. Alüminyum üretiminde zorluklar olmasına karşın, özellikle potasyum sülfat (K_2SO_4) üretiminde kullanılıyor olması, alunitin çekiciliğinin devam etmesine neden olmaktadır.

Genel olarak değerlendirildiğinde alunit cevheri için yapılan çalışmalar, flotasyon, liç, manyetik ayırma, flokulasyon zenginleştirme yöntemlerini içermektedir. Zenginleştirme aşamaları için yapılmış olan ve bu çalışmanın altyapısının oluşturulmasını sağlayan çalışmalar aşağıda özet halinde sunulmuştur.

2.4.1. Alunit Cevheri Üzerinde Yapılan Flotasyon ve Diğer Zenginleştirme Çalışmaları

Gabriel ve Dasher'ın yapmış oldukları çalışmada Enumclaw'daki ve Utah'daki alunit yataklarından alınan 2 numune üzerinde karşılaştırmalı çalışmalar yapılmıştır. Farklı yataklardan alınan 2 numunenin de ortalama alunit içeriğinin %41.9 olduğu belirtilmiştir. -150 μm ' ye öğütülmüş alunit cevherleri 3 farklı toplayıcı ile flotasyona tabii tutulmuştur. Oleik ve hindistan cevizi yağ asitleri bu toplayıcılardan ikisidir. Hindistan cevizi yağ asitlerinin kullanılan diğer toplayıcılara göre daha seçimli ancak daha az kuvvetli olduğu, oleik asitlerinin ise daha kuvvetli oldukları için daha iyi sonuçlar verdiği bu çalışmada belirtilmektedir. Utah'dan alınan alunit cevherinde %64.7 verim ile %66.6 alunit tenörüne ulaşıldığı belirtilmekle birlikte Enumclaw'dan alınan alunit mineralinde ise aynı flotasyon koşulları altında %79 verimle %76.5 tenöre ulaşıldığı vurgulanmaktadır. Yapılan çalışmada bastırıcı olarak kullanılan sodyum silikatın (Na_2SiO_3) kuvars ve demir minerallerini bastırmakta başarılı olduğu açıklanmaktadır. Makalede, bahsedilen alunit yataklarına pilot tesis ölçekli flotasyon

çalışması da yapıldığı söylenmekle birlikte yukarıda verilen verim-tenör değerlerine oranla daha düşük ancak yaklaşık değerler elde edildiği belirtilmiştir. Akım şeması Şekil 2.1’ de gösterilmektedir [15].



Şekil 2.1 Gabriel ve Dasher tarafından yapılan çalışmanın akım şeması [15]

Alunit flotasyonuna yönelik yapılan bir diğer çalışma ise Karantzavelos tarafından 1985 yılında gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada pilot tesis ölçekli flotasyon ile zenginleştirme de yapılmıştır. Kullanılan cevherin %25 – 50 alunit içeriğine sahip olduğu serbestleşme boyunun ise -38 μm gerçekleştiği belirtilmektedir. Bu çalışmada, -5mm'ye kırılan cevherin bilyalı değirmende öğütmeye tabii tutulduğu, daha sonra ise spiral sınıflandırıcı ile 45 mikrometrenin altında kalan kısmın uzaklaştırıldığı vurgulanmaktadır. Flotasyon sırasında pH değerinin sodyum hidroksit ve/veya sodyum karbonat (NaOH , Na_2CO_3) ile 9.5 – 10.5 arasında tutulduğu, kuvarsi bastırmak için ise tekrar sodyum silikat (Na_2SiO_3) kimyasalının

kullanıldığı, toplayıcı olarak ise yağ asitlerinin tercih edildiği (Aeropromoter 723, Aeropromoter 845) belirtilmektedir. Bu çalışmada laboratuvar flotasyon test veriminin %75, tenörünün ise %92.30 olduğu, pilot ölçekli tesis flotasyon veriminin %78, tenörünün ise %94.30 'a ulaştığı vurgulanmaktadır [13].

Miller ve Ackerman'ın 1980 yılında yine alunit cevheri için yaptıkları çalışmada kavurma, su liçi ve ardından alunit minerali için modifiye edilmiş Bayer prosesi sonucunda daha temiz potasyum sülfat (K_2O) ve alumina (Al_2O_3) ürünü elde edebilmek amaçlanmıştır. İlk olarak silikat ve diğer kirletici mineralleri uzaklaştırılmasını sağlamak, enerji tüketimini azaltmak, işlem verimini arttırmak ve kapasiteyi yükseltmek amacıyla flotasyon uygulamasının nasıl sonuçlar vereceği araştırılmıştır. Bu araştırma için Güney – Batı Utah' da bulunan Wah – Wah Dağlarından çıkarılmış olan alunit cevheri kullanılmıştır. Bu cevherin içeriği Çizelge 2.3' de sunulmaktadır [1].

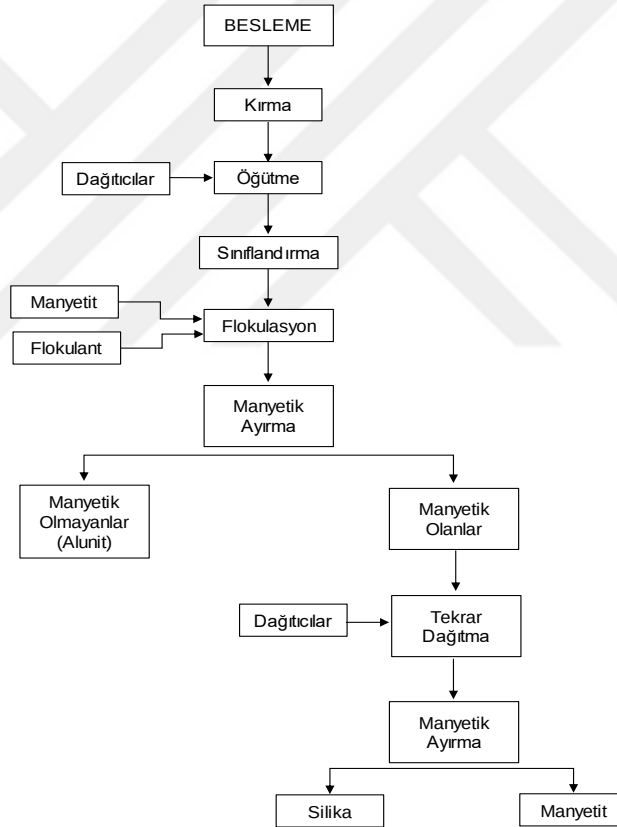
Çizelge 2.3 Güney – Batı Utah'da bulunan Wah – Wah dağlarından çıkarılmış olan alunit cevherinin kimyasal ve mineralojik yapısı [1]

Kimyasal		Mineralojik	
Elemental	%	Mineral	%
Al	9.66	Alunit	45
K	4.20	Kuvars	55
Na	0.21		
S	7.58		
Si	22.50		
Fe	0.80		

Bu çalışmada, tane boyu, toplayıcı miktarı, optimum sıcaklık, bastırıcı miktarı, yüzde katı oranı, şlam uzaklaştırılması gibi parametrelerin flotasyon performansı üzerindeki etkisi incelenmiştir. Tane boyu azaldıkça verimin arttığı ancak tenörün azaldığının çalışmalarla ortaya koyulduğu vurgulanmaktadır. Toplayıcı dozajlarına göre, farklı tane boylarında, farklı sıcaklıklarda ve farklı tane boylarından şlam atılarak deneyler yapılmıştır. Bu çalışmalara ve mineralojik incelemelere göre literatürdeki diğer çalışmalarda olduğu gibi cevherde serbestleşmenin daha çok olduğu boy olarak -38 μm olduğu belirlenmiştir. Cevher kırma – öğütme aşamalarıyla -38 μm 'nin boyun altına indirilmiştir. Ardından kil fraksiyonunun yüksek olduğu -11 μm şlam olarak uzaklaştırılmıştır. Flotasyon uygulamasında %15 katıdaki palpın pH'ı deney koşuluna göre potasyum hidroksit (KOH) ve hidrojen

klorür (HCl) ile 8 değerine ayarlanmıştır. Bu çalışmalarda, bastırıcı olarak sodyum silikat (Na_2SiO_3) toplayıcı olarak ise potasyum oleat kullanılmıştır. Araştırmanın sonucu olarak şlam atılmış numunede; kaba flotasyonda %89.3 verim ile %83.6 tenöre ulaşıldığı, temizleme aşamalarından sonra ise %58 verim ile %95 alunit tenörü elde edildiği belirtilmektedir [1].

Hwang, Kullerud, Takayasu tarafından yapılan çalışmada kullanılan alunit cevher beslemesinin %45 alunit %55 kuvars minerali içerdiği vurgulanmaktadır. Cevher içeriğindeki serbest kuvars tanelerinin manyetit ile salkımlaştırılarak topaklandırılmasıyla alunitten manyetik ayırıcılarda ayrılabilirdiği ve %90 alunit içeren bir konsantrenin %80 verimle alınabileceği belirtilmiştir [3]. Şekil 2.2' de yapılan çalışmanın akım şeması sunulmuştur.



Şekil 2.2 Hwang, Kullerud, Takayasu tarafından yapılan çalışmanın akım şeması [3]

Alunit cevheri üzerindeki flotasyon çalışmalarından biri de 1998 yılında Gebhardt, Piga, Schena tarafından yapılmıştır. İtalya'da bulunan Tuscany'deki Piloni – Tormiella bölgesindeki alunit yatağından alınan 2 adet numune üzerinde dağıtma, koagülasyon, flokulasyon ve flotasyon çalışmaları yapılmıştır. Her iki numunenin de içeriğinde bulunan bileşikler ve mineral kompozisyonları Çizelge 2.4' de

verilmektedir. Bununla birlikte her iki numunedeki fraksiyonel alunit içerikleri Çizelge 2.5’de sunulmuştur [12].

Çizelge 2.4 Numune 1’in ve Numune 2’nin mineral içerikleri ve kompozisyonları [12]

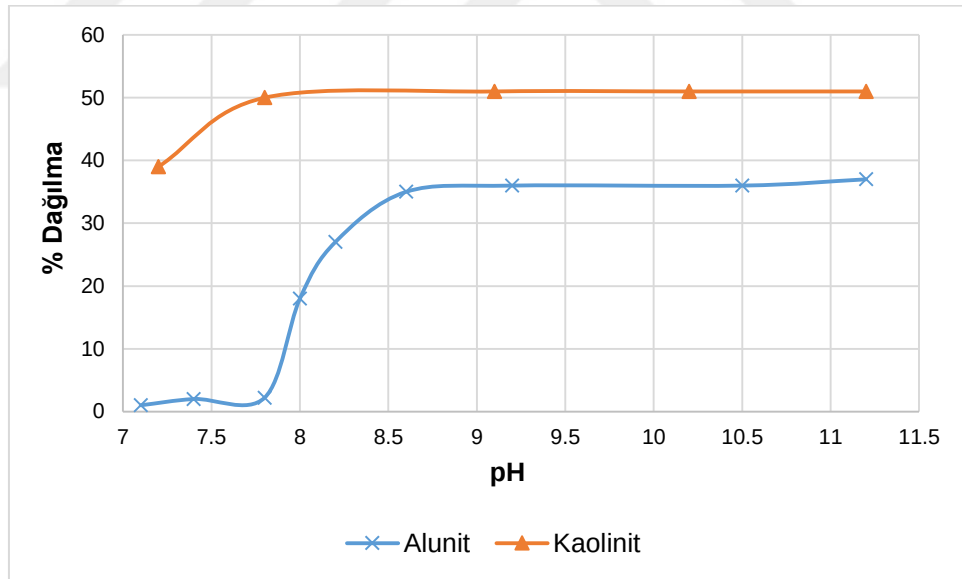
	Numune 1	Numune 2
İçerik	%	%
SiO ₂	58.80	58.60
Al ₂ O ₃	20.80	18.50
Fe ₂ O ₃	1.10	0.90
K ₂ O	1.90	2.90
SO ₃	1.60	4.30
Alunit	4.20	11.00
Feldspar	8.70	9.90
Kaolinit	41.90	29.90
Kuvars	32.40	37.30

Çizelge 2.5 Numune 1 ve Numune 2’de alunit mineralinin fraksiyonlara göre dağılımı [12]

Numune 1			Numune 2		
Tane Boyu (µm)	Ağırlık %	Alunit %	Tane Boyu (µm)	Ağırlık %	Alunit %
+215	48.50	5.30	+1000	5.00	7.18
-215 + 208	11.60	4.50	-1000 + 701	3.40	3.49
-208 + 147	9.50	5.40	-701 + 500	6.40	3.49
-147 + 104	4.60	4.70	-500 + 355	7.20	4.01
-104 + 74	4.70	5.60	-355 + 250	6.90	4.79
-74 + 53	1.60	5.00	-250 + 90	14.80	6.34
-53 + 38	2.60	4.70	-90 + 63	4.70	7.31
-38	16.90	4.70	-63 + 44	2.90	26.07
			-44 + 31	1.80	8.67
			-31 + 22	3.00	7.96
			-22 + 16	2.50	9.19
			-16 + 12	1.50	9.83
			-12	39.30	12.68

Çizelge 2.5’ den de anlaşıldığı üzere numune 1’de ki alunit içeriğinin her fraksiyonda hemen hemen birbirine yakın değerler verdiği görülmektedir. Buna karşın, numune 2’deki alunit içeriğinin tane boyu küçüldükçe arttığı gözlemlenmektedir. Yapılan

çalışmada, dağıtma işlemi için her iki numunede gerçekleştirilmiş olup, yine her iki numune de 75 µm'ye öğütüldükten sonra 500 ml'lik silindirlerde %2 katıda 25 defa döndürülme işlemine tabi tutulmuştur. Şekil 2.3' de de görüldüğü üzere kaolinit minerali pH 7-11 değerleri arasında %50 dağılma göstermektedir. Bu duruma karşılık olarak alunit minerali ise pH 8 değerinin altındayken topaklanmaktadır. pH 9'dan sonra ise yine alunit mineralinin durağan bir dağılma göstermekte olduğu belirlenmiştir. Bu sonuçlar çalışmada Çizelge 2.6 'da verilen sıfır yük noktası (pzc) değerleri ile karşılaştırılmıştır. Yüksek sıfır yük noktasına sahip alunitin dağılma davranımı, düşük sıfır yük noktasına sahip kaolinitin dağılma davranımı ile farklılık göstermiş olduğu görülmüştür. pH değerindeki kontrol ile koagülasyonun ve seçimli çökelmenin mümkün olabileceği ve buna dayalı bir ayırımın yapılabileceği çalışmada belirtilmektedir. Bu testlerde, silikat minerallerinin dağılması için dağıtıcı olarak sodyum silikat, alunit minerallerinin bir araya gelebilmesi için ise anionik polimer olan (Super-floc A-150) bir flokulant kullanıldığı söylenmektedir. Bu işlemler için kullanılacak olan ortamın alkali olmasının en iyi sonucu verdiğinin saptandığı vurgulanmaktadır [12].



Şekil 2.3 Farklı pH değerlerinde alunit ve kaolinit minerallerinin dağılımı [12]

Çizelge 2.6 Çizelgede belirtilen minerallerin sıfır yük noktası (pzc) değerleri [12]

Mineral	Sıfır Yük Noktası	Referans
Kuvars	1.8	Parks. 1965
Feldispar	1.5 - 2.0	Bollin, 1983
Kaolinit	0.5	Poirier, 1984
Alunit	10.5	Ney, 1973

Aynı çalışmada cevhere flotasyon testleri de uygulanmıştır. Flotasyon işleminin hemen öncesinde cevher %70 katıda aşındırma işlemine tabi tutulduktan sonra ürünün 38 µm 'nin altında kalan kısmına flotasyon uygulandığı belirtilmiştir. Bu çalışmada toplayıcı olarak 1.7 g/t AP765 (oleik ve linoleik asit ve az miktarda çam sakızı içeren saflaştırılmış yağ asidi) ve 0.8 g/t AP845 (alkali anionik), bastırıcı olarak sodyum silikat kullanıldığı vurgulanmaktadır. Sodyum hidroksit (NaOH) veya hidroklorik asit (HCl) ile pH değerinin 6.5 değerine ayarlandığı ve %15 katı ile flotasyonun gerçekleştirildiği belirtilmektedir. Bu çalışmada flotasyon işlemi için vurgulanan asıl kısım sodyum silikat dozajının kritik olduğu ve numune 1 için bu kritik değer göz önüne alındığında yaklaşık %65 verim ile %50 tenörlü alunit konsantresi alındığı, numune 2 için ise verimin %85 değerlerine çıktığı tenörün ise %60 olarak gözlemlendiği belirtilmektedir [12].

Bentli, Yüzer ve Çelik 2009 yılında diğer çalışmalarda ağırlıklı olarak yaptıkları gibi alunit cevheri üzerinde flotasyon çalışmaları gerçekleştirerek mineral yapısının içerisinde bulunan silisi uzaklaştırmaya çalışmışlardır. Bu çalışmada kullanılan alunit yine bu tezde olduğu gibi Kütahya ilinde bulunan Şaphane bölgesinden temin edilmiştir. Temin edilen cevherin %50.69 oranında alunit içerdiği, %43.21 ve %8.83 oranlarında ise kuvars ve kaolin içerdiği vurgulanmaktadır. İlk olarak 20 mm'ye kırılan cevherin içerisindeki -1 mm fraksiyonunun yüksek orandaki kaolin içeriğinden ve olası şlam etkisinden dolayı ayrıldığı belirtilmektedir. Sonrasında cevherin tamamı 3 mm'ye indirilmektedir. Ardından mineral %30 katı oranı ile seramik bilyalı değirmende farklı tane boylarına indirilmiştir. Farklı tane boylarında, farklı toplayıcı (K – Oleat) ve bastırıcı (Na_2SiO_3) miktarlarında, farklı pH değerlerinde, farklı % katı oranlarında ve yine optimum köpürtücü (çam yağı) miktarında birçok test yapıldığı ve bu testlerin sonucunda optimum koşullara ulaşıldığı vurgulanmıştır. Bu koşullar - 75 µm'de, 3500 g/t K – oleat, 1000 g/t Sodyum silikat (Na_2SiO_3) , pH=9, %20 katı

ve 10 g/t çam yağı olarak özetlenebilmektedir. Bu optimum koşullarda elde edilen kaba konsantreye temizleme flotasyonu uygulanarak alunit konsantresinin %50.1 verimle %77.05 tenöre ulaştığı vurgulanmaktadır [4].

2.4.2. Alunit Cevheri Üzerinde Yapılan Liç Zenginleştirme Çalışmaları

Alunit cevherinin yan taşları olan silikatlar, killeri ve demirli bileşikler flotasyon işlemiyle sonraki zenginleştirme aşamalarına geçmelerini engellemek için uzaklaştırılmaları hedeflenmiştir. Bu istenmeyen yan taşlar bir sonraki aşamalardaki enerji ve reaktif tüketimini azaltmak, işlem verimini arttırmak için azami düzeyde uzaklaştırıldıktan sonra, elde edilen temiz alunit konsantresine potasyum sülfat (K_2SO_4) ve alumina (Al_2O_3) bileşiklerini elde etmek amacıyla liç işlemi uygulanabilmektedir.

Alunit için liç uygulamaları 1920'li yıllarda geliştirilmiş olan %20 ile %75'lik sülfürik asit çözeltisinde 48 saat boyunca 200°C 'de çözündürmeye dayanmaktadır. Sülfittenmiş bileşik, asit içinde çözündürüldükten sonra soğutma ya da buharlaştırma ile kristarilize edilmekte ve oluşan $Al_2(SO_4)_3$ ve/veya $KAl(SO_4)_2$ bileşik Al_2O_3 elde etmek amacıyla kavurma işlemine tabii tutulmaktaydı. Daha sonra oluşan yapı su içinde çözündüğünden K_2SO_4 eldesi için su liçine tabi tutulmaktaydı [20].

Ogburn ve Stere tarafından 1931 yılında yapılan çalışmada ise Amerika Utah'da ki alunit rezervlerinden alınan numuneler kullanılarak farklı bir çalışma yürütülmüştür. Çizelge 2.7' de bu çalışmada kullanılan alunit cevherinin genel kimyasal bileşimi sunulmuştur [21].

Çizelge 2.7 Farklı rezervlerden alınan alunit içeriğinin analizleri [21]

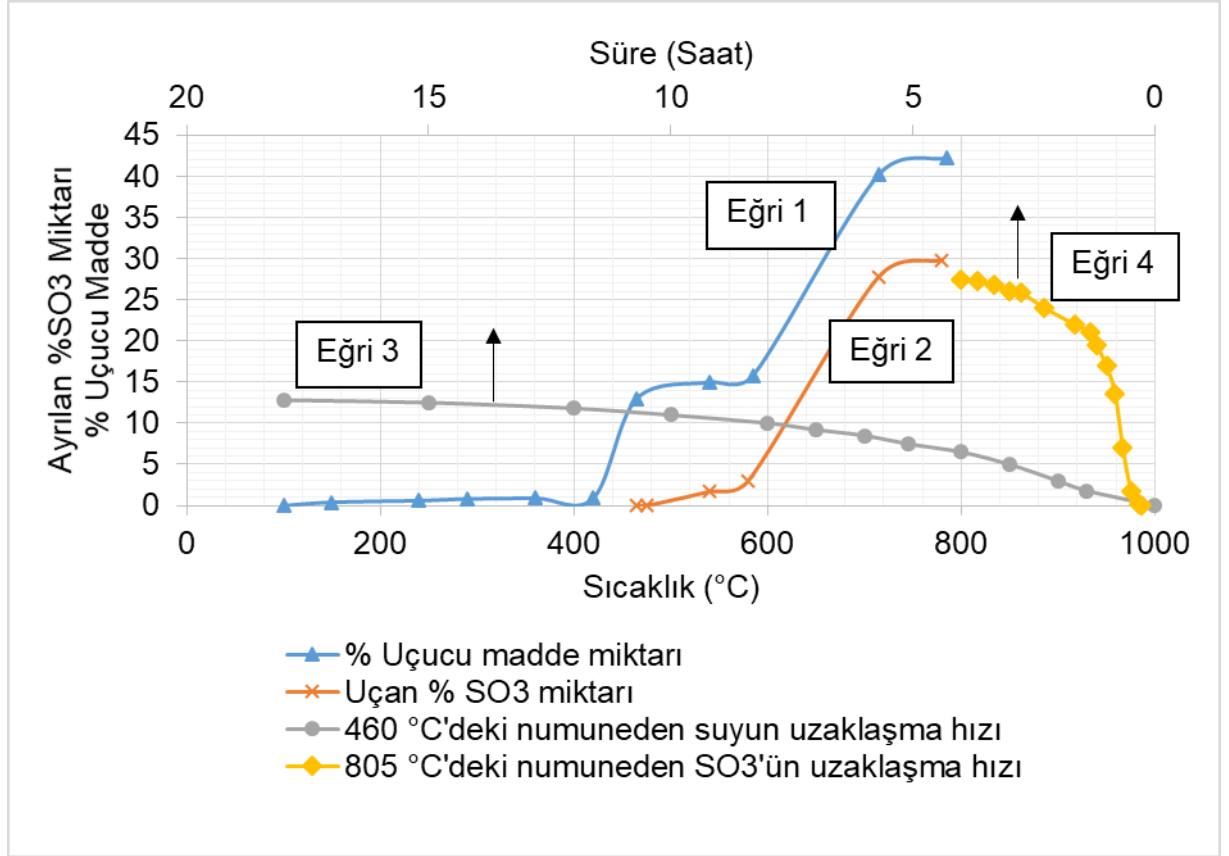
Maryavale Utah	%				
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	SO ₃	K ₂ O	Na ₂ O
	0.95	38.88	35.52	40.21	0.56
	Fe ₂ O ₃	MgO	H ₂ O(a)	H ₂ O(b)	
	0.13	0.84	0.14	13.02	

a:105° C'de suyu alınan numune

b:460° C'de su bileşikleri ayrılan numune

Bu çalışmada -400 µm'ye kırılmış olan numune de öncelikle sıcaklık arttıkça oluşan kütleli değişim incelenmek istendiği belirtilmiştir. Bunun için 100 - 850° C'de numunelerin kavrulduğu açıklanmaktadır. Bu çalışmada cevherin içeriğindeki bağlı suyun 460°C'de uzaklaştığı, kükürt trioksitin ve kükürt dioksitin ise 460 °C ile 800 °C arasında (sırasıyla %90 ve %10 oranlarında) uzaklaştığı belirtilmektedir. Bu

durum Şekil 2.4' de gösterilmektedir. Eğri 1 sıcaklığa bağlı % uçucu madde miktarını, eğri 2 ise yine sıcaklığa bağlı uçan % SO₃ miktarını vermektedir. Eğri 3 ise 460 °C'deki numuneden suyun uzaklaşma hızını, eğri 4 ise 805 °C'deki numuneden SO₃'ün uzaklaşma hızını vermektedir.



Şekil 2.4. Bozunmada sıcaklığın etkisi ile su ve SO₃'ün uzaklaşma hızları [21]

SO₃ uzaklaşma hızı özellikle başlangıçta yüksekken daha sonra yavaşlamaktadır. Su ise 10 saatten daha uzun bir zaman aralığında yapıyı terk etmektedir. 4 saatlik 805° C' de kavurma işleminin ardından kalan kükürt trioksit %16.78 olarak belirlendiği ve bu içeriğin de potasyum oksit ve sodyum oksit ile birleşerek sülfat oluşumunu sağlaması için gerekli olduğu belirtilmektedir.

Bu çalışmada potasyumun sülfat yapısının kavurma ile bozunmadığı vurgulanmıştır. %5 katılı 90° C'de 2 saat boyunca su liçi ile potasyum sülfatın %97 verim ile %99.26 tenörde alındığı belirtilmektedir. Yapılan su liçinin ardından çözünmeyen kısım büyük oranda alüminyum oksit, daha az oranda ise silika, demir oksit, magnezyum oksit içerdiği belirtilmektedir. Su liçi öncesi kavurma işlemine maruz bırakılan

cevherin ve su liçi sonrası çözünmeyen ürünün içeriği Çizelge 2.8’ de sunulmuştur [21].

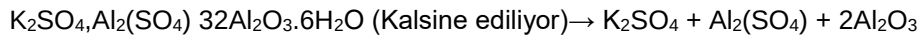
Çizelge 2.8 Su liçi öncesi kavurma işlemine maruz bırakılan cevherin ve su liçi sonrası çözünmeyen ürünün içeriği [21]

Kimyasal İçerikler	Alunit Besleme	Kalsine Edilmiş Alunit	
		Liç Yapılmamış İçerik	Liç Yapılmış İçerik
		%	
SiO ₂	0.95	1.29	2.3
Al ₂ O ₃	38.38	63.28	92.4
Fe ₂ O ₃	0.13	2.11	2.73
SO ₃	35.52	16.31	0.43
K ₂ O	10.21	14.89	0.5
Na ₂ O	0.56	0.89	-
MgO	0.84	1.08	2.03
H ₂ O	13.02	-	-

Çizelge incelendiğinde kavurma işlemini takiben su içinde yapılan çözündürme işlemi ile cevher yapısındaki potasyumun önemli ölçüde çözündüğü, bununla birlikte silis ve alüminanın çözünmeyen kısımda kaldığı açık olarak anlaşılmaktadır [21].

Mccullough’ın 1934’ de yaptığı çalışmada ise asıl amacın alunit cevheri içerisinde bulunan potasyumlu ve alüminyumlu bileşiklerin ayrılmasını sağlamak ve diğer safsızlıkları bu iki cevherden uzaklaştırmak olarak özetlenmektedir. Bir diğer amaç ise kullanılan sülfirik asit ve cevherden alınan potasyum hidroksit gibi kimyasal içeriklerin tekrar kullanılmasını sağlayabilecek bir metot ortaya koymak olarak açıklanmaktadır. Bu amaçlarla, ham haldeki cevherin ısıtma işlemine maruz bırakıldıktan sonra içerisinde bulunan suyu büyük oranda aşağıdaki reaksiyona göre kaybettiği belirtilmektedir [22].

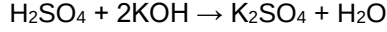
Tepkime 1



Kalsine edilen cevher sülfirik asitte çözündürmeye maruz bırakılmakta, böylece alüminyum oksit (Al₂O₃)’ in alüminyum sülfat (Al₂(SO₄)₃)’ a, cevherin içerisinde safsızlık olarak bulunan demir ve diğer metalik tuzların da çözünebilir sülfata çevrildiği belirtilmektedir. Sonrasında çözünmeyen silika (SiO₂) filtre edilip

uzaklaştırılmakta, içerisinde çözünebilir tuzların bulunduğu çözelti, aşağıdaki reaksiyonu oluşturmak için potasyum hidroksite maruz bırakılmaktadır.

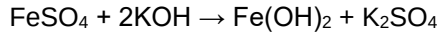
Tepkime 2



Tepkime 3

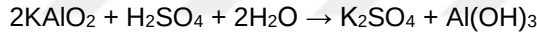


Tepkime 4



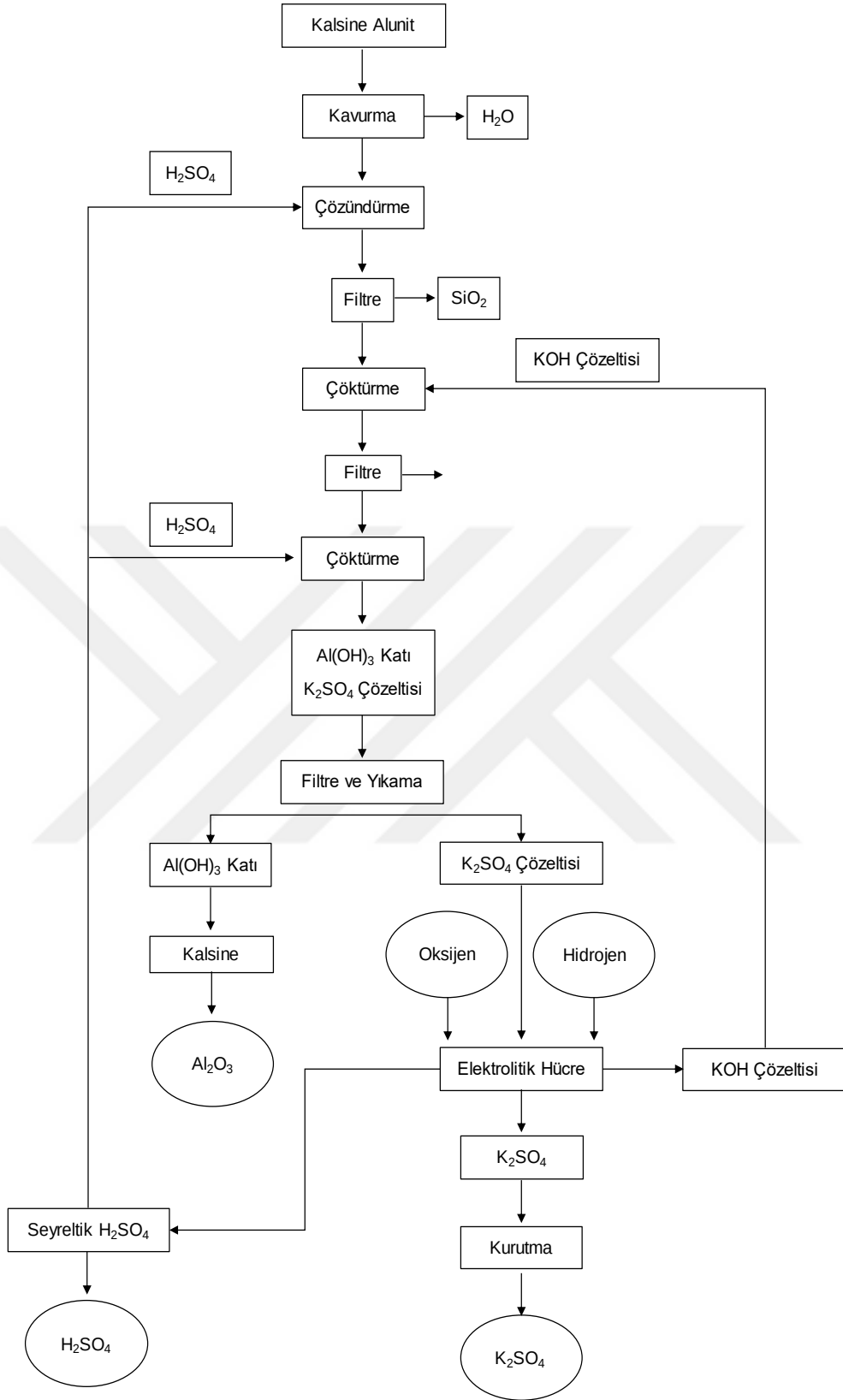
Yukarıdaki reaksiyondaki potasyum hidroksit eğer sınırlı miktarda ise alüminyum alüminyum hidroksit olarak ($\text{Al}(\text{OH})_3$), eğer gereken miktardan fazla ise de potasyum alüminat (KAlO_2) olarak çökeltme gösterdiği ve bu bileşiğin yine bir çözünebilir tuz olduğu açıklanmaktadır. Bu yöntemde reaksiyonlar sonucu oluşan $\text{Fe}(\text{OH})_2$ çözünemediği için filtre edilerek uzaklaştırıldığı belirtilmektedir. Çözelti içinde oluşan potasyum hidroksiti sülfirik asit ile nötralize edip alüminyum içeriğini $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ olarak çökeltmesine izin vermeden $\text{Al}(\text{OH})_3$ olarak çökeltmesi amaçlanmıştır (Tepkime 5).

Tepkime 5



Elde edilen $\text{Al}(\text{OH})_3$ filtre ile alındıktan ve su ile yıkandıktan sonra alüminyum oksite (Al_2O_3) çevirmek amacıyla kalsine edilmektedir. Filtre altına geçen çözünen kısmın ise sadece potasyum sülfat içerdiği düşünülmektedir. Bu ürün ise elektrolize maruz bırakılarak sülfirik asit ve potasyum hidroksit ayrımının yapıldığı belirtilmektedir.

Yukarıda anlatılan işlemlerin akım şeması Şekil 2.5' de verilmektedir [22].



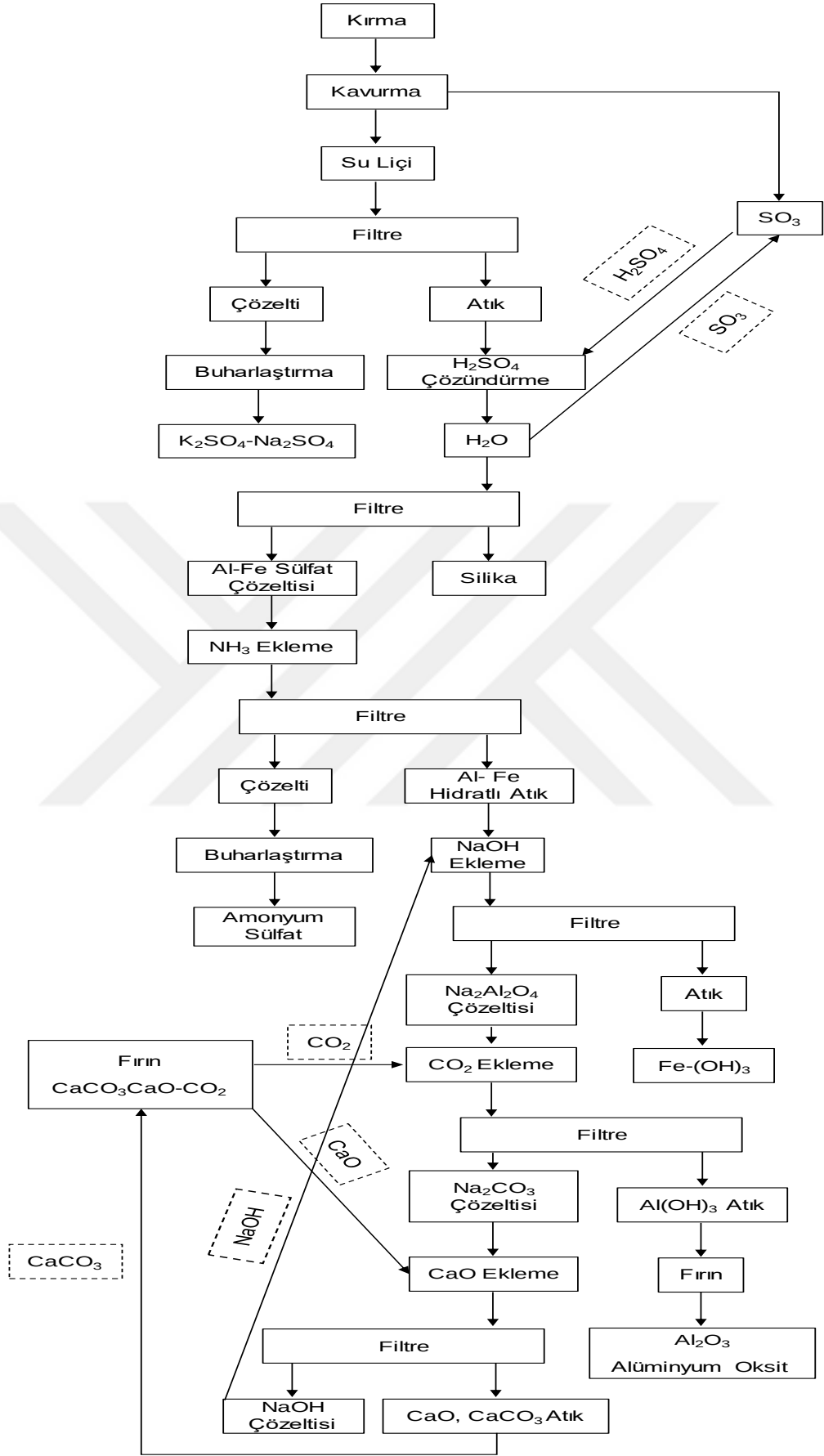
Şekil 2.5 Mccullough, 1934, tarafından yapılan çalışmanın akım şeması [22]

Haff ve Steinman'nın 1946' da yaptıkları çalışmada ise Çizelge 2.9' da kimyasal içerik analizleri verilmiş olan numune besleme olarak kullanılmıştır [16].

Çizelge 2.9 Haff, Steinman'nın yaptıkları çalışmada kullanılan beslemenin içeriği

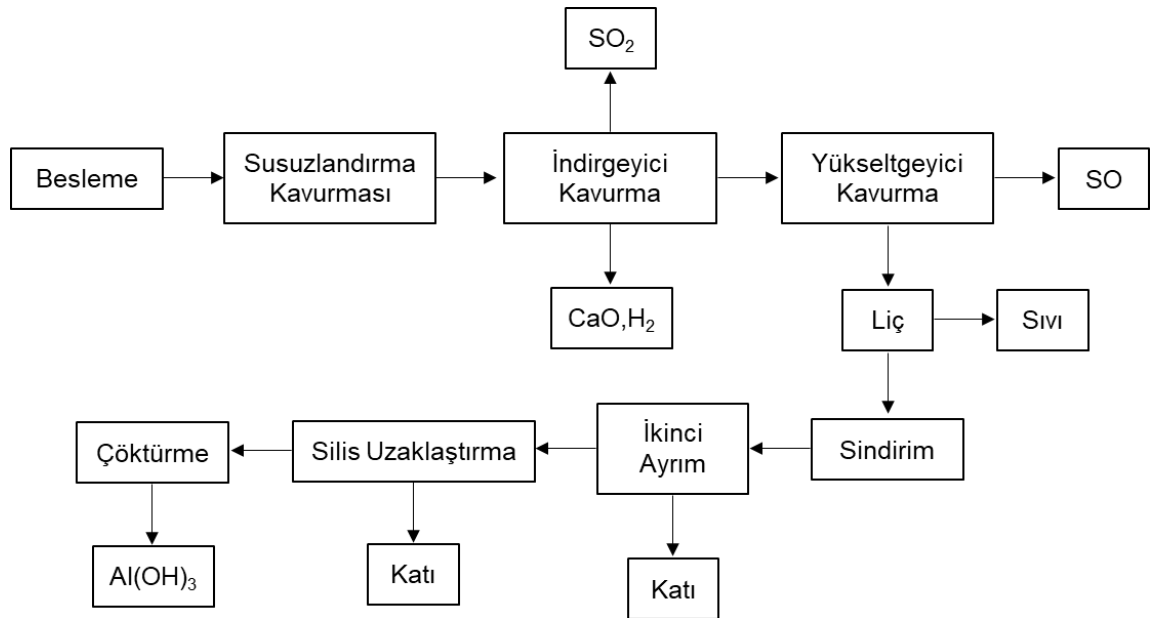
Kimyasal İçerik	Numune			
	No: 1	No: 2	No: 3	No: 4
	%	%	%	%
Al₂O₃	33.60	37.10	33.25	30.45
SiO₂	15.40	4.04	23.56	19.11
SO₃	31.48	35.62	28.6	30.92
K₂O	7.56	10.29	6.92	7.26
Na₂O	0.16	1.33	3.73	3.27
Bağlı Nem	10.50	10.50	-	6.88
FeO₂	-	0.02	0.60	1.80
MgO	-	0.18	0.28	0.12
Ca	1.40	-	0.90	-

Bu çalışmada 595 µm'ye kırılan ve elenen cevher içerisindeki alüminaya bağlı olan sülfür trioksiti ayırmak için cevher 750 - 950° C arasında sıcaklığa, daha sonra potasyum sülfat ayırımı için kalan kısım su liğine maruz bırakılmaktadır. Çözünmeyen kısımda yer alan alumina, silika, demir ve titanyum karışımı bileşik asit çözeltisi içerisinde ısıtıldığı belirtilmektedir. Asit içerisinde çözünmeyen alüminyum sodyum veya potasyum aluminat olarak çözünebilmesi ve çözünmeyen hidroksitlerin uzaklaştırılabilmesi için içerisinde potasyum veya sodyum hidroksit eklendiği vurgulanmaktadır. Çözünmeyen demir çözelti içerisinde süzülerek ayrıldıktan sonra çözelti içerisinde kalan sodyum veya potasyum aluminatı, çözünebilir sodyum veya potasyum karbonata ve çözünmeyen alüminyum hidroksite çevirebilmek amacıyla çözeltiye karbondioksit eklenmektedir. Ardından ısıtılan çözeltiden alüminyum oksit alınabilmektedir [16]. Şekil 2.6' da bu yöntemin akım şeması ayrıntılı olarak sunulmuştur.



Şekil 2.6 Haff, Steinman tarafından yapılan çalışmanın akım şeması [16]

Stevens, Forberg, Jennings, Stephens, Bowen, Thompson, Copenhaver'ın 1975 yılındaki çalışmasında ise alunit cevherinden alüminyum hidroksit elde edilmesi amaçlanmaktadır. Bu amaçla, 3 aşamalı 400 – 850° C' de, 6 saate kadar kavurma işlemi gerçekleştirilmektedir. İlk kavurma aşamasında cevherin içeriğindeki su ayrılmakta, ardından indirgeyici olarak atmosfer içindeki hidrojen, hidrokarbon, karbon monoksit ya da hepsinin karışımının kullanıldığı hava ortamında sülfürün ayrılması için ikinci kavurma işlemi yapılmaktadır. Üçüncü kavurma işleminde ise yükseltgen madde olarak oksijen ve atmosfer altında ikinci kavurmada oluşmuş olan sülfidlerin dönüştürülmesi sağlanmaktadır. Kavurma ürünü, potasyum sülfatı elde etmek için 500 µm'ye öğütülüp %25 katıda, 75 - 80° C' de 1 saat boyunca su veya alkalin liçine tabii tutulmaktadır. Su liçinde çözünmeyen kısım ayrılıp, %30' luk sodyum ve potasyum hidroksitli (alkali metal hidroksitler) karışım içerisinde atmosferik basınç altında, 80 – 110° C' de, 5 – 120 dakika süresince çözünmesi sağlanmaktadır. Alkali liçi içerisinde çözünmeyen sodyum alüminyum silikat içeriği uzaklaştırıldıktan sonra soğutma ile alüminyumlu içerik çökeltilmekte ardından bu ürüne kavurma yapılarak alumina elde edilmektedir. Beslemeden %52 verimle alümina elde edildiği vurgulanmaktadır [24]. Bu yöntemle ait akım şeması Şekil 2.7' de gösterilmektedir.



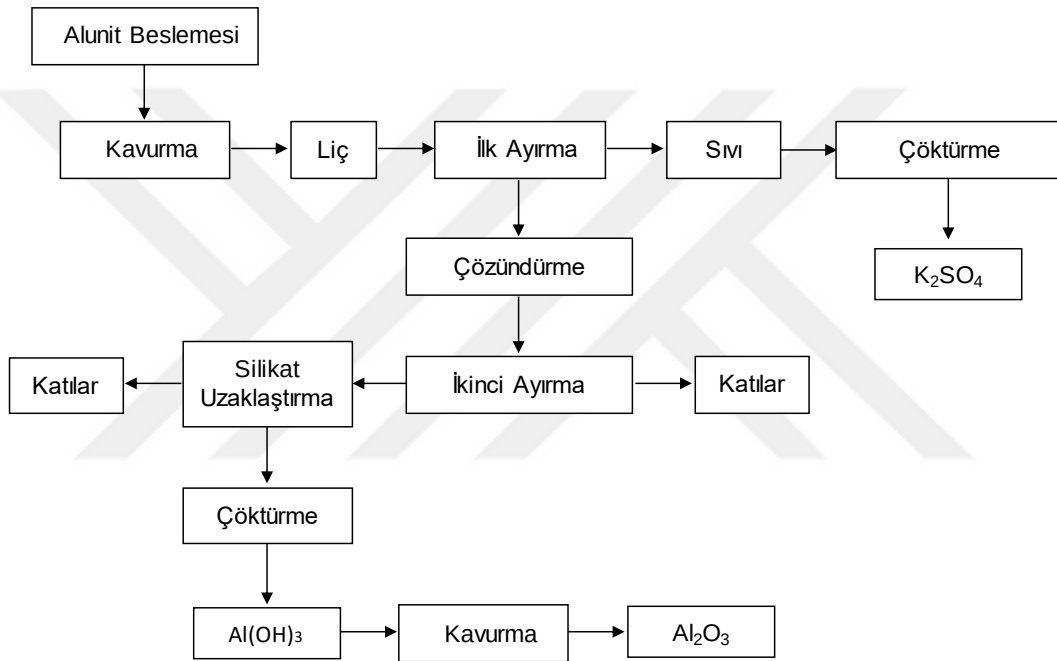
Şekil 2.7 Stevens, Forberg, Jennings, Stephens, Bowen, Thompson, Copenhaver tarafından yapılan çalışmanın akım şeması [24]

Nasyrov, Bogdanov, Eremin, Stolyar, Yamin'in 1975 yılında yaptıkları çalışmada, alunit mineral beslemesini kostik alkali çözeltisinde (potasyum hidroksit (KOH) veya sodyum hidroksit (NaOH)) 60°C' de potasyum ve sodyum aluminatlı çözelti eldesi için çözeltiye almaya çalışmışlardır. Ardından çözeltiye geçen ürünün çöktürülmesiyle birlikte alumina eldesi için kavurma işlemine tabii tutulduğu belirtilmektedir. Çözdürüldükten sonra kostik alkali çözeltisinde çözünmeyen ve çoğunlukla potasyum ve sodyum sülfat içeren kısmın ise filtre yardımı ile alındığı belirtilmektedir. Ardından sıcak su ile çözündürülmeye çalışılan bu kısmın içerisinde ise potasyum sülfat ve sodyum sülfatın, bu kısmın üzerine 30 - 40°C' de ki sodyum hidroksit potasyum çözeltisi eklenip, yıkanıp elde edilmeye çalışıldığı anlatılmaktadır. Yine çökmesi sağlanan ürün potasyum sülfat olarak alındığı belirtilmektedir. Bu yöntemde alüminyumun alumina silikat olarak ince boylara kaybedildiği ve verimin düşmesine neden olduğu belirtilmekle birlikte silis bileşiklerinin alüminyum ve alkalilerden daha efektif bir şekilde alındığı vurgulanmaktadır. Bu yöntemin sonucu olarak beslemenin içindeki alunit tenörü %55, silikat tenörü ise %20 olan cevher üzerinde çalışıldığı ve alumina verimin de %34.5' a ulaştırıldığı belirtilmiştir [25].

Stevens, Forberg, Jennings, Stephens ve Bowen'in 1975' de yaptığı çalışmada ise 2.5 cm altına kırılan cevherin 2.38 mm altına öğütüldüğü belirtilmiştir. 500°C ile 650°C arasında 6 saate kadar kavurma işlemi yapılan cevhere, amonyum hidroksitli (NH₄OH) ve alkali metal hidroksitli bazik çözelti ((sodyum hidroksit (NaOH) (%20-%100) ve potasyum hidroksit (KOH) (%80-%0)) içerisinde sülfatları (SO₄²⁻) ve alkali metalleri çözmek için 100°C sıcaklıkta, 8 ile 12 pH aralığında 2 saate kadar çözündürmeye işlemi yapılmıştır. Sonrasında tikiner tankında ya da filtre yardımıyla susuzlandırılan çözeltinin çözünmeyen kısmı ise tekrar atmosferik basınçta 80°C-110°C sıcaklık arasında 2 saate kadar sodyum karbonata (Na₂CO₃) maruz bırakıldığı vurgulanmaktadır. Tekrar susuzlandırma yapılarak çözünmeyen kısım uzaklaştırıldıktan sonra, çözünen ürünün içerisindeki silikası da uzaklaştırmak amacıyla, çözelti ya ısıtılarak ya da çözeltinin içerisine sodyum alüminyum silikat eklenerek 90°C sıcaklıkta 1 saat boyunca atmosfer basıncı altında bu reaksiyonun oluşması sağlanmakta olduğu belirtilmektedir. Basıncın 0.5-7 atmosfer basınç değerleri arasında değişmesi durumunda sıcaklığında 90-200°C arasında değiştirildiği vurgulanmaktadır. Ardından alüminyum hidroksit çökeltisi almak için

çözelti içerisinde alüminyum hidroksit kristalleri karıştırılmakta ve bu yöntemle soğutulan çözelti içerisinde alüminyum hidroksit kristallenmesinin hızlandırıldığı belirtilmektedir. Ürün olarak alınan alüminyum hidroksitin ısıtma işlemi sonucunda alumina (Al_2O_3)'ya dönüştürüldüğünün düşünüldüğü belirtilmektedir [23].

İlk elde edilen çözeltiden kristarilize edilerek amonyum sülfat ve potasyum sülfatın ayrı ayrı ya da karışım halinde alınabildiği vurgulanmaktadır. Bu yöntemler sayesinde cevherin içerisinde bulunan potasyum sülfatın (K_2SO_4) %92.5 oranında, alüminanın (Al_2O_3) ise %88 oranında kazanıldığı belirtilmektedir. Şekil 2.8' de yapılan çalışmanın akım şeması sunulmuştur [23].



Şekil 2.8 Stevens tarafından yapılan çalışmanın akım şeması [23]

Loest'in 1976 yılında yapmış olduğu çalışmada ise toz kayıplarının en aza indirilmesi için cevherin -1.27 cm' ye kırıldığı belirtilmektedir. Kırmanın ardından içerisindeki sülfürü ayırmak ve alüminyum sülfatı alüminyum okside çevirmek amacıyla cevherin 800-850° C'de 0.5-2 saat boyunca oksidasyon kavurmasına maruz bırakıldığı açıklanmaktadır. Cevher içerisinde kalan sülfatın (SO_4^{2-}) çözünebilir potasyum sülfata çevrilip uzaklaştırılabilmesi için potasyum hidroksit eklendiği belirtilmiştir. Bu işlem sırasında alınan SO_3 gazının sülfürik aside dönüştürülerek proses içerisinde tekrar beslendiği belirtilmektedir. Kalsine edilen beslemeden potasyum sülfatı alabilmek için 1.4 mm' ye öğütülen ve öğütme sürecinde de çözündüğü tahmin edilen cevher 90° C' de %50 katıda su ile

özndrmeye tabii tutulmaktadır. Çizelge 2.10 ‘ da cevherin su ile çözündürmesi sonucu elde edilen ürünlerin kimyasal içerikleri gösterilmektedir [26].

Çizelge 2.10 Cevherin su ile çözündürmesi sonucu elde edilen ürünlerin kimyasal içerikleri [26]

rnler*	%K	%S	%Al
Besleme	4.92	3.34	-
Atık	0.51	0.93	12.60
Konsantre	91.00	76.00	-

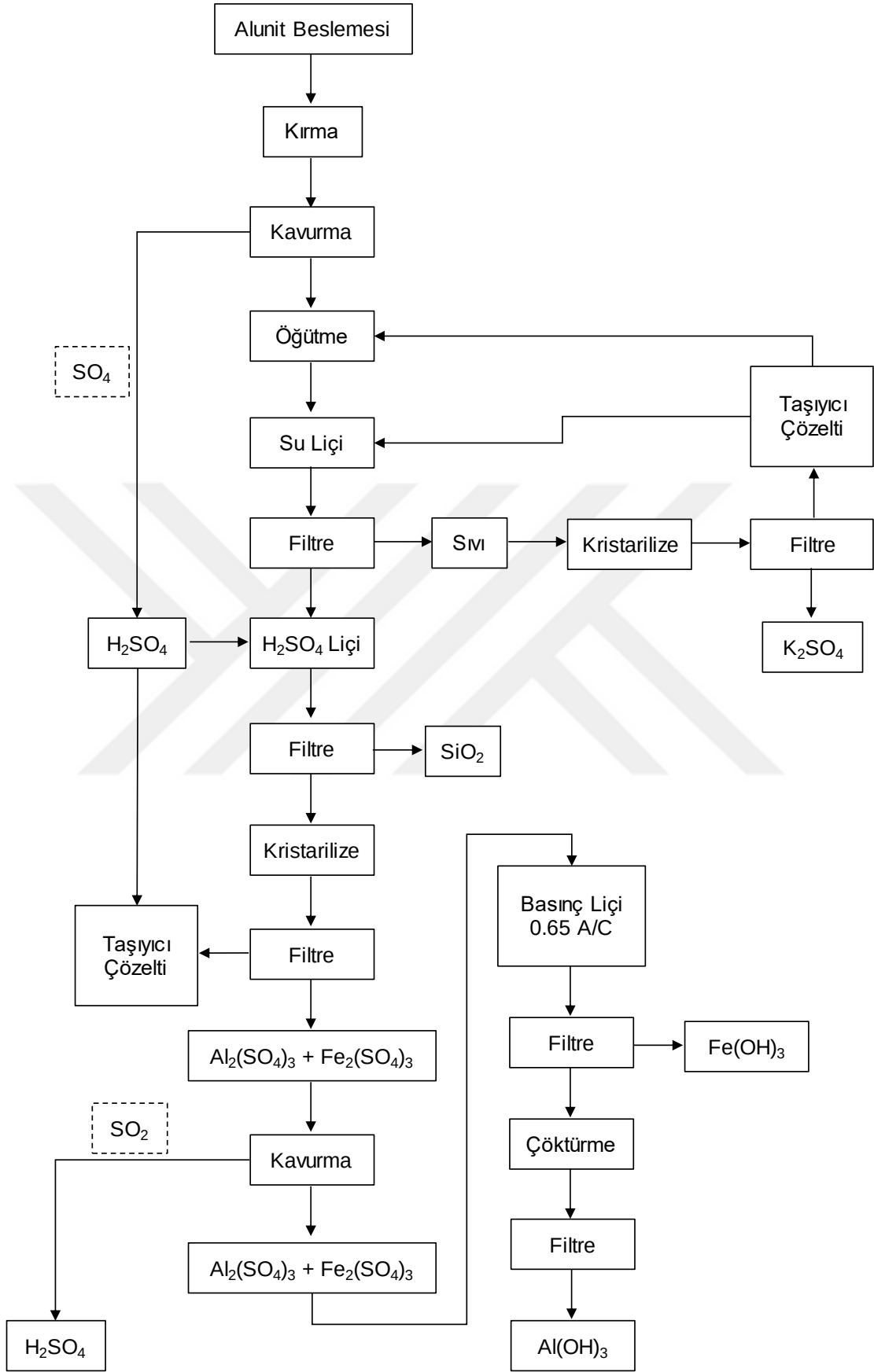
*800°C’de Kalsinasyon Sonrası

Sonrasında alüminayı (Al_2O_3) tekrar çözünebilir alüminyum sülfata ($Al_2(SO_4)_3$) evirebilmek ve çözünemeyen silisyum dioksiti (SiO_2) ayırmak için kalan kısmın 120-180°C sıcaklık aralığında, %10-35’ lik sülfirik asitte, %20 katıda çözünmesi sağlanmaktadır. Çizelge 2.11 ‘de sülfürik asit liçine beslenen cevherin ve alınan ürünlerin kimyasal içerikleri gösterilmektedir.

Çizelge 2.11 Sülfirik asit liçine beslenen ürünün ve alınan ürünlerin kimyasal içerikleri [26]

Al içeriği %		$Al_2(SO_4)_3$ Olarak Alınan %
Besleme	Atık	Konsantre
12.6	1.08	94

Silisyum dioksiti sıcak alüminyum sülfattan ayırdıktan sonra alüminyum sülfatı alüminaya çevirmek için (sülfür dioksit (SO_2) olarak içeriğinden alınıyor) zelti kristarilize edilip alınan kristal yapının 1 L/dakika hava girişi olan fırında 900-1100° C’ de kavrulması gerektiği söylenmektedir. Elde edilen ürünün içerisinde %0.07 sülfür olduğu ve hiç silikat içermediği belirtilmektedir. Kalsine edilmiş olan alumina bayer prosesine tabii tutulup, basınç altında 180° C’ de sodyum hidroksit veya diğer alkali metal hidroksit çözündürülmesi ile yüksek oranlı (0.65 A/C) alüminyum/kostik çözeltisi elde edildiği belirtilmektedir. Ardından ferik hidroksit gibi içeriğinde bulunan kirletici maddelerin filtre yapılarak uzaklaştırıldığı belirtilmektedir. Sonrasında ince taneli alüminyum hidroksit ürünü keltirilip, yüksek oranlı alüminyum/kostik bayer liç çözeltisinden alındığı vurgulanmaktadır. Akım şeması şekil 2.9’ da sunulmuştur [26].



Şekil 2.9 Loest, (1976) tarafından yapılan çalışmanın akım şeması [26]

Frost, Wain, Wills, Musemeci ve Martens 'in 2005' de yaptığı çalışmada farklı sentetik alunit minerallerinin içerisindeki termal bozunmalara bağlı olarak kütle spektrometrelerinin nasıl değiştiği incelemişlerdir. Bu işlem sırasında sıcaklık 920° C 'ye çıkarılmış ve termal bozunma sonrasında ortaya çıkan O₂, S, SO₃, SO₂, OH ve H₂O gazları analiz edilmiş ve 3 farklı bozunma mekanizması olduğu belirlenmiştir. Bunlardan ilki dehidrasyon, ikincisi dehidroksilasyon, üçüncüsü ise sülfürsüzleştirme olarak adlandırılmıştır. Bu çalışmada potasyum alunit (KAl₃((SO)₄)₂6(OH)), sodyum alunit (NaAl₃((SO)₄)₂6(OH)) ve amonyum alunit (NH₄Al₃((SO)₄)₂6(OH)) olmak üzere 3 farklı yapay alunit minerali kullanılmıştır. Bu çalışmaya göre alunit minerali termal bozunmaya maruz bırakıldığında öncelikle içindeki bağıl suyu ardından hidroksil iyonlarını ve son olarak da sülfür iyonlarını serbest bıraktığı vurgulanmaktadır [7].

Konu ile ilgili literatür çalışması değerlendirildiğinde alunit cevherlerinin kavrulma işlemi sonrasında çözündürmeye tabi tutulması ile farklı ürünlere dönüştürülmesi söz konusudur. Zenginleştirme işleminin temelini de bu teşkil etmektedir.

Alunit cevherlerinin içerikleri incelendiğinde ana sorunun kuvars içeriği olduğu anlaşılmaktadır. Bu nedenle çalışmalar kuvars ve kilin uzaklaştırılması yönünde olmuştur. Kuvarsın ayrılması için temel ve en ekonomik yaklaşım flotasyon ile alunitin yüzdürülmesi ve silis ile kil içeriklerinin yüzdürülmeden ayrılmasına dayanmaktadır. Dolayısı ile bu çalışma kapsamında da alunit cevherinde silis içeriğinin düşürülerek alunitçe zengin bir konsantre elde edilebilirliği araştırılmıştır. Bununla birlikte alunit mineralinin içeriğindeki potasyum sülfat ve alumina bileşiklerinin son ürün olarak alınması için çalışmaların yapılması bu tezin diğer bir ayağını oluşturmaktadır. Literatürde yapılmış araştırmalar sonucunda potasyum sülfat ve alumina bileşiklerinin son ürün olarak alınması amacıyla temelde aynı ancak akım şemalarında değişiklik gösteren birçok farklı çalışmalara rastlanmıştır. Potasyum sülfat ve alumina bileşiklerinin son ürün olarak alınması için hem düşük hem yüksek tenördeki beslemelerden flotasyon ile alınan alunit konsantrelerine kavurma işlemi sonrası içeriğindeki potasyum sülfatı (K₂SO₄) almak için su liçi uygulanmış sonrasında çözünmeyen kısma alüminyum hidroksit (Al(OH)₃) eldesi için kostik liçi yapılmıştır. Ardından çözeltiye geçen kısmın çökmesini sağlamak için çözeltiye karbondioksit (CO₂) gazı verilmiş, elde edilen ürün sonrasında tekrar kavurma işlemine tabi tutularak alumina (Al₂O₃) eldesi amaçlanmıştır.

3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR VE SONUÇLAR

Testlerde kullanılmış olan alunit cevheri numuneleri, Kütahya ili Şaphane ilçesinde bulunan ve ruhsat sahibi olan ETİ Maden İşletmeleri tarafından temin edilmiştir. Sahadan temin edilmiş olan cevherler Eti Maden yetkililerince bölgeden temsili olarak alınmış numuneler olup, genelde 10 mm' den ince tane boyuna sahiptir. Yaklaşık 50' şer kg'lık iki parti halinde temin edilmiş olan yüksek ve düşük tenörlü olmak üzere iki farklı cevher numunesi kimyasal analizlerde ve testlerde kullanılmak üzere standart numune bölme ve hazırlama işlemleri kullanılarak temsili numunelere bölünmüş ve bu numuneler ayrı ayrı torbalanmıştır. Ayrıca mikroskopik incelemelerde kullanılacak kesitleri hazırlamak amacıyla 8 - 10 adet el numunesi de temin edilmiştir.

Test çalışmalarına bu numuneler üzerinde yapılan karakterizasyon çalışmaları ile başlanmış, belirlenen içerikler göz önünde bulundurularak test çalışmaları planlanmıştır.

Çalışmanın ana aşamaları aşağıdaki gibi belirlenmiştir:

- Yüksek ve düşük tenör numune karakterizasyonlarının belirlenmesi ve alunitin tane boyu fraksiyonlarına dağılımının saptanması için yapılan test çalışmaları
- Karıştırma ile dağıtma test çalışmaları
- Flotasyon çalışmaları ile alunit-kuars ayrımı
- Liç çalışmaları ile son ürüne ulaşma test çalışmaları

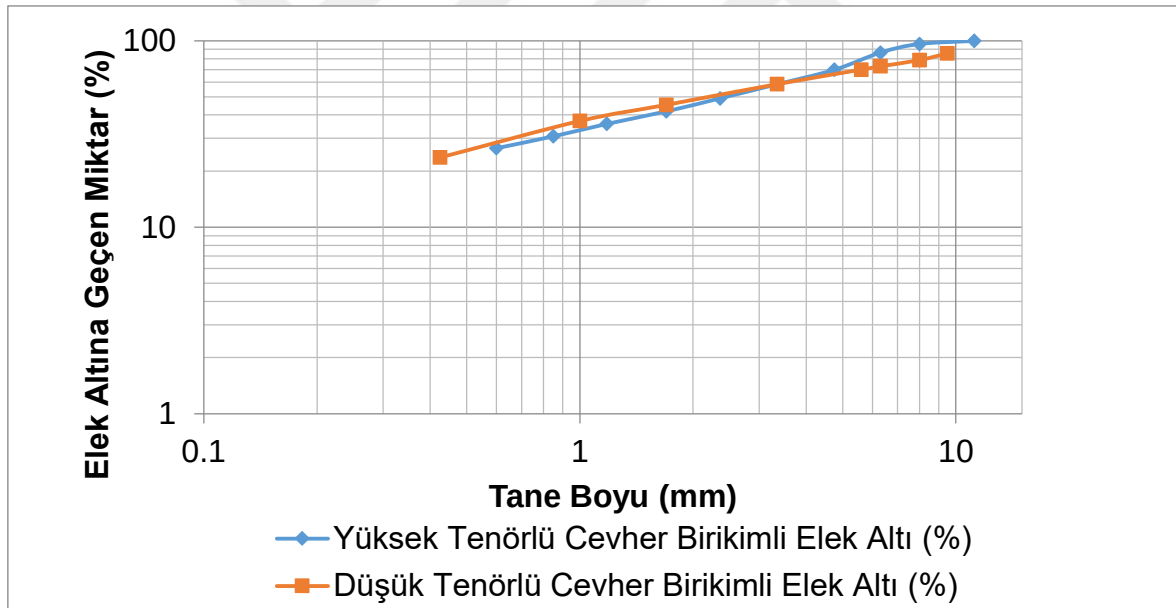
3.1. Karakterizasyon Çalışmaları

3.1.1. Genel Bileşim

Kimyasal analiz ve testlerde kullanılmak üzere numuneler, standart bölme ve hazırlama işlemleriyle temsili olarak bölünmüş ve ayrı ayrı torbalanmıştır. Karakterizasyon çalışmaları kapsamında; sahadan gelen kırılmış cevher numunelerine öncelikle kuru elek analizi uygulanmıştır. Elde edilen tane boyu dağılımları Şekil 3.1' de sunulmuştur.

Çizelge 3.1 Yüksek ve düşük tenörlü cevher numunelerinde sahadan gelen kırılmış cevher numunelerinde elde edilen tane boyu dağılımları

Yüksek Tenörlü Cevher Numunesi			Düşük Tenörlü Cevher Numunesi		
Tane Boyu (mm)	Ağırlık (%)	Birikimli Elek Altı (%)	Tane Boyu (mm)	Ağırlık (%)	Birikimli Elek Altı (%)
+11.2	0.20	100.00	+9.5	14.42	100.00
-11.2+8.00	3.68	99.80	-9.5+8	6.84	85.58
-8+6.30	9.73	96.11	-8+6.3	5.80	78.74
-6.3+4.75	16.54	86.38	-6.3+5.6	2.93	72.94
-4.75+3.35	11.36	69.84	-5.6+3.35	11.47	70.00
-3.35+2.36	9.37	58.48	-3.35+1.70	13.20	58.53
-2.36+1.70	7.28	49.11	-1.70+1	8.20	45.33
-1.70+1.18	6.02	41.82	-1+0.425	13.47	37.13
-1.18+0.85	5.09	35.80	-0.425	23.65	23.65
-0.85+0.60	4.19	30.71			
-0.60	26.52	26.52			



Şekil 3.1 Sahadan gelen yüksek ve düşük tenörlü kırılmış cevher numunesine yapılmış olan kuru elek analizi

Alunit numunelerinin mineralojik bileşiminin saptanması amacıyla optik mikroskopik çalışmalarının yanı sıra XRD (X-Işını Kırınımı) analizi yapılmıştır. Elde edilen genel XRD (X-Işını Kırınımı Analizi) desenleri (EK-3) sunulmuştur.

Desenler incelendiğinde çalışma kapsamında kullanılan numunelerin alunit yanında kuvars ve kaolin içerdiği sonucu çıkarılabilmektedir. Mikroskopik incelemelerle ve

kimyasal analizlerle yüksek tenörlü cevher numunesinde kaolin içeriğinin düşük tenörlü alunit cevher numunesine oranla daha düşük olduğu ortaya konulmuştur.

Yapılan mineralojik incelemede ise (EK-2) yapının şiddetli alterasyona (hidrotremal) uğradığı, bu nedenle çok ince dokulu bir oluşumun söz konusu olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 3.2' de deneylerde kullanılan besleme numunelerinin ve bu numunelerden elenerek ayrılmış farklı boyut fraksiyonlarındaki ürünlerin ayrıntılı analiz sonuçları verilmektedir.

Çizelge 3.2 Yüksek ve düşük tenörlü cevher numunesi kimyasal analizi

Tane Boyu (mm)	% İçerik												
	Al ₂ O ₃	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	CaO	BaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	TiO ₂	MnO	P ₂ O ₅	SO ₃	LOI
+1.18	15.81	58.98	0.32	0.04	0.18	0.01	4.08	0.06	0.25	0.02	0.06	14.95	19.14
-1.18+0.6	17.33	54.52	0.31	0.07	0.2	0.02	4.33	0.07	0.25	0.01	0.07	16.65	21.27
-0.6	19.82	49.21	0.43	0.13	0.28	0.05	4.77	0.09	0.25	0.01	0.08	18.85	23.75
Besleme*	17.01	55.98	0.35	0.07	0.21	0.02	4.29	0.07	0.25	0.02	0.07	16.14	20.56
Besleme	17.14	54.53	0.32	0.07	0.22	0.02	4.35	0.06	0.25	0.02	0.07	16.25	21.02

*Yüksek tenörlü numunede hesaplama ile bulunan besleme analizi

Tane Boyu (mm)	% İçerik												
	Al ₂ O ₃	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	CaO	BaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	TiO ₂	MnO	P ₂ O ₅	SO ₃	LOI
+1.18	21.23	54.6	0.65	0.03	0.24	0.01	3.05	0.2	0.38	<0.01	0.06	11.5	18.66
-1.18+0.6	21.4	53.97	0.94	0.04	0.24	0.02	3.15	0.17	0.42	<0.01	0.06	11.55	18.83
-0.6	20.77	53.98	1.15	0.07	0.29	0.04	3.19	0.17	0.45	<0.01	0.06	11.65	18.86
Besleme*	21.14	54.36	0.81	0.04	0.25	0.02	3.10	0.19	0.40	<0.01	0.06	11.54	18.73
Besleme	21.42	54.46	0.92	0.07	0.25	0.02	3.11	0.16	0.42	<0.01	0.06	11.5	18.45

*Düşük tenörlü numunede hesaplama ile bulunan besleme analizi

Yüksek ve düşük tenörlü cevherde bulunan kükürt trioksit (SO₃) kaynağının alunit olduğu yaklaşımdan hareket edilmiştir. Analizler sonucunda kükürt trioksit (SO₃) değeri kullanılarak numunelerin alunit içerikleri hesaplanmıştır. Bu hesaplama ile birlikte alunit cevheri içerisinde bulunan potasyum oksit (K₂O) ve alumina (Al₂O₃) değerlerinden alunit ve kaolin içerikleri hesaplamaları da yapılmış bu hesaplamalarla genel mineralojik bileşim belirlenmiştir. Bu şekilde yapılan hesaplama örneği literatürde mevcuttur [15]. Numunelerin genelini alunit, kuvars ve kaolin oluşturduğu için kimyasal analizler kullanılarak yüksek ve düşük tenörlü cevher numuneleri için hesaplanan teorik bileşimler karşılaştırmalı olarak Çizelge 3.3 ve Çizelge 3.4' de sunulmuştur.

3.1.2. Mineral Oranları Hesabında Kullanılan Yaklaşım

Yüksek ve düşük tenörlü besleme numunesine ait verilerin fraksiyonel bazda kıyaslanması ve sonuçların yorumlanması için bu bölümde genel bir değerlendirme çalışması her iki numune için de yapılmıştır. Aşağıda verilen bu değerlendirmeye bağlı olarak; elde edilen ürünlerin kimyasal analizleri üzerinden mineral (alunit, kuvars ve kaolin (diğer)) dağılımları belirlenmiş ve genel değerlendirmelerde bu veriler kullanılmıştır.

Bununla birlikte cevherlerin kimyasal bileşimleri kullanılarak hesaplanan mineralojik bileşimleri de yüksek ve düşük tenörlü cevherde karşılaştırmalı olarak Çizelge 3.4' de verilmektedir.

Çizelge 3.3 Yüksek ve düşük tenörlü besleme numunelerinin kimyasal analizlerine göre mineral dağılımı (Hesabı)

Tane Boyu (mm)	Ağırlık (%)	Alunit (%)	Kuvars (%)	Kaolin (diğer) (%)	Alunitin Fraksiyonlara Göre Dağılımı (%)
+1.18	64.20	38.67	58.98	2.5-4	59.46
-1.18+0.6	9.28	43.07	54.52	2.5-4	9.57
-0.6	26.52	48.76	49.21	3.5-5	30.97
Besleme Hesap	100.00	41.75	55.98	2.5-4.5	100.00
Besleme*	-	42.03	54.53	2.5-4.5	-

*Yüksek tenörlü numunede kimyasal analiz sonucu elde edilen değerlerle hesaplanan içerikler

Tane Boyu (mm)	Ağırlık (%)	Alunit (%)	Kuvars (%)	Kaolin (diğer) (%)	Alunitin Fraksiyonlara Göre Dağılımı (%)
+1.18	62.87	29.75	54.60	24.5-26	62.64
-1.18+0.6	13.47	29.88	53.97	2.5-26	13.48
-0.6	23.65	30.13	53.98	25.5-26	23.88
Besleme Hesap	100.00	29.85	54.36	24.5-26.5	100.00
Besleme*	-	29.75	54.46	24.5-26.5	-

*Düşük tenörlü numunede kimyasal analiz sonucu elde edilen değerlerle hesaplanan içerikler

Gabriel ve Dasher tarafından 1942 yılında yapılmış çalışmadaki hesaplama yöntemi kullanılarak yüksek ve düşük tenörlü cevher numuneleri mineralojik dağılımlar hesaplanmış ve Çizelge 3.4 'de verilmiştir.

Çizelge 3.4 Düşük tenörlü ve yüksek tenörlü cevherlerin mineralojik bileşiminin karşılaştırmalı gösterimi

Numune	Alunit %	Kuvars %	Kaolin (Diğer) (%)
Yüksek Tenörlü	42.03	54.53	4.10
Düşük Tenörlü	29.75	54.46	26.42

Yüksek tenörlü cevher üzerinde yapılan kimyasal analizlerden hareketle hesaplanan mineral bileşimleri incelendiğinde cevherin silisyum dioksit (SiO_2) oranının %54-55 aralığında olduğu belirlenmiştir. Burada bir değerlendirme yapmak amacıyla stokiyometrik oranda açıkta kalan alüminyum oksit (Al_2O_3) değerinden hareketle de kaolin (ve diğer) miktarları hesaplanmış ve cevheri alunit, kuvars ve kaolin (ve diğer) oluşturduğu kabulüyle, her bir numune için toplam mineral yüzdeleri hesaplanmıştır. Bu şekilde küçük oynamalar olmakla birlikte alunit hesaplaması açısından önemli bir sorun olmamaktadır.

Düşük tenörlü cevher üzerinde yapılan kimyasal analizlerden yola çıkılarak hesaplanan mineral bileşimlerine bakıldığında cevherin içeriğindeki silisyum dioksit (SiO_2) oranının yüksek tenörlü cevherden çok düşük miktarda farklılık gösterdiği ve yine %54-55 aralığında olduğu tespit edilmiştir. Tekrar yüksek tenörlü cevherde de uygulandığı gibi stokiyometrik oranda açıkta kalan alüminyum oksit (Al_2O_3) değerinden kaolin (ve diğer) miktarı hesaplanmıştır. Cevher yapısının yine alunit, kuvars ve kaolinden oluştuğu düşünülmüş ve her bir numune için toplam mineral yüzdeleri buna göre hesaplanmıştır.

Ayrıca tez boyunca farklı laboratuvarlarda kimyasal analiz yaptırma fırsatı bulunmuş ve elde edilen analizlerde kükürt trioksit (SO_3) sonuçları birbirine oldukça yakın olduğu görülmüştür. Literatürde [15] verildiği gibi çalışmanın bundan sonraki kısımlarında ağırlıklı olarak kükürt trioksit (SO_3) analizleri ve silisyum dioksit (SiO_2) analizleri üzerinden alunit ve kuvars hesaplamaları yapılarak, sonuçlar buna göre değerlendirilmiştir. Sonuçların bu şekilde verilmesi ile zenginleştirme aşamasında önemli bir sorun olmayacağı anlaşılmış ve nihai değerlendirmede detay analizlerle sonuçların doğrulanmasına karar verilmiştir.

Önemli ölçüde hidrotermal bozunma nedeniyle çok ince taneli bir doku söz konusu olup, zenginleştirme işlemlerinde ince öğütme yapılması zorunlu görülmektedir. Bu

nedenle ilk zenginleştirme çalışmaları her iki numunede de ince öğütülmüş numuneler kullanılarak yapılmış ve daha sonra tane boyunun etkisi incelenmiştir.

3.2. Karıştırma ile Dağıtma Test Çalışmaları

Sahadan temin edilen numunelerin içerisinde alunit cevherinin yanında yüksek tenörlü cevher olarak adlandırılan numunede % 54.53 oranında kuvars minerali (SiO_2), %4.10 oranında kaolin (ve diğer) cevheri olduğu, düşük tenörlü cevher olarak adlandırılan numune de ise %54.46 oranında kuvars (SiO_2), %26.42 oranında ise kaolin (ve diğer) cevheri olduğu saptanmıştır. Düşük tenörlü alunit cevheri numunesinde, yüksek tenörlü alunit cevher numunesine oranla daha fazla kaolin ve diğer içeriğe rastlanmıştır. Bu durumun sonucu olarak düşük tenörlü alunit cevher numunesinde daha ayrıntılı karıştırma ile dağıtma testlerine gidilmiştir. Cevher içeriğinde iri boyda bulunan alunit mineralinin karıştırma, dağıtma ve aşındırma işlemleriyle yeterli miktarda ince boylara geçirilip geçirilemeyeceği anlaşılmak istenmiştir.

3.2.1. Yüksek Tenörlü Alunit Cevher Numunesinde Yapılan Karıştırma ile Dağıtma Test Çalışmaları

2 mm' nin altına kırılmış alunit cevherinin fraksiyonlara göre dağılımı incelendiğinde cevherdeki %42 olan alunit tenörünün ince boyda ancak %48.76 değerine yükseldiği görülmektedir (Çizelge 3.3). Bu değer doğrudan kuru olarak elenmiş cevherden elde edilmiş bir değer olup, alunitin seçimli olarak ince boylara geçip geçmeyeceği şiddetli karıştırma ve açma testi ile incelenmiştir.

Bu amaçla alunitin serbestleşme boyu ince boyda olduğu için numunenin tamamı 300 μm olacak şekilde öğütülmüş olan numune ile ağırlıkça %70 katı içeren bir palp hazırlanmış ve bu palp 30 dakika şiddetli karıştırmaya tabi tutulmuştur. Daha sonra şiddetli karıştırma ile dağıtma yapılan numune içinden dekantasyon (incelerin süzülmesi) işlemi ile yaklaşık -20 μm tane boyuna sahip fraksiyon ayrılmıştır. Karıştırma ve dağıtma sonrası elde edilen ürünlerin genel bileşimleri Çizelge 3.5 'de verilmektedir.

Çizelge 3.5 Şiddetli karıştırma ve dağıtma ile elde edilen ayırım sonucu

Ürünler	Ağırlık %	%		Verim %	
		Alunit	SiO ₂	Alunit	SiO ₂
-300+20 µm	60.17	35.18	61.94	52.21	65.56
-20 µm	39.83	48.63	49.15	47.79	34.44
Besleme	100.00	40.54	56.85	100.00	100.00

Çizelge 3.5. incelendiğinde; alunit mineralinin karıştırma ile dağılılırlığını incelemek amacıyla yapılan test sonucunda beslemenin ağırlıkça yaklaşık %40' ının ince boylarda olmasına rağmen, toplam alunitin ancak %47.79' u bu boyda bulunmaktadır. Bu da şiddetli karıştırma ile alunitin dağıtılarak kuvarstan ayrılmasının mümkün olmayacağını göstermektedir.

3.2.2. Düşük Tenörlü Alunit Cevher Numunesinde Yapılan Aşındırma Çalışmaları

5 mm'nin altına kırılmış düşük tenörlü alunit cevherinin fraksiyonlara göre dağılımı incelendiğinde cevherdeki %29.75 olan alunit tenörünün ince boyda ancak %30.13 değerine yükseldiği görülmektedir (Çizelge 3.3). Bu değer doğrudan kuru olarak kırılmış elenmiş cevherden elde edilmiş bir değer olup, alunitin seçimli olarak ince boylara geçip geçmeyeceği şiddetli aşındırma, dağıtma ve açma testleri ile incelenmiştir.

Çalışılan düşük tenörlü cevherde kil oranının yüksek olması nedeniyle cevher yapısında oluşmuş olan kilin de cevher yüzeyinden bir miktar temizleneceği düşünülmüştür. Bu amaç için dört farklı aşındırma ve açma işlemleri gerçekleştirilmiş her bir işlem sonrasında fraksiyon bazlı alunit içeriği ve verim miktarları hesaplanmıştır.

- İlk çalışmada sahadan alınan numune -5 mm' ye kırılmış sonrasında -5+0.038 mm ve -0.038 mm fraksiyonlarına ayrılmıştır. Fraksiyon bazlı alunit içerikleri Çizelge 3.6 'da sunulmuştur.

Çizelge 3.6 -5 mm'ye kırılmış cevherin fraksiyon bazlı alunit içeriği

Tane Boyu (mm)	Ağırlık	Alunit	Dağılım
		%	
-5+0.038	69.28	23.41	56.83
-0.038	30.72	40.09	43.17
Besleme	100.00	28.53	100.00

- İkinci çalışmada sahadan alınan numune tekrar -5 mm' ye kırılmış sonrasında %60 katı oranında 15 dakika boyunca aşındırma (scrubbing) işlemine tabii tutulmuştur. Ardından alınan ürün -5+0.038 mm ve -0.038 mm tane boyu fraksiyonlarına ayrılmıştır.

Çizelge 3.7 Aşındırma işlemi sonrası fraksiyon bazlı alunit değerleri

Tane Boyu (mm)	Ağırlık	Alunit	Dağılım
	%		
-5+0.038	59.95	22.63	46.78
-0.038	40.05	38.54	53.22
Besleme	100.00	29.00	100.00

Yapılan aşındırma işlemi sonucunda cevher içerisinde bulunan ince boydaki alunitin %10 oranındaki bir artışla -38 µm' ye geçtiği Çizelge 3.6 ve Çizelge 3.7' den çıkarılabilmektedir.

- Üçüncü çalışmada ise cevher yine -5 mm' ye kırılmış cevher elek analizine tabii tutulmuş ve ardından tane boyu fraksiyonlarına ayrılmıştır. Fraksiyon bazlı alunit içerikleri Çizelge 3.8' de sunulmuştur.

Çizelge 3.8 -5 mm ' ye kırılmış cevherin fraksiyon bazlı alunit içeriği

Tane Boyu (mm)	Ağırlık	Alunit	Dağılım
	%		
-4.75+2.36	19.11	25.22	17.50
-2.36+1.18	14.61	22.37	11.87
-1.18+0.300	18.83	22.12	15.12
-0.300+0.106	11.00	20.43	8.17
-0.106+0.038	8.20	18.11	5.39
-0.038	28.26	40.87	41.95
Besleme	100.00	27.53	100.00

- Dördüncü çalışmada ise -5 mm' ye kırılmış cevhere, seramik değirmen içinde bilyasız olarak 5 dakika süreyle %65 katı oranıyla döndürülerek aşındırma işlemi yapılmıştır. Ardından alınan ürün -5 mm' den ince tane boyu fraksiyonlarına ayrılmıştır.

Çizelge 3.9 Değirmende aşındırma işlemi sonrası fraksiyon bazlı alunit değerleri

Tane Boyu (mm)	Ağırlık	Alunit	Dağılım
	%		
-4.75+2.36	15.26	29.62	15.19
-2.36+1.18	12.05	29.10	11.79
-1.18+0.300	22.76	25.68	19.65
-0.300+0.106	11.03	20.18	7.48
-0.106+0.038	6.45	18.37	3.98
-0.038	32.45	38.41	41.91
Besleme	100.00	29.75	100.00

Bu işlemin sonucunda, cevher içerisinde bulunan özellikle -1.18+0.30 mm boyundaki alunit verimlerinin incelendiğinde bu boyut aralığında verimin %15 ‘ den %19.65 değerine çıktığı görülmüştür. Ancak, bu yöntemde iri boydaki alunit verimi miktarının yüksek, ince boylarda ki alunit veriminin beklenenden düşük olması sebebiyle zenginleştirme metodu olarak uygun görülmemiştir (Çizelge 3.8 ve Çizelge 3.9).

3.3. Flotasyon Test Çalışmaları

Flotasyon test çalışmalarında düşük ve yüksek tenörlü cevher numuneleri kullanılmıştır. Bu numuneler üzerinde ilk olarak toplayıcı miktarının, bastırıcı miktarının, kaba flotasyon süresinin ve pH değerlerinin etkisi gibi değişkenlerin flotasyon performansına etkilerini gözlemlemek amacıyla farklı kinetik flotasyon testleri gerçekleştirilmiştir.

Bu çalışmalarla birlikte her iki üründe alunitce zengin konsantre ürün elde etmek amacıyla gerekli temizleme kademesinin belirlenmesine yönelik test çalışmaları da yürütülmüştür. Özellikle yüksek tenörlü olarak adlandırılan numune üzerinde yapılan flotasyon işlem değişkenlerinin etkisi inceleme çalışmasından sonra düşük tenörlü cevher numunesi üzerinde genel olarak belirlenmiş en iyi koşullardaki kinetik testler ile farklı toplayıcılar ve bu toplayıcıların farklı miktarlarına bağlı olarak temizleme ve nihai ürün elde edilebilirliğini araştırmaya yönelik testler yürütülmüştür. Bu testlerin detaylı açıklamaları bu başlık altında yapılmaktadır.

Numuneler üzerinde yapılmış olan mineralojik çalışmalar, ön incelemeler ve önceki çalışmaların ışığı altında serbestleşmenin ince tane boylarında olacağı

anlaşıldığından, öncelikle numunenin mümkün olduğunca ince boylarda hazırlanarak flotasyona tabi tutulmasına karar verilmiştir. Bu nedenle belirlenmiş olan öğütme koşullarında öğütülen numuneler, değişkenlerin etkisinin incelendiği flotasyon testlerinde kullanılmıştır.

Bu amaçla flotasyon testleri öncesinde yüksek tenörlü cevher numunesi 30 dakika öğütülerek numunenin %98 'inin 53 μm altında olması, düşük tenörlü cevher numunesi ise 20 dakika öğütülerek numunenin %98 'inin 38 μm altında olması sağlanmıştır. Öğütme işlemleri laboratuvar ölçekli, bilyalı seramik değirmende gerçekleştirilmiştir.

Alunit flotasyonunda toplayıcı kimyasal olarak yağ asitleri kullanılmaktadır. Bu nedenle flotasyon testlerinde, ön testlerle başarılı sonuç alınmış olan, toplayıcı (bir çeşit yağ asidi) Florea 7014 (Florea Mining firması kimyasalı), pH ayarlamak ve bastırıcı etkisinden de faydalanmak amacıyla analitik saflıktaki sodyum karbonat (Na_2CO_3) ve bastırıcı - dağıtıcı olarak da sodyum silikat (Na_2SiO_3) kullanılmıştır.

Testlerde Florea 7014'den ve diğer kimyasallardan hazırlanmış %5 'lik çözeltiler, sodyum karbonat (Na_2CO_3) için %10 'luk çözelti kullanılmıştır.

Flotasyon için oluşturulan palpın doğal pH 'ı bütün testlerde 7.4 – 7.8 olarak ölçülmüştür. Testlerde önce sodyum karbonat (Na_2CO_3) ilavesi ile pH 9.3 - 9.5 değerine ayarlanmış, 1 dakika koşullandırma yapılmıştır. Daha sonra değişen miktarlarda bastırıcı ve toplayıcı ilavesi ile testler yapılmıştır. Yapılan ön testlerin ışığı altında bastırıcı ile 3 dakika ve toplayıcı ile 3 dakika koşullandırma yapıldıktan sonra flotasyona başlanmıştır. Flotasyon hücresi havası açılmadan önce her bir testte sabit olacak şekilde 10 g/t köpürtücü (D250, polypropilen glikol, ppg) kullanılmıştır. Deneyler 2 lt 'lik Denver flotasyon hücresinde gerçekleştirilmiştir. Bu flotasyon testlerinde amaç kuvarsın bastırılıp, alunitin yüzdürülmesidir.

Bu testlerde kullanılan kimyasallar, markaları ve koşullandırma süreleri Çizelge 3.10 'da sunulmaktadır.

Çizelge 3.10 Flotasyon testlerinde kullanılan kimyasallar

Kimyasal Çeşidi	Türü	Markası	Koşullanma Süresi (dk.)
pH Ayarlayıcı ve Bastırıcı	Na ₂ CO ₃	Merck	1
Bastırıcı ve Dağıtıcı	Na ₂ SiO ₃	Merck	3
Toplayıcı	Yağ asidi	Florrea 7014 / Sodyum Oleat	3
Köpürtücü	Polypropilen Glikol	D250, Dove Froth, ppg	1

Sistem içinde her iki alunit numunesiyle hazırlanan palpta sodyum karbonat (Na₂CO₃) miktarı kaba flotasyon aşamasında 5080-8500 g/t değerleri arasındayken temizleme aşamalarında 1500-2500 g/t aralığında değişmektedir. Köpürtücü ilavesi sadece başlangıçta yeterli olmakta, temizleme aşamalarında köpürtücü ilavesine ihtiyaç duyulmamaktadır.

Temizleme kademeli testlerde her bir temizleme öncesi pH değeri sabit tutulmuştur (pH=9.3 - 9.5). Bununla birlikte her ilk iki temizleme kademesinde 167 g/t sodyum silikat (Na₂SiO₃) eklenmiş sonraki kademelerde 83 g/t miktarlarında eklenmeye devam edilmiştir.

3.3.1. Toplayıcı, Bastırıcı Miktarlarının ve pH Değeri'nin Yüksek ve Düşük Tenörlü Alunit Cevheri Kaba Flotasyonu Üzerindeki Etkisinin İncelenmesine Yönelik Test Çalışmaları

Toplayıcı, bastırıcı ve sodyum karbonatın (Na₂CO₃) yüksek ve düşük tenörlü alunit cevher numunelerinin flotasyon performansı üzerine olan etkisini incelemek amacıyla farklı toplayıcı, bastırıcı ve sodyum karbonat miktarlarında flotasyon testleri gerçekleştirilmiştir. Bu testler temizleme aşaması içermeyen kinetik bazlı kaba flotasyon çalışması olmuştur.

İlk testler, gerekli bastırıcı ve toplayıcı miktarlarını belirlemek amacıyla kinetik bazlı flotasyon testleri olmuştur. Buna göre Na₂CO₃ ile pH ayarlanıp, bastırıcı ilave edildikten sonra toplayıcı eklenerek flotasyon yapılmıştır. Belirli zaman aralıklarında köpük fazı ayrı kaplara toplanmış, daha sonra alınan bu ürünler ayrı ayrı kurutulup, tartılmıştır. İlk 6 dakikadan sonra köpük boşaldığından hava akışı kesilip sisteme 333 g/t toplayıcı eklenmesi yapılarak flotasyona 4 dakika daha devam edilmiş, bu

işlemin sonunda tekrar 333 g/t toplayıcı ekleyerek flotasyona tekrar 4 dakika devam edilmiştir. Her bir aşamada elde edilen köpük fazı ayrı ayrı toplanmış ve kurutulup tartılmıştır.

Bu testlerdeki temel amaç mümkün olduğunca yüksek alunit verimi sağlanan flotasyon koşulunun belirlenmesidir. Her bir testte önce sodyum karbonat (Na_2CO_3) ile pH ayarlaması yapılmıştır. Ardından flotasyon karışımına bastırıcı ve tane yüzeyini olası kil kaplamalarına karşı dağıtıcı etkisi olan sodyum silikat (Na_2SiO_3) eklenmiş ve 3 dakika koşullanma süresi olarak beklenmiştir. Sonrasında toplayıcı (bir çeşit yağ asidi olan Florea 7014 (Florea Mining firması kimyasalı)) eklenmiş ve tekrar 3 dakika koşullanma süresi olarak beklenmiştir. Hava hızı 1500 devir/dakika olarak ayarlanmıştır. Her bir teste 14 dakika boyunca devam edilmiş ancak yüzmenin devam etmediği durumlarda 10. dakikada flotasyona son verilmiştir.

Yüksek tenörlü alunit cevher numunesinde toplayıcı miktarını saptamak için yapılan kinetik testlerin karşılaştırmalı test koşulları Çizelge 3.11' de verilmektedir.

Çizelge 3.11 Yüksek tenörlü alunit cevher numunesinde toplayıcı miktarını saptamak için yapılan kinetik testlerin karşılaştırmalı test koşulları

Test Koşulları				
pH	9.50	9.53	9.55	9.48
% Katı w/w	15	15	15	15
Toplayıcı (g/t) (Florea 7014)	667+333+ 333	1333+333+ 333	2000+333+ 333	2667+333+ 333
Bastırıcı (g/t)	333	333	333	1000
Köpürtücü (g/t)	10	10	10	10

Yüksek tenörlü cevher numunesinde toplayıcı miktarını belirlemek amacıyla uygulanan ilk kinetik testde alınan ürünlerin özellikleri Çizelge 3.12' de verilmiştir.

Çizelge 3.12 Yüksek tenörlü cevher numunesinde 667 g/t toplayıcı - 333 g/t bastırıcılı test sonucu

Ürünler*	Ağ. %	Alunit %	Birikimli Ağ. %	Birikimli Alunit %	Verim %	Birikimli Verim %	SiO ₂ %
Kaba Flo. Atık	31.24	8.15	-	-	-	-	87.64
0 -1 dk.	22.43	60.01	22.43	60.01	33.29	33.29	38.33
1-2 dk.	10.38	62.08	32.81	60.66	15.94	49.23	36.36
2-4 dk.	8.19	61.30	41.00	60.79	12.42	61.65	37.10
4-6 dk.	3.58	54.84	44.59	60.31	4.86	66.51	43.25
6-8 dk.	9.08	54.45	53.67	59.32	12.23	78.74	43.62
8-10 dk.	2.39	50.18	56.06	58.93	2.97	81.71	47.68
10-12 dk.	10.58	40.35	66.64	55.98	10.56	92.27	57.02
12-14 dk.	2.12	27.42	68.76	55.10	1.44	93.70	69.32
Toplam	100.00	40.43	-	-	-	-	56.95

*ilgili zaman aralığında alınan konsantreyi ifade etmektedir.

Yapılan kinetik testlerin ikinci testi yine yüksek tenörlü cevher numunesine uygulanmıştır. Alınan ürünlerin özellikleri ise Çizelge 3.13' de verilmiştir.

Çizelge 3.13 Yüksek tenörlü cevher numunesinde 1333 g/t toplayıcı – 333 g/t bastırıcılı test sonucu

Ürünler*	Ağ. %	Alunit %	Birikimli Ağ. Ağırlık %	Birikimli Alunit %	Verim %	Birikimli Verim %	SiO ₂ %
Kaba Flo. Atık	29.22	8.54	-	-	-	-	87.27
0 -1 dk.	30.57	57.42	30.57	57.42	42.77	42.77	40.79
1-2 dk.	13.57	57.17	44.14	57.34	18.9	61.68	41.04
2-4 dk.	6.75	62.34	50.89	58.01	10.26	71.94	36.12
4-6 dk.	1.78	63.37	52.67	58.19	2.75	74.68	35.13
6-8 dk.	5.53	62.08	58.20	58.56	8.37	83.05	36.36
8-10 dk.	1.78	50.18	59.98	58.31	2.18	85.23	47.68
10-12 dk.	8.99	33.89	68.97	55.13	7.43	92.66	63.17
12-14 dk.	1.81	28.71	70.78	54.45	1.27	93.92	68.09
Toplam	100.00	40.43	-	-	-	-	56.37

*ilgili zaman aralığında alınan konsantreyi ifade etmektedir.

Yapılan kinetik testlerin devamı toplayıcı miktarı artırılarak yüksek tenörlü cevher numunesine uygulanmıştır. Alınan ürünlerin özellikleri Çizelge 3.14' de verilmiştir.

Çizelge 3.14 Yüksek tenörlü cevher numunesinde 2000 g/t toplayıcı - 333 g/t bastırıcılı test sonucu

Ürünler*	Ağ. %	Alunit %	Birikimli Ağırlık %	Birikimli Alunit %	Verim %	Birikimli Verim %	SiO ₂ %
Kaba Flo. Atık	17.97	5.69	-	-	-	-	89.98
0 -1 dk.	54.88	53.03	54.88	53.03	72.73	72.73	44.97
1-2 dk.	17.97	39.32	72.85	49.64	17.66	90.39	58.01
2-4 dk.	4.49	32.33	77.34	48.64	3.63	94.02	64.65
4-6 dk.	0.63	32.59	77.97	48.51	0.52	94.53	64.40
6-8 dk.	1.70	35.70	79.67	48.24	1.51	96.05	61.45
8-10 dk.	0.73	25.61	80.40	48.03	0.47	96.52	71.04
10-12 dk.	1.63	22.76	82.03	47.53	0.93	97.44	73.75
Toplam	100.00	40.01	-	-	-	-	57.35

*ilgili zaman aralığında alınan konsantreyi ifade etmektedir.

Yapılan kinetik testlerin diğeri ise tekrar yüksek tenörlü cevher numunesine uygulanmıştır. Söz konusu bu testte toplayıcı miktarı 2667 g/t 'a arttırılmış bu durumun kaba konsantredeki etkisini azaltmak için bastırıcı miktarı 1000 g/t 'a çekilmiştir. Alınan ürünlerin özellikleri Çizelge 3.15' de verilmiştir.

Çizelge 3.15 Yüksek tenörlü cevher numunesinde 2667 g/t toplayıcı - 1000 g/t bastırıcılı test sonucu

Ürünler*	Ağ. %	Alunit %	Birikimli Ağırlık %	Birikimli Alunit %	Verim %	Birikimli Verim %	SiO ₂ %
Kaba Flo. Atık	25.70	4.91	-	-	-	-	90.72
0 -1 dk.	33.58	62.03	33.58	62.03	50.39	50.39	36.41
1-2 dk.	20.39	51.53	53.97	58.06	25.42	75.81	46.40
2-4 dk.	9.28	50.53	63.25	56.96	11.34	87.15	47.35
4-6 dk.	2.07	47.36	65.32	56.65	2.37	89.52	50.36
6-8 dk.	3.17	35.69	68.49	55.68	2.74	92.26	61.46
8-10 dk.	1.80	40.02	70.29	55.28	1.74	94.00	57.34
10-12 dk.	2.57	28.95	72.86	54.35	1.80	95.80	67.87
12-14 dk.	1.44	32.92	74.30	53.94	1.14	96.94	64.09
Toplam	100.00	41.34	-	-	-	-	56.08

*ilgili zaman aralığında alınan konsantreyi ifade etmektedir.

Yüksek tenörlü cevher numunesinde bastırıcı miktarını saptamak için yapılan kinetik testlerin karşılaştırmalı test koşulları Çizelge 3.16' da verilmektedir.

Çizelge 3.16 Yüksek tenörlü cevher numunesinde bastırıcı miktarını saptamak için yapılan kinetik testlerin karşılaştırmalı test koşulları

Test Koşulları			
pH	9.55	9.55	9.48
% Katı w/w	15	15	15
Toplayıcı (g/t) (Florrea 7014)	2000+333+333	2000+333+333	2000+333+333
Bastırıcı (g/t)	333	667	1000
Köpürtücü (g/t)	10	10	10

Alınan ürünlerin özellikleri Çizelge 3.17' de verilmiştir.

Çizelge 3.17 Yüksek tenörlü cevher numunesinde 2000 g/t toplayıcı - 333 g/t bastırıcı test sonucu

Ürünler*	Ağ. %	Alunit %	Birikimli Ağırılık %	Birikimli Alunit %	Verim %	Birikimli Verim %	SiO₂ %
Kaba Flo. Atık	17.97	5.69	-	-	-	-	89.98
0 -1 dk.	54.88	53.03	54.88	53.03	72.73	72.73	44.97
1-2 dk.	17.97	39.32	72.85	49.64	17.66	90.39	58.01
2-4 dk.	4.49	32.33	77.34	48.64	3.63	94.02	64.65
4-6 dk.	0.63	32.59	77.97	48.51	0.52	94.53	64.40
6-8 dk.	1.70	35.70	79.67	48.24	1.51	96.05	61.45
8-10 dk.	0.73	25.61	80.40	48.03	0.47	96.52	71.04
10-12 dk.	1.63	22.76	82.03	47.53	0.93	97.44	73.75
Toplam	100.00	40.01	-	-	-	-	57.35

*İlgili zaman aralığında alınan konsantreyi ifade etmektedir.

Yüksek tenörlü cevher numunesinde ikinci bastırıcı miktarını saptamak için yapılan test ile alınan ürünlerin özellikleri Çizelge 3.18' de verilmiştir.

Çizelge 3.18 Yüksek tenörlü cevher numunesinde 2000 g/t toplayıcı - 667 g/t bastırıcı test sonucu

Ürünler*	Ağ. %	Birikimli Ağırlık %
Kaba Flo. Atık	36.21	-
0 -1 dk.	24.30	24.30
1-2 dk.	17.72	42.02
2-4 dk.	10.59	52.61
4-6 dk.	3.27	55.88
6-8 dk.	5.52	61.40
8-10 dk.	2.39	63.79
Toplam	100.00	-

*ilgili zaman aralığında alınan konsantreyi ifade etmektedir.

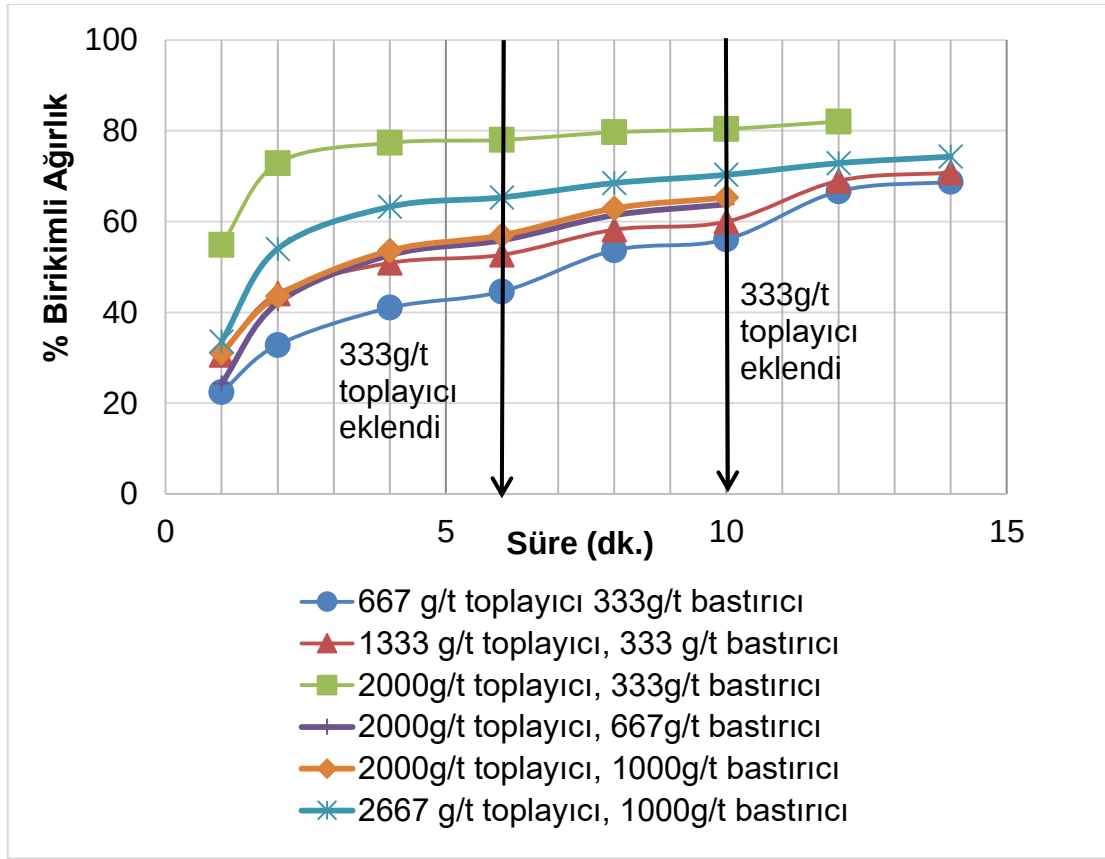
Yüksek tenörlü cevher numunesinde bastırıcı miktarını saptamak için yapılan kinetik testlerin diğerinde 2000 g/t toplayıcı, 1000 g/t bastırıcı kullanılmıştır. Alınan ürünlerin özellikleri Çizelge 3.19' da verilmiştir.

Çizelge 3.19 Yüksek tenörlü cevher numunesinde 2000 g/t toplayıcı – 1000 g/t bastırıcı test sonucu

Ürünler*	Ağ. %	Alunit %	Birikimli Ağırlık %	Birikimli Alunit %	Verim %	Birikimli Verim %	SiO ₂ %
Kaba Flo. Atık	34.73	9.05	-	-	-	-	86.78
0 -1 dk.	31.07	67.77	31.07	67.77	50.63	50.63	30.95
1-2 dk.	12.52	58.20	43.59	65.02	17.53	68.16	40.05
2-4 dk.	9.98	53.29	53.57	62.83	12.79	80.95	44.73
4-6 dk.	3.42	45.78	56.99	61.81	3.76	84.71	51.86
6-8 dk.	5.92	44.49	62.91	60.18	6.33	91.04	53.09
8-10 dk.	2.36	24.57	65.27	58.90	1.39	92.44	72.03
Toplam	100.00	41.58	-	-	-	-	55.85

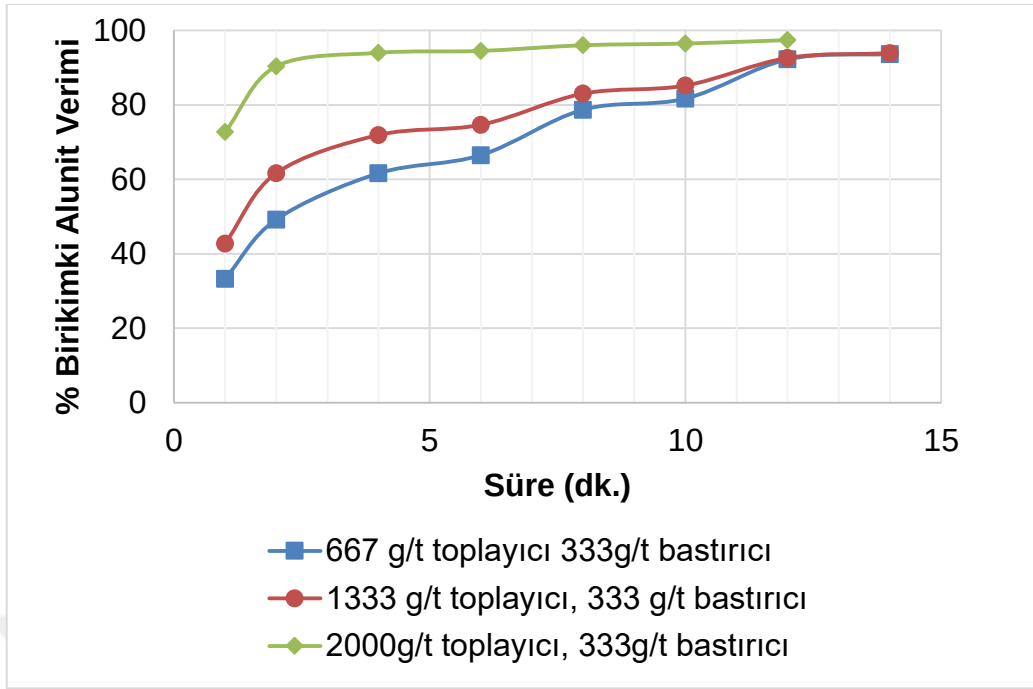
*ilgili zaman aralığında alınan konsantreyi ifade etmektedir.

Yüksek tenörlü cevher numunesinde farklı kimyasal miktarlarında toplanan kinetik flotasyon test verilerinden hareketle, flotasyon süresince kazanılan katı miktarı üzerine kimyasalların etkisi Şekil 3.2' de özetlenmektedir.



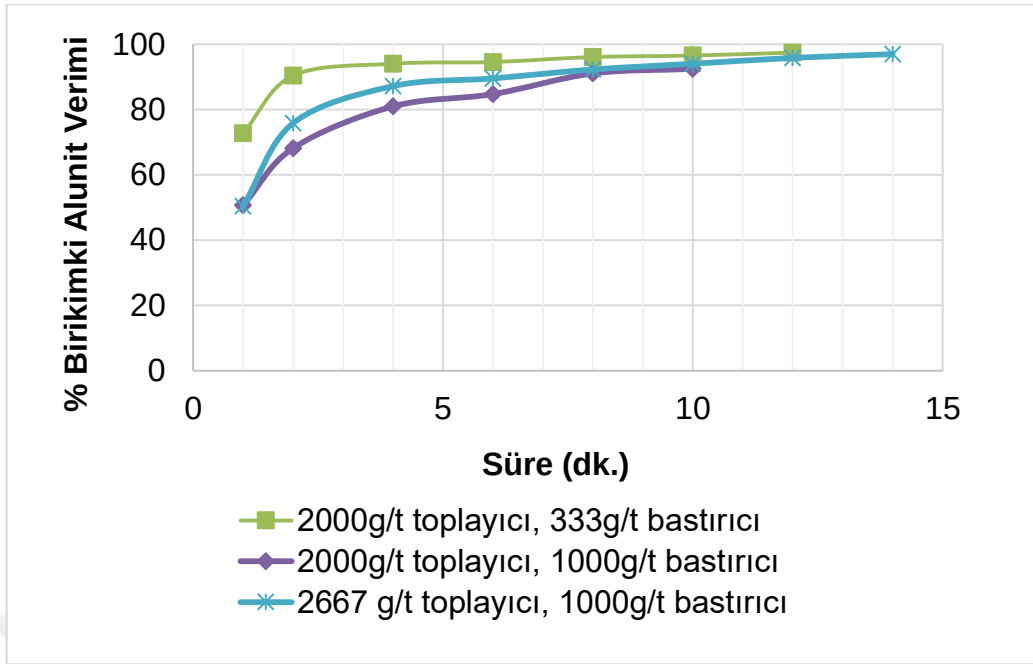
Şekil 3.2 Yüksek tenörlü cevherde reaktif miktarının yüzen ürün miktarına etkisi

Şekil 3.2' den görüldüğü üzere yüksek tenörlü cevherde toplayıcı miktarının 667 g/t değerinden 2000 g/t değerine çıkması durumunda ara toplayıcı ekleme adımlarındaki sıçramalar ortadan kalkmaktadır. Bu da toplayıcının başlangıçta dahi yüksek miktarlarda olması gerektiğine işaret etmektedir. 2000 g/t toplayıcı miktarı ile başladığında, bastırıcı miktarı da oldukça etkili olmakta, buna rağmen 667 g/t ile 1000 g/t bastırıcı miktarlarında benzer kazanımlar elde edilmektedir. Ayrıca 1000 g/t bastırıcı miktarında toplam kazanımın artırılması amacıyla toplayıcı miktarı 2667 g/t seviyesinde yeniden test edilmiştir. Artan toplayıcı miktarının 1000 g/t bastırıcı miktarında dahi bir miktar katı kazanımını arttırdığı görülmektedir. Yüksek tenörlü alunit cevher numunesinde toplayıcı miktarının alunit verimi üzerine etkisi Şekil 3.3 'de sunulmuştur.



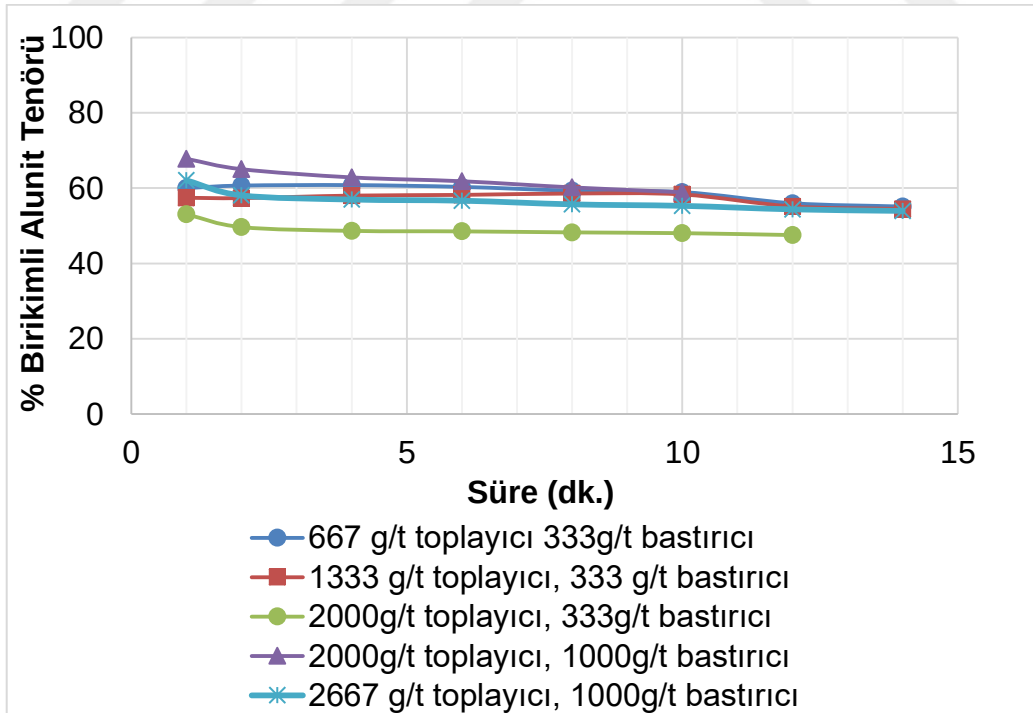
Şekil 3.3 Yüksek tenörlü cevherde toplayıcı miktarının alunit verimi üzerine etkisi

Yüksek tenörlü cevherde kinetik test çalışması sırasında bastırıcı miktarının etkisini incelemek amacıyla 2000 g/t başlangıç toplayıcı miktarında bastırıcı miktarı 333 g/t seviyesinden 1000 g/t seviyesine artırılmıştır. Bu durumda alunit veriminde bir miktar azalma gözlenmektedir (Şekil 3.4). Bununla birlikte toplayıcı miktarı bir sonraki testte 2667 g/t seviyesine çıkartıldığında, 1000 g/t düzeyindeki bastırıcı etkili olmakla birlikte toplayıcı miktarının alunit verim artışına neden olduğu anlaşılmıştır (Şekil 3.4). Diğer taraftan bastırıcı miktarındaki artış ürünlerin silis içeriğinde de ciddi bir değişime neden olmakta ve alınan konsantre tenörü de yükselmektedir (Şekil 3.5).

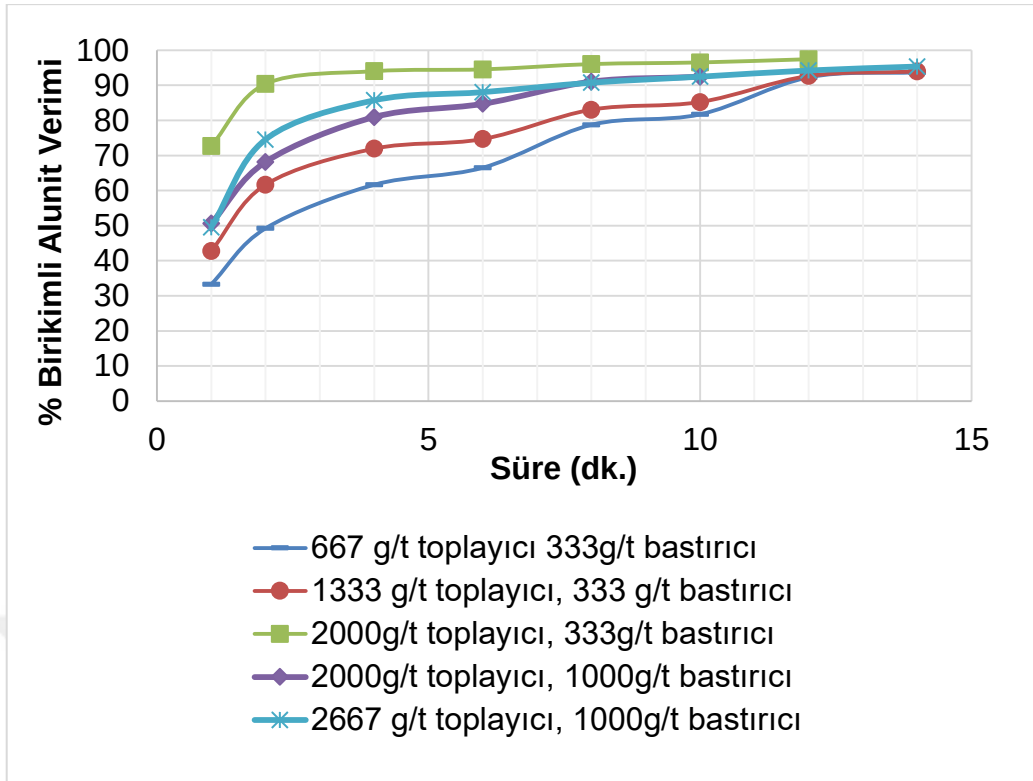


Şekil 3.4 Yüksek tenörlü cevherde bastırıcı miktarının alunit verimi üzerine etkisi

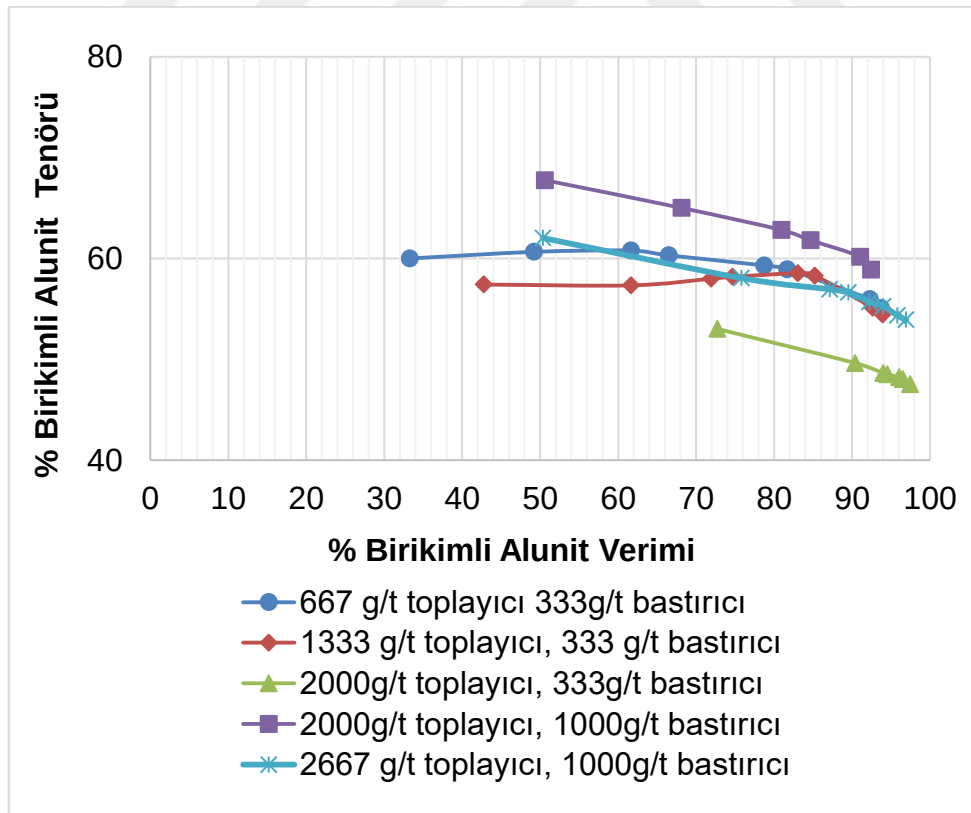
Yüksek tenörlü cevherde farklı toplayıcı ve bastırıcı miktarlarının etkisinin incelendiği kinetik flotasyon test sonuçlarını genel olarak değerlendirmek amacıyla her bir testten elde edilen birikimli alunit tenör ve verim eğrileri Şekil 3.5 ve Şekil 3.6' da, bunlarla birlikte verim-tenör (alunit) eğrileri Şekil 3.7' de sunulmuştur.



Şekil 3.5 Yüksek tenörlü cevherde toplayıcı ve bastırıcı miktarlarının tenör eğrileri üzerine etkisi



Şekil 3.6 Yüksek tenörlü cevherde toplayıcı ve bastırıcı miktarlarının verim eğrileri üzerine etkisi



Şekil 3.7 Yüksek tenörlü cevherde toplayıcı ve bastırıcı miktarlarının verim-tenör eğrileri üzerine etkisi

Şekil 3.7 incelendiğinde yüksek tenörlü cevherde toplayıcı miktarındaki artışın alunit verimini belirli ölçüde arttırdığını ortaya koymaktadır. Bastırıcı miktarı 1000 g/t düzeyinde alunit verimini çok az olumsuz yönde etkilemekte, buna karşın konsantre tenöründe ciddi artış olmaktadır. 2000 g/t toplayıcı ve 1000 g/t bastırıcı kullanılan testte görüldüğü gibi toplayıcı miktarına ekleme yapılması durumunda verim-tenör eğrisi aşağıda kalmakta yani ürün tenörü düşmektedir. Bununla birlikte toplayıcı miktarı bir sonraki testte 2667 g/t seviyesine çıkartıldığında, 1000 g/t düzeyindeki bastırıcı etkili olmakla birlikte toplayıcı miktarının alunit verim artışına neden olduğu anlaşılmıştır. Sonuçlardan da anlaşılabacağı üzere yüksek toplayıcı miktarı ile (2000 g/t ve üzeri) 10 dakikanın altındaki yüzdürme sürelerinde dahi alunit verimi %90' ın üzerine çıkmaktadır. Bu testler sonucunda temizleme öncesi kaba flotasyon aşaması için 6 dakikalık bir yüzdürme süresinin yeterli olduğuna karar verilmiştir. Sistemde mümkün olduğunca yüksek verim sağlanması amacıyla 6 dakikalık flotasyonu takiben iki kere 333 g/t toplayıcı ilavesi yapılarak 4' er dakikalık süpürme aşamaları uygulanmıştır. Ancak genel olarak ikinci süpürme aşamasında önemli ölçüde bir yüzen ürün oluşmamakla birlikte temizleme flotasyonu öncesinde standart olarak bu iki aşamalı süpürme işlemi uygulanmıştır.

Yapılan kinetik testlerin devamı niteliğindeki çalışmalar ise düşük tenörlü cevher numunesi üstünde yapılmıştır. Bu testler düşük tenörlü numune için yüksek tenörlü numunede tenör ve verim değerlerinde iyi sonuçlar veren 2000 g/t toplayıcı - 1000 g/t bastırıcı ve 2667 g/t toplayıcı – 1000 g/t bastırıcı miktarları ile sınırlandırılmıştır. Kaba flotasyon süresinde ilk 6 dakikadan sonra yüksek tenörlü numunede de gerçekleştirildiği gibi iki kere 333 g/t toplayıcı ilavesi yapılmış ve 4 'er dakikalık süpürme aşamaları gerçekleştirilmiştir.

Düşük tenörlü cevher numunesinde kaba flotasyon aşamasında kullanılacak toplayıcı ve bastırıcı miktarını saptamak için yapılan kinetik testlerin karşılaştırmalı test koşulları Çizelge 3.20' de gösterilmektedir.

Çizelge 3.20 Düşük tenörlü cevher numunesinde toplayıcı ve bastırıcı miktarını saptamak için yapılan kinetik testlerin karşılaştırmalı test koşulları

Test Koşulları		
pH	9.48	9.41
% katı w/w	15	15
Toplayıcı (g/t) (Florrea 7014)	2000+333+333	2667+333+333
Bastırıcı (g/t)	1000	1000
Köpürtücü (g/t)	10	10

Düşük tenörlü cevher numunesinde ilk olarak gerçekleştirilen kinetik testde alınan ürünlerin özellikleri Çizelge 3.21' de verilmiştir

Çizelge 3.21 Düşük tenörlü cevher numunesinde 2000 g/t toplayıcı – 1000 g/t bastırıcılı test sonucu

Ürünler*	Ağ. %	Alunit %	Birikimli Ağırlık %	Birikimli Alunit %	Verim %	Birikimli Verim %	SiO ₂ %
Kaba Flo. Atık	32.30	3.88	-	-	-	-	68.37
0 -1 dk.	21.01	37.51	21.01	37.51	34.27	34.27	40.38
1-2 dk.	16.71	29.10	37.72	33.78	21.14	55.41	47.38
2-4 dk.	8.64	36.86	46.36	34.36	13.84	69.26	40.92
4-6 dk.	3.64	29.75	50.00	34.02	4.71	73.96	46.84
6-8 dk.	7.28	31.69	57.28	33.72	10.03	84.00	45.23
8-10 dk.	3.31	23.93	60.59	33.19	3.44	87.44	51.69
10-12 dk.	5.79	22.63	66.38	32.27	5.70	93.14	52.76
12-14 dk.	1.32	24.57	67.70	32.12	1.41	94.55	51.15
Toplam	100.00	23.00	-	-	-	-	52.46

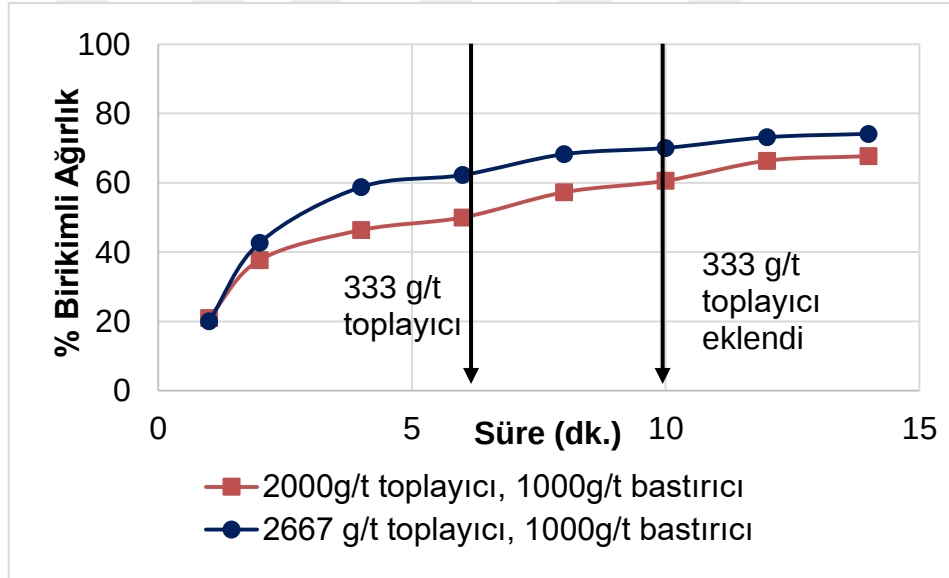
*ilgili zaman aralığında alınan konsantreyi ifade etmektedir.

Düşük tenörlü cevher numunesinde yapılan kinetik testlerin bir diğerinde ise alınan ürünlerin özellikleri Çizelge 3.22' de verilmiştir.

Çizelge 3.22 Düşük tenörlü cevher numunesinde 2667 g/t toplayıcı – 1000 g/t bastırıcı test sonucu

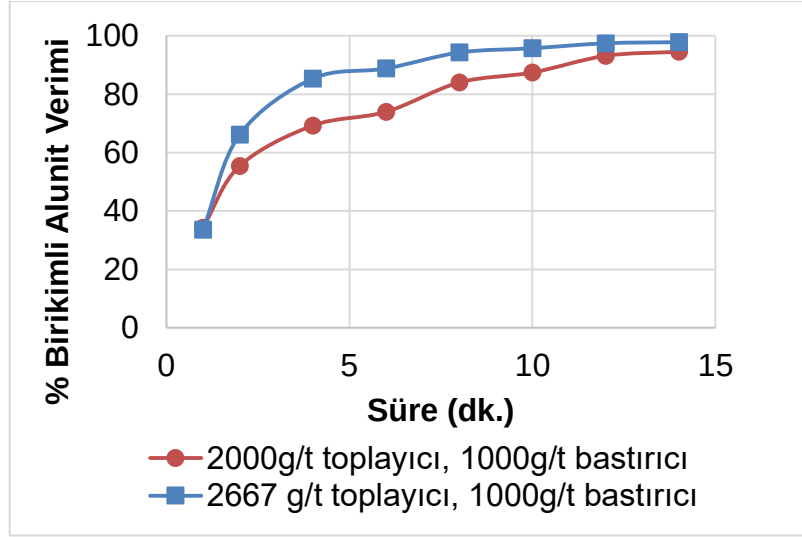
Ürünler*	Ağ. %	Alunit %	Birikimli Ağırlık %	Birikimli Alunit %	Verim %	Birikimli Verim %	SiO ₂ %
Kaba Flo. Atık	25.86	2.28	-	-	-	-	69.71
0 -1 dk.	20.03	45.27	20.03	45.27	33.54	33.54	33.92
1-2 dk.	22.70	38.80	42.74	41.83	32.58	66.12	39.31
2-4 dk.	16.06	32.33	58.79	39.24	19.20	85.32	44.69
4-6 dk.	3.45	27.16	62.25	38.57	3.47	88.79	48.99
6-8 dk.	6.03	24.57	68.27	37.33	5.48	94.27	51.15
8-10 dk.	1.79	21.99	70.07	36.94	1.46	95.72	53.30
10-12 dk.	3.09	14.87	73.16	36.01	1.70	97.43	59.22
12-14 dk.	0.98	10.99	74.14	35.68	0.40	97.82	62.45
Toplam	100.00	27.04	-	-	-	-	49.10

*ilgili zaman aralığında alınan konsantreyi ifade etmektedir.

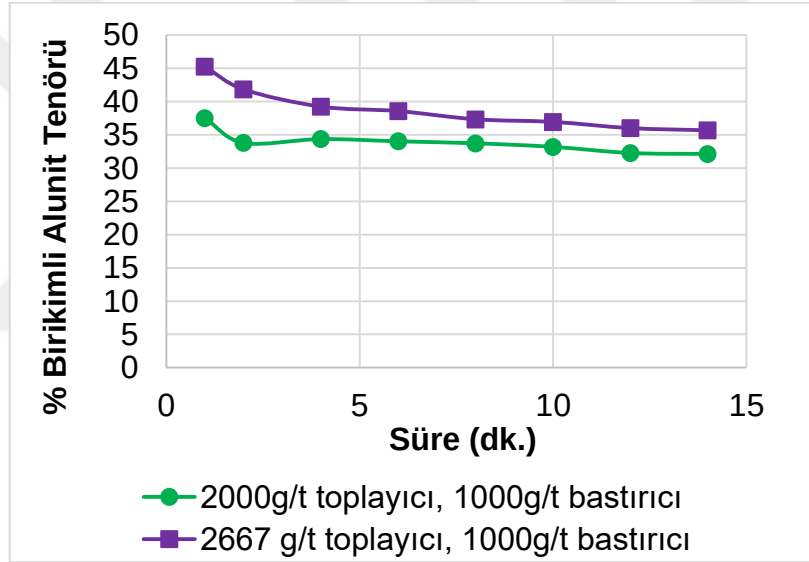


Şekil 3.8 Düşük tenörlü cevher numunesinde toplayıcı miktarının yüzen ürün miktarına etkisi

Şekil 3.8 'den de görüldüğü üzere toplayıcı miktarının 2000 g/t ve 2667 g/t değerlerinde ara toplayıcı ekleme adımlarında sıçramalar gözlemlenmiştir. Bu durum toplayıcının başlangıçta dahi yüksek miktarlarda olması gerektiğine işaret etmektedir. Bununla birlikte 2667 g/t toplayıcı miktarında 14. Dakikaya kadar olan verimin %97.82' ye çıkmış olması kaba devrede istenen yüksek verimin elde edildiğini göstermiştir (Şekil 3.9).



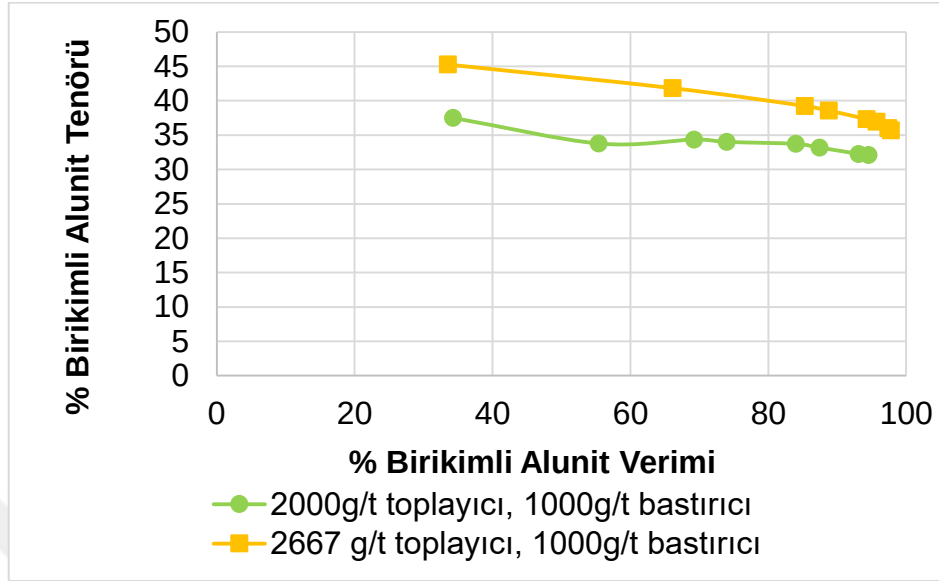
Şekil 3.9 Düşük tenörlü cevher numunesine yapılan kinetik testler sonucunda elde edilen birikimli alunit verimi



Şekil 3.10 Düşük tenörlü cevher numunesine yapılan kinetik testler sonucunda elde edilen birikimli alunit tenörü

Düşük tenörlü numuneye yapılan kinetik testler sonucunda Şekil 3.9, Şekil 3.10, Şekil 3.11' de verilen davranımlar elde edilmiştir. Bastırıcı miktarı sabit tutulup,

toplayıcı miktarı artırıldığında kaba flotasyon konsantresine alınan alunit miktarında artış olduğu sonucu bu grafiklerden elde edilmiştir.



Şekil 3.11 Düşük tenörlü cevher numunesine yapılan kinetik testler sonucunda elde edilen birikimli verim-tenör eğrileri

Her bir yüksek tenörlü ve düşük tenörlü numune için sadece kaba flotasyon aşamasında konsantreye alınan alunit veriminin pH değeri ile nasıl etkilendiğinin anlaşılması amaçlanmaktadır. Bu amaç için farklı pH değerlerinde sabit toplayıcı ve bastırıcı miktarlarıyla testler yapılmıştır. Alınan sonuçlarla en iyi pH değeri saptanarak temizlemeli testlerde bu değerlerin kullanılması hedeflenmiştir.

İlk test yüksek tenörlü cevher numunesine 2000 g/t toplayıcı – 1000 g/t bastırıcı miktarlarında pH 8.10 ve 9.50 değerlerinde sabit tutularak gerçekleştirilmiştir. Düşük ve yüksek pH’ ta yapılan testlerin koşulları Çizelge 3.23 ‘de verilmiştir. Test sonucunda alınan ürünlerin alunit içeriklerinin karşılaştırılabilmesi için testlerden elde edilen ürün özellikleri Çizelge 3.24 ‘de karşılaştırmalı olarak verilmektedir.

Çizelge 3.23 Yüksek tenör numunesinde 2000 g/t toplayıcı - 1000 g/t bastırıcı miktarlarında düşük pH etkisini ölçme test koşulları

Test Koşulları	Düşük pH	Yüksek pH
pH	8.00	9.50
% katı w/w	15	15
Toplayıcı (g/t) (Florrea 7014)	2000+333+333	2000+333+333
Bastırıcı (g/t)	1000	1000
Köpürtücü (g/t)	10	10

Çizelge 3.24 Yüksek tenörlü cevher numunesine 2000 g/t toplayıcı – 1000 g/t bastırıcı miktarında düşük pH ve yüksek pH etkisini gösteren karşılaştırmalı test sonuçları

Ürünler	Düşük pH (8.00)			Yüksek pH (9.50)		
	Ağ. %	Alunit %	Verim %	Ağ. %	Alunit %	Verim %
Kaba Flo. Atık	34.89	14.12	11.70	34.73	9.05	7.56
Kaba Flo. Kons.	65.11	57.11	88.30	65.27	58.90	92.44
Besleme	100.00	42.11	100.00	100.00	41.58	100.00

Çizelge 3.26 ‘dan da görüldüğü üzere yüksek pH değerinde düşük pH değerine göre kaba flotasyon konsantresine aynı ağırlık oranlarında daha yüksek tenör ve verimli ürün alınmıştır.

Daha sonraki aşamada yüksek tenörlü cevher numunesine 2667 g/t toplayıcı – 1000 g/t bastırıcı miktarlarında pH değeri 8.00 ve 9.50 ‘da testler uygulanmıştır. Düşük ve yüksek pH değerlerinde yapılan testlerin koşulları Çizelge 3.25’ de verilmiştir. Testler sonucunda alınan ürünlerin alunit içeriklerinin karşılaştırılabilmesi için testlerin sonuçları Çizelge 3.26’ da karşılaştırmalı olarak verilmektedir.

Çizelge 3.25 Yüksek tenörlü cevher numunesine 2667 g/t toplayıcı - 1000 g/t bastırıcı miktarlarında düşük pH etkisini ölçme test koşulları

Test Koşulları	Düşük pH	Yüksek pH
pH	8.00	9.50
% katı w/w	15	15
Toplayıcı (g/t) (Florrea 7014)	2667+333+333	2667+333+333
Bastırıcı (g/t)	1000	1000
Köpürtücü (g/t)	10	10

Çizelge 3.26 Yüksek tenörlü cevher numunesine 2667 g/t toplayıcı – 1000 g/t bastırıcı miktarında düşük pH ve yüksek pH etkisini gösteren karşılaştırmalı test sonuçları

Ürünler	Düşük pH (8.00)			Yüksek pH (9.50)		
	Ağ. %	Alunit %	Verim %	Ağ. %	Alunit %	Verim %
Kaba Flo. Atık	31.34	12.67	9.45	25.70	4.91	3.06
Kaba Flo. Kons.	68.66	55.46	90.55	74.30	53.94	96.94
Besleme	100.00	42.05	100.00	100.00	41.34	100.00

Çizelge 3.26' dan da görüldüğü üzere yüksek pH değerinde kaba flotasyon konsantresine daha yüksek ağırlık oranında ve düşük pH değerinde alınan ürüne oranla daha fazla verimle ürün alınmıştır. Yüksek pH değerinde alınan ürünün tenörü düşük pH değerinde alınan ürüne göre yaklaşık %2 daha düşüktür. Ancak, kaba flotasyon aşamasında verimin yüksek olması istendiğinden bu durum göz ardı edilmiştir.

Elde edilen bu veriler ışığında yüksek tenörlü cevher üzerinde her iki toplayıcı dozajıyla yapılmış olan test sonuçları da karşılaştırılmıştır. Bu amaç için yüksek pH değerinde kaba devrede uygulanan koşullar Çizelge 3.27 'de karşılaştırmalı olarak verilmektedir. Konsantrede gözlemlenen tenör, verim değerlerinin karşılaştırılması ise Çizelge 3.28 'de sunulmuştur.

Çizelge 3.27 Yüksek tenörlü cevher numunesinde toplayıcı miktarlarının etkisini ölçmek için karşılaştırmalı test koşulları

Test Koşulları	2000 g/t Toplayıcı	2667 g/t Toplayıcı
pH	9.50	9.50
% katı w/w	15	15
Toplayıcı (g/t) (Florrea 7014)	2000+333+333	2667+333+333
Bastırıcı (g/t)	1000	1000
Köpürtücü (g/t)	10	10

Çizelge 3.28 Yüksek tenörlü cevher numunesinde toplayıcı miktarlarının etkisini ölçmek için karşılaştırmalı test sonuçları

Ürünler	2000 g/t Toplayıcı			2667 g/t Toplayıcı		
	Ağ. %	Alunit %	Verim %	Ağ. %	Alunit %	Verim %
Kaba Flo. Atık	34.73	9.05	7.56	25.70	4.91	3.06
Kaba Flo. Kons.	65.27	58.90	92.44	74.30	53.94	96.94
Besleme	100.00	41.58	100.00	100.00	41.34	100.00

Yüksek tenör alunit cevher numunesinde toplayıcı miktarlarının saptanması için Çizelge 3.28' de verilen karşılaştırmalı test sonuçlarından, yüksek miktardaki toplayıcı ile yüksek pH değerinde kaba flotasyon devresi konsantresine düşük miktar toplayıcıya göre daha yüksek oranda ağırlığın daha fazla verimle alındığı saptanmıştır.

Üçüncü test, düşük tenörlü cevher numunesine 2667 g/t toplayıcı – 1000 g/t bastırıcı miktarlarında palp pH 'ı 8.00 ve 9.50 değerindeyken yapılmıştır. Düşük ve yüksek pH değerlerinde yapılan testlerin koşulları Çizelge 3.29 'da verilmiştir. Testler sonucunda alınan ürünlerin alunit içeriklerinin karşılaştırılabilmesi için testlerin sonuçları Çizelge 3.30 'da karşılaştırmalı olarak verilmektedir.

Çizelge 3.29 Düşük tenörlü cevher numunesinde 2667 g/t toplayıcı – 1000 g/t bastırıcı miktarında düşük pH etkisini ölçme test sonucu

Test Koşulları	Düşük pH	Yüksek pH
pH	8.00	9.50
% katı w/w	15	15
Toplayıcı (g/t) (Florrea 7014)	2667+333+333	2667+333+333
Bastırıcı (g/t)	1000	1000
Köpürtücü (g/t)	10	10

Çizelge 3.30 Düşük tenörlü cevher numunesinde 2667 g/t toplayıcı – 1000 g/t bastırıcı miktarında düşük pH ve yüksek pH etkisini gösteren karşılaştırmalı test sonuçları

Ürünler	Düşük pH (8.00)			Yüksek pH(9.50)		
	Ağ. %	Alunit %	Verim %	Ağ. %	Alunit %	Verim %
Kaba Flo. Atık	37.12	24.73	30.86	26.69	3.44	3.10
Kaba Flo. Kons.	62.88	32.71	69.14	73.31	39.08	96.90
Besleme	100.00	29.75	100.00	100.00	29.75	100.00

Çizelge 3.30' dan da görüldüğü üzere yüksek pH değerinde düşük pH değerine göre kaba flotasyon konsantresine daha yüksek ağırlık oranında ürün alındığı görülmüştür. Bununla beraber düşük pH değerinde alınan ürüne oranla yüksek pH değerinde kaba flotasyon konsantresinin veriminin çok daha fazla olduğu sonucuna varılmıştır. Bu testler göstermiştir ki düşük tenörlü alunit cevherinde devam ettirilecek olan flotasyon çalışmalarının yüksek pH değerinde 2667 g/t toplayıcı, 1000 g/t bastırıcı miktarlarıyla gerçekleştirilmesi kaba flotasyonda ulaşmak istenen yüksek verime olanak sağlamaktadır.

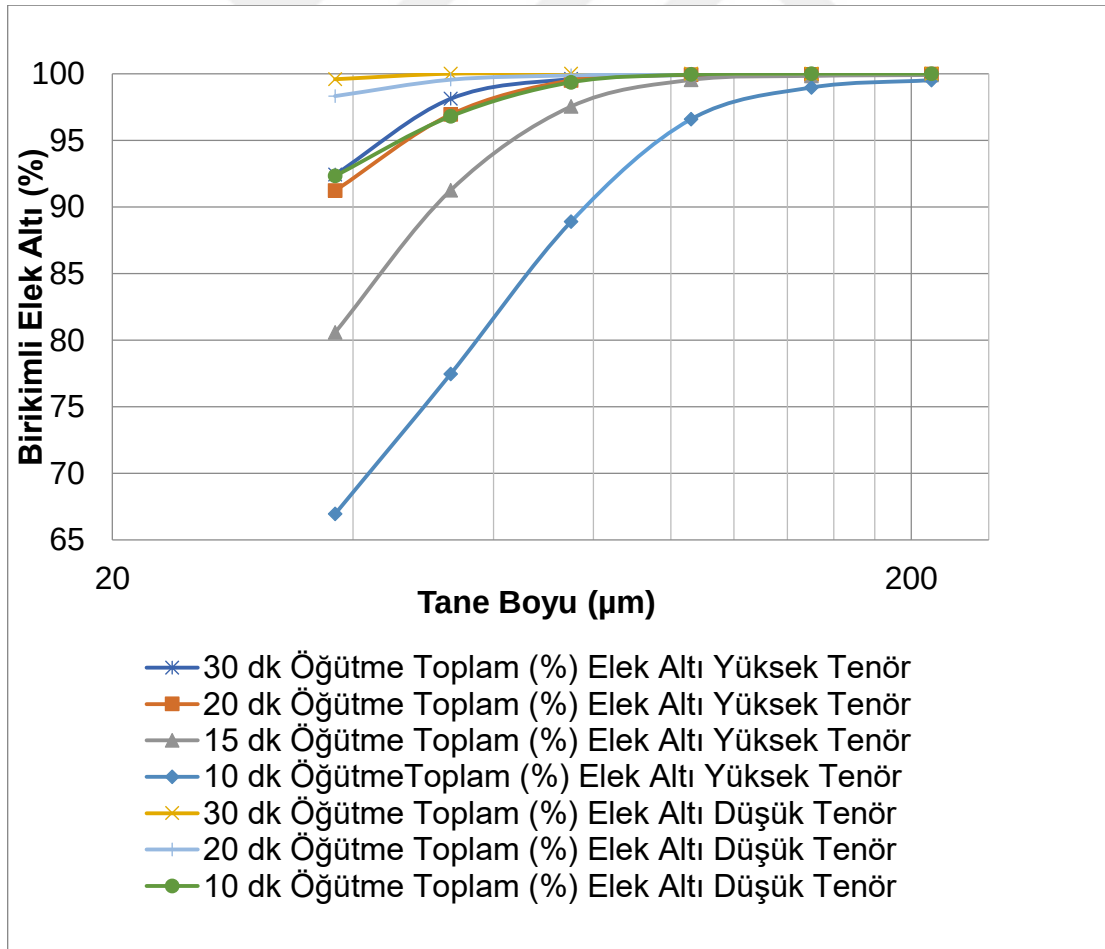
3.3.2. Öğütme İnceliğinin Etkisi

Literatüre bakıldığında alunit cevheri üzerinde yapılan flotasyon çalışmaları genel olarak göstermektedir ki flotasyon yöntemi beslenen cevherin serbestleşme tane

boyuna ne kadar çok yaklaşıldığıyla doğru orantılı şekilde sonuç vermektedir (Karantzaveos, 1985) [3].

Cevher numuneleri üzerinde yapılan ön incelemeler ve mineralojik çalışmalar sonucunda da serbestleşmenin ince boylarda olduğu anlaşılmıştır. Bu nedenle flotasyon çalışmalarında öncelikle serbestleşme sorunu yaşamamak amacıyla en ince öğütme boyu ile testlere başlanmış daha sonra elde edilen en iyi koşullarda tane boyunun etkisinin incelenmesi amaçlanmıştır.

Bu amaçla yüksek ve düşük tenörlü olarak adlandırılan her iki numuneye de farklı sürelerde laboratuvar ölçekli bilyalı değirmende, aynı öğütme koşullarında öğütme testleri uygulanmış ve öğütülmüş ürünlerin tane boyu dağılımları belirlenmiştir. Farklı öğütme sürelerinde elde edilen tane boyu dağılımları Şekil 3.12 'de verilmektedir. Düşük tenörlü cevher olarak adlandırılan numunede daha kısa sürede daha ince ürün üretilmesinin temel nedeni cevher içindeki kil oranının yüksek tenörlü olarak adlandırılan numuneye oranla daha yüksek olmasıdır.



Şekil 3.12 Farklı öğütme sürelerindeki tane boyu dağılımları

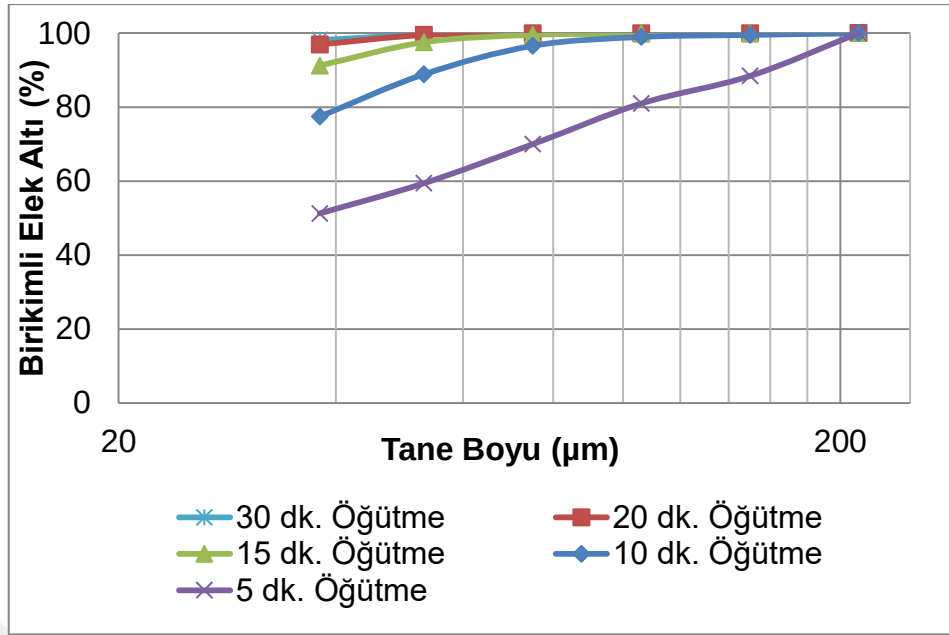
Tane boyunun flotasyon üzerindeki etkisini belirleme çalışmalarında kullanılmış olan numuneler bilyalı değirmende önceden belirlenmiş sürelerde öğütülerek farklı inceliklerde flotasyon beslemesi olarak hazırlanmıştır. Her bir deney numunesi, deney öncesinde bölünerek istenilen ağırlıklarda ayrılmış ve önceden belirlenmiş öğütme koşullarında öğütülerek flotasyon testine tabi tutulmuştur. Öğütme işlemi dışarıdan kirletici bir etki olmaması için bilyalı-seramik değirmende %50 katıda yaş olarak gerçekleştirilmiştir.

Öğütme inceliğinin etkisini belirlemek amacıyla laboratuvarda farklı sürelerde öğütülen cevher aynı test koşulunda 5 kademe temizleme içerecek şekilde flotasyon testine tabi tutulmuştur. Bu işlemler hem yüksek tenörlü hem düşük tenörlü alunit cevher numunesine uygulanmıştır.

Yüksek tenörlü alunit cevher numunesine uygulanmış olan farklı öğütme süreleri sonucunda numunelerin ulaştıkları tane boyu dağılımları Çizelge 3.31 ve Şekil 3.13' de görülmektedir.

Çizelge 3.31 Yüksek tenörlü cevher numunesinde flotasyon beslemesi boyut dağılımının etkisini belirlemek amacıyla kullanılan farklı besleme boyut dağılımları

Tane Boyu Fraksiyonu (μm)	Birikimli Elek Altı (%)				
	5 dk. Öğütme ($p_{80}=103.24 \mu\text{m}$)	10 dk. öğütme ($p_{80}=41.35\mu\text{m}$)	15 dk. öğütme	20 dk. öğütme	30 dk. öğütme
+212	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
-212+150	88.42	99.52	99.90	99.97	99.97
-150+106	80.98	98.96	99.83	99.94	99.93
-106+75	69.99	96.58	99.53	99.92	99.90
-75+53	59.43	88.88	97.53	99.49	99.60
-53+38	51.26	77.44	91.23	96.93	98.11
-38	44.77	66.94	80.57	91.22	92.41



Şekil 3.13 Yüksek tenörlü cevher numunesinde farklı flotasyon besleme boyut dağılımları

Şekil 3.13' den de anlaşıldığı gibi yüksek tenörlü numuneye uygulanan 20 dakikalık öğütme ile 30 dakikalık öğütme incelikleri birbirlerine son derece yakın olmakta ve her iki koşulda da cevherin neredeyse tamamı 106 µm'nin altına öğünmektedir. Bu nedenle endüstriyel uygulama da göz önüne alınarak cevher daha ince boylara öğütülmemiştir.

Yüksek tenörlü cevher numunesinde farklı öğütme inceliklerinde yapılan testlerin koşulları olarak Çizelge 3.32' de, testler sonucunda elde edilen nihai konsantre ve atığın genel özellikleri ise Çizelge 3.33 'de sunulmuştur.

Çizelge 3.32 Yüksek tenörlü alunit cevher numunesinde farklı öğütme inceliklerinde yapılan testlerin koşulları

Test Koşulları	
pH	9.56
% katı w/w	15
Toplayıcı (g/t) (Florrea 7014)	2667+333+333
Bastırıcı (g/t)	1000
Köpürtücü (g/t)	10

Çizelge 3.33 Yüksek tenörlü alunit cevher numunesinde farklı besleme inceliklerinde yapılan flotasyon test sonuçları

5 dk. Öğütülmüş Besleme (p80=103.24 µm)	Ağırlık %	Alunit		SiO ₂	
Ürünler		%	Verim %	%	Verim %
Kaba Flo. Atık	51.18	20.05	24.41	76.33	71.63
Tem. 1 Atık	12.20	56.94	49.36	38.78	25.92
Tem. 2 Atık	8.29				
Tem. 3 Atık	5.50				
Tem. 4 Atık	5.02				
Tem. 5 Atık	5.43	88.98	26.23	10.79	2.45
Nihai Kons.	12.39				
Besleme	100.00	42.03	100.00	54.53	100.00

10 dk. Öğütülmüş Besleme (p80=41.35µm)	Ağırlık %	Alunit		SiO ₂	
Ürünler		%	Verim %	%	Verim %
Kaba Flo. Atık	39.41	11.38	10.67	84.57	61.12
Tem. 1 Atık	15.78	53.06	60.12	43.05	37.60
Tem. 2 Atık	10.99				
Tem. 3 Atık	8.14				
Tem. 4 Atık	7.03				
Tem. 5 Atık	5.69	94.67	29.21	5.38	1.28
Nihai Kons.	12.97				
Besleme	100.00	42.03	100.00	54.53	100.00

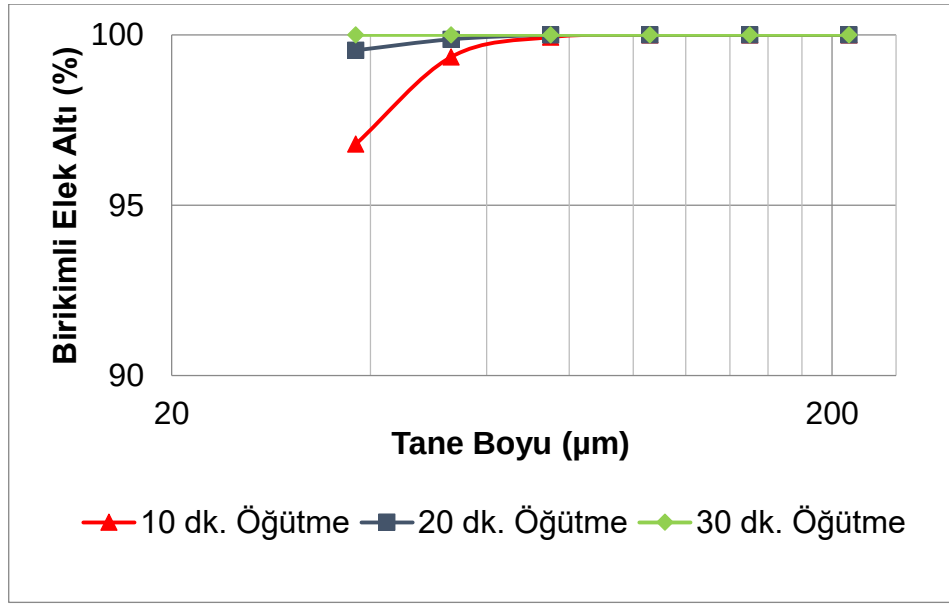
15 dk. Öğütülmüş Besleme	Ağırlık %	Alunit		SiO ₂	
Ürünler		%	Verim %	%	Verim %
Kaba Flo. Atık	36.02	9.05	7.76	86.78	57.33
Tem. 1 Atık	16.17	50.35	56.83	45.63	39.70
Tem. 2 Atık	10.93				
Tem. 3 Atık	7.58				
Tem. 4 Atık	6.59				
Tem. 5 Atık	6.17	90.02	35.41	9.80	2.97
Nihai Kons.	16.54				
Besleme	100.00	42.03	100.00	54.53	100.00

20 dk. Öğütülmüş Besleme	Ağırlık %	Alunit		SiO ₂	
Ürünler		%	Verim %	%	Verim %
Kaba Flo. Atık	36.75	9.83	8.59	86.04	57.99
Tem. 1 Atık	20.62	53.90	68.70	42.46	41.71
Tem. 2 Atık	12.82				
Tem. 3 Atık	9.05				
Tem. 4 Atık	6.01				
Tem. 5 Atık	5.06	98.55	22.70	1.69	0.30
Nihai Kons.	9.68				
Besleme	100.00	42.03	100.00	54.53	100.00

Düşük tenörlü alunit cevher numunesine uygulanmış olan farklı öğütme süreleri sonucunda numunelerin ulaştıkları tane boyu dağılımları Çizelge 3.34 ve Şekil 3.14' de görülmektedir.

Çizelge 3.34 Düşük tenörlü cevher numunesinde flotasyon beslemesi boyut dağılımının etkisini belirlemek amacıyla kullanılan farklı besleme boyut dağılımları

Tane Boyu Fraksiyonu (µm)	10 dk. Öğütme	20 dk. Öğütme	30 dk. Öğütme
+212	100.00	100.00	100.00
-212+150	100.00	100.00	100.00
-150+106	100.00	100.00	100.00
-106+75	99.94	100.00	100.00
-75+53	99.35	99.87	100.00
-53+38	96.79	99.55	100.00
-38	92.32	98.32	99.59



Şekil 3.14 Düşük tenörlü cevher numunesinde farklı flotasyon besleme boyut dağılımları

Şekil 3.14' den de anlaşıldığı gibi düşük tenörlü numuneye uygulanan 20 dakikalık öğütme ile 30 dakikalık öğütme incelikleri birbirlerine son derece yakın olmakta ve her iki koşulda da cevherin tamamı 38 µm'nin altına öğünmektedir. Bu nedenle endüstriyel uygulama da göz önüne alınarak cevher yüksek tenörlü cevherde de olduğu gibi daha uzun öğütme işlemleri uygulanmamıştır.

Yüksek tenörlü alunit cevher numunesinde öğütme inceliğinin flotasyon üzerine olan etkilerini incelemek amacıyla yapılmış olan testlerde besleme tane boyu irileştikçe flotasyon performansının düştüğü anlaşılmaktadır. 15 dakikalık öğütme süresinden daha fazla olan öğütme sürelerinde ürün inceliğindeki artış ile kaba flotasyon aşamasında alunit verimi %90'ın üzerine çıkmaktadır. Ancak 5 dakika gibi kısa süreli öğütme sonrasında flotasyon besleme boyu $d_{80} = 150 \mu m$ seviyesinde kalmış (en üst boy 200 µm' den iridir) ve buna bağlı olarak da kaba devrenin alunit verimi %75 seviyesine kadar düşmüştür. Ayrıca beş kademe temizleme sonundaki nihai ürün alunit tenörü %88.89 olmuştur. Daha fazla öğütme sürelerinde ise cevherin hemen hemen tamamı 106 µm' den ince olmakta, ayrıca -38 µm oranı da %90' ın üzerine çıkmaktadır. Bu şekilde yapılan öğütme sonunda hem kaba devre verimi artmış, hem de temizlemede alunit tenörü %90' ın üzerine çıkmıştır. Bu nedenle cevherin tamamının 106 µm' den daha ince olacak şekilde öğütülmesi ile daha temiz konsantre alınabileceği anlaşılmaktadır.

Düşük tenörlü cevher numunesine uygulanan 10, 20 ve 30 dakikalık öğütmeler sonucunda beklenen veriler gözlemlenmiştir. Yüksek tenörlü cevherde yapılan flotasyon test sonuçlarından besleme tane boyu irileştikçe flotasyon performansının düştüğü anlaşılmıştır. Buna göre düşük tenörlü cevher numunesinde 10 dakika öğütme sonrasında flotasyon beslemesinin yaklaşık %96.8' i, 20 ve 30 dakikalık öğütmeler sonrasında ise flotasyon beslemesinin hemen hemen tamamının yaklaşık 38 µm'nin altında olduğu Çizelge 3.34 ve Şekil 3.14 'den çıkarılmaktadır. Bağlı tanelerinin beslemedeki oranı düşürüldükçe, kaba flotasyonda alınan konsantre veriminin arttığı ve 5 kademeli temizleme sonucunda alınan ürünlerin verim tenör oranının da buna göre artış gösterdiği yüksek tenörlü cevher numunesine yapılan testlerde anlaşılmıştır. Bu nedenle farklı öğütme inceliklerinin flotasyona etkilerinin yüksek tenörlü cevher numunesinde gözlenen sonuçlara benzer olacağı düşünüldüğünden bu amaçla düşük tenörlü cevher için flotasyon testlerine gerek görülmemiştir. Düşük tenörlü cevherin tamamının ince fraksiyonlarda olacak şekilde öğütülmesi ile daha temiz konsantre alınabileceği öngörüsüyle hareket edilmiştir.

3.3.3. Temizleme Kademesi Sayısının Belirlenmesine Yönelik Test Çalışmaları

Yüksek ve düşük tenörlü alunit cevher numunesinde gerçekleştirilen flotasyon testlerindeki temizleme kademe sayılarının etkilerinin ortaya konulması için bu test çalışmaları yürütülmüştür.

Yüksek tenörlü alunit cevher numunesinde sabit tutulan koşullar sunulmaktadır.

Çizelge 3.35. Yüksek tenörlü cevher numunesinde temizleme kademeli testlerde sabit tutulan koşullar

Test Koşulları	
pH	9.52
% katı w/w	15
Toplayıcı (g/t) (A726)	2667+333+333
Bastırıcı (g/t)	1000
Köpürtücü (g/t)	10

Yüksek tenörlü alunit cevher numunesinde temizleme kademe sayısı öncelikle 1 kademe olacak şekilde gerçekleştirilmiş ardında kademe sayıları 5 kademeye kadar çıkartılmış ve bu değişkene bağlı olarak elde edilen sonuçlar ortaya konulmak istenmiştir.

Çizelge 3.36 Yüksek tenörlü cevher numunesi için temizleme sayısı 5 kademeye kadar çıkarılmış test sonuçları

Ürünler	Ağırlık %	Alunit		SiO ₂	
		%	Verim %	%	Verim %
Kaba Flo. Atık	30.94	5.98	4.43	89.71	49.81
Temizleme 1 Atık	21.26	23.05	11.74	73.48	28.04
Temizleme 2 Atık	9.79	38.05	9.08	58.60	10.29
Temizleme 3 Atık	6.62	50.08	7.94	47.78	5.67
Temizleme 4 Atık	5.84	69.99	9.80	28.84	3.02
Temizleme 5 Atık	6.05	78.53	11.39	20.72	2.25
Nihai Kons.	19.50	97.59	45.61	2.60	0.91
Besleme	100.00	41.72	100.00	55.72	100.00

Yüksek tenörlü cevher numunesinde temizleme kademe sayısı birden beşe kadar artırıldığında nihai konsantreye alınan ürün ağırlıkça azalmış ancak tenör değeri 5. Temizleme konsantresine alınan üründe %97.59 'a ulaştığı görülmüştür. Alunit % 45.61 verimle nihai konsantreye alınmıştır. Nihai konsantrenin silikat tenörü 5 kademe temizleme ile 2.60 'a çekilmiştir.

Düşük tenörlü alunit cevher numunesinde sabit tutulan koşullar sunulmaktadır.

Çizelge 3.37. Düşük tenörlü cevher numunesinde temizleme kademeli testlerde sabit tutulan koşullar

Test Koşulları	
pH	9.64
% katı w/w	15
Toplayıcı (g/t) (A726)	2667+333+333
Bastırıcı (g/t)	1333
Köpürtücü (g/t)	10

Düşük tenörlü alunit cevher numunesinde temizleme kademe sayısı öncelikle 1 kademe olacak şekilde gerçekleştirilmiş ardında kademe sayıları 6 kademeye kadar çıkartılmış ve bu değişkene bağlı olarak elde edilen sonuçlar ortaya konulmak istenmiştir.

Çizelge 3.38 Düşük tenörlü cevher numunesi için temizleme sayısı 6 kademeye kadar çıkarılmış test sonuçları

Ürünler	Ağırlık %	Alunit		SiO ₂	
		%	Verim %	%	Verim %
Kaba Flo. Atık	26.69	4.10	3.68	92.23	45.20
Temizleme 1 Atık	26.65	11.59	10.38	61.96	30.32
Temizleme 2 Atık	12.67	13.32	5.67	60.51	14.08
Temizleme 3 Atık	5.85	21.99	4.32	53.30	5.73
Temizleme 4 Atık	3.84	69.99	9.03	31.55	2.22
Temizleme 5 Atık	3.08	79.54	8.23	5.39	0.30
Temizleme 6 Atık	2.84	87.95	8.40	5.39	0.28
Nihai Kons.	18.38	81.38	50.28	5.53	1.87
Besleme	100.00	29.75	100.00	54.46	100.00

Düşük tenörlü cevher numunesinde temizleme kademe sayısı birden altıya kadar arttırıldığında nihai konsantreye alınan ürün ağırlıkça azalmış olduğu belirlenmiştir. Nihai konsantrenin tenör değeri 4. Temizleme konsantresine kadar artış göstermiş ancak temizleme kademeleri eklendikçe azalma eğilimine geçmiştir. 4 temizlemeli gerçekleştirilen testte alınan üründe %85.36 'ya ulaştığı görülmüştür. Bu testte verim değeri % 69.73 olarak elde edilmiştir. Beslemenin % 50.28 alunit içeriği nihai konsantreye alınmıştır. Nihai konsantrenin silikat tenörü 4 kademe temizleme ile 5.50 'ye çekilmiştir.

3.3.4. Besleme Ağırlıkça Katı İçeriğinin Flotasyona Etkisi

Alunit zenginleştirme işlemlerinde genel olarak flotasyon devresinde beslemenin ağırlıkça katı içeriği %15 (w/w) düzeyinde not edilmektedir. Öğütülen malzemenin yumuşak yapısı gereği çok ince boylardaki malzeme miktarındaki artış yüksek katı içeriklerinde viskozite artışına neden olmakta, bu nedenle de düşük katı beslemelerinde flotasyon yapılmaktadır. Bu durum endüstriyel uygulamada kapasite sınırlayıcı bir durum olarak ortaya çıkmaktadır.

Artan katı içeriğinin oluşturabileceği olumsuz sonuçlar göz önüne alınarak, çalışmanın genelinde flotasyon beslemesinde ağırlıkça %15 katı içeriğinde testler yapılmıştır. Yüksek katı derişimlerinin flotasyon üzerindeki etkisini ortaya koyma amacıyla daha önce belirlenen test koşullarında besleme ağırlıkça % katı içeriği yüksek ve düşük tenörlü alunit cevherinde %15' den %30 değerine arttırılarak flotasyon testleri gerçekleştirilmiştir.

Yapılan kaba flotasyon ile bu cevher için verimin en üst noktaya çekilmesi amaçlanmaktadır. Yüksek tenörlü cevherde %15 katıda 2667 g/t toplayıcı / 1000 g/t bastırıcıyla yapılan kinetik test ile 2000 g/t toplayıcı / 1000 g/t bastırıcı miktarlarında yapılan kinetik test sonucunda konsantreye alınan verim yüksek toplayıcı miktarında % 4.5 daha fazladır (Çizelge 3.28). Bu fark düşük bir fark olması ve yapılacak olan temizleme kademeleriyle elde edilecek olan nihai konsantrenin tenör ve verim değerlerinin önem arz etmesi dolayısıyla her iki koşulda da temizleme kademeli testler yapılmasına karar verilmiştir. Bu testlerin sonuçları toplayıcı miktarının belirlenmesinde yol gösterici olmuştur.

Bu amaçla yüksek tenörlü cevherde hem 2667 g/t toplayıcı / 1000 g/t bastırıcı miktarlarında hem de 2000 g/t toplayıcı / 1000 g/t bastırıcı miktarlarında %30 katı içeren besleme numunesi ile flotasyon testleri yapılmıştır. Bu testlerde uygulanan koşullar ve elde edilen sonuçlar Çizelge 3.39, Çizelge 3.40 ve Çizelge 3.41'de sunulmaktadır.

Çizelge 3.39 Yüksek tenörlü cevher numunesinde ağırlıkça %30 katı içeren besleme ile yapılan flotasyon test koşulları

Test Koşulları	2000 g/t Toplayıcı	2667 g/t Toplayıcı
pH	9.44	9.59
% katı w/w	30	30
Toplayıcı (g/t) (Florrea 7014)	2000+333+333	2667+333+333
Bastırıcı (g/t)	1000	1000
Köpürtücü (g/t)	10	10

Çizelge 3.40 Yüksek tenörlü cevher numunesinde ağırlıkça %30 katı içeren beslemeyle 2000 g/t toplayıcı ve 1000 g/t bastırıcı ile yapılan flotasyon test sonucu

Ürünler	Ağırlık %	Alunit		SiO ₂		Kaolin (diğer) (%)
		%	Verim %	%	Verim %	
Kaba Flo. Atık	16.91	8.14	3.21	88.35	27.38	3.51
Temizleme 1 Atık	23.24	18.90	10.23	77.90	33.19	3.20
Temizleme 2 Atık	18.95	32.65	14.40	64.55	22.42	2.80
Temizleme 3 Atık	8.37	49.44	9.63	48.25	7.40	2.31
Temizleme 4 Atık	4.95	61.33	7.06	36.70	3.33	1.97
Temizleme 5 Atık	4.14	71.63	6.91	26.70	2.03	1.67
Nihai Kons.	23.45	88.93	48.56	9.90	4.26	1.17
Besleme	100.00	42.95	100.00	54.55	100.00	2.50

Çizelge 3.41 Yüksek tenörlü cevher numunesinde ağırlıkça %30 katı içeren beslemeyle 2667 g/t toplayıcı ve 1000 g/t bastırıcı ile yapılan flotasyon test sonucu

Ürünler	Ağırlık %	Alunit		SiO ₂		Kaolin (diğer) (%)
		%	Verim %	%	Verim %	
Kaba Flo. Atık	17.67	3.60	1.51	87.80	29.41	8.60
Temizleme 1 Atık	19.80	10.42	4.89	80.05	30.04	9.53
Temizleme 2 Atık	14.20	27.50	9.26	69.55	18.72	2.95
Temizleme 3 Atık	8.33	37.96	7.50	59.40	9.39	2.64
Temizleme 4 Atık	4.80	53.30	6.07	44.50	4.05	2.20
Temizleme 5 Atık	3.97	61.74	5.82	36.30	2.73	1.96
Nihai Kons.	31.23	87.69	64.94	9.55	5.65	2.76
Besleme	100.00	42.16	100.00	52.75	100.00	5.09

Düşük tenörlü cevher numunesinde de % katı içeriğinin etkilerinin gözlemlenmesi için yapılan testlerin koşulları ve sonuçları Çizelge 3.42 ve Çizelge 3.43' de verilmektedir.

Çizelge 3.42 Düşük tenörde ağırlıkça %30 katı içeren besleme ile yapılan flotasyon test koşulları

Test Koşulları	2667 g/t Toplayıcı
pH	9.50
% katı w/w	30
Toplayıcı (g/t) (Florrea 7014)	2667+333+333
Bastırıcı (g/t)	1000
Köpürtücü (g/t)	10

Çizelge 3.43 Düşük tenörde ağırlıkça %30 katı içeren besleme ile 2667 g/t toplayıcı ve 1000 g/t bastırıcı ile yapılan flotasyon test sonucu

Ürünler	Ağırlık %	Alunit		SiO ₂		Kaolin (diğer) (%)
		%	Verim %	%	Verim %	
Kaba Flo. Atık	17.97	3.13	2.02	77.50	26.73	19.37
Temizleme 1 Atık	32.27	12.44	14.45	66.20	41.02	21.36
Temizleme 2 Atık	14.22	16.01	8.20	58.85	16.07	25.14
Temizleme 3 Atık	9.14	23.93	7.87	49.05	8.61	27.02
Temizleme 4 Atık	4.90	28.45	5.01	41.30	3.88	30.25
Temizleme 5 Atık	2.52	32.33	2.94	31.60	1.53	36.07
Nihai Kons.	18.97	87.17	59.51	5.90	2.15	6.93
Besleme	100.00	27.79	100.00	52.09	26.73	20.13

Sonuçlar incelendiğinde her iki numunede yüksek katı içerikli flotasyon beslemesi kullanıldığında dahi nihai ürünün alunit içeriği düşük % katı besleme testlerindeki benzer olarak son derece yüksek olmaktadır. Bununla birlikte kaba flotasyon aşamasındaki alunit verimi ise yüksek tenörlü alunit cevherinde yüksek toplayıcı miktarında %98.50, düşük tenörlü alunit cevherinde ise %98 gibi oldukça yüksek seviyelerdedir.

Çizelge 3.44 Yüksek tenörlü cevherde yapılan katı yoğunluğu % 15 ve % 30 olan olan ve toplayıcı miktarları 2667 g/t olan testlerin karşılaştırmalı test sonuçları

Ürünler		Ağırlık %	Alunit		SiO ₂	
			%	Verim %	%	Verim %
% 15 Katı	Kaba Flo. Atık	30.94	5.98	4.43	89.71	49.81
	Nihai Kons.	19.50	97.59	45.61	2.60	0.91
% 30 Katı	Kaba Flo. Atık	17.67	3.60	1.51	87.80	29.41
	Nihai Kons.	31.23	87.69	64.94	9.55	5.65

Çizelge 3.45 Düşük tenörlü cevherde yapılan katı yoğunluğu % 15 ve % 30 olan ve toplayıcı miktarları 2667 g/t olan testlerin karşılaştırmalı test sonuçları

Ürünler		Ağırlık %	Alunit		SiO ₂	
			%	Verim %	%	Verim %
% 15 Katı	Kaba Flo. Atık	25.33	4.24	3.89	75.05	36.51
	Nihai Kons.	17.25	88.20	55.09	3.65	1.21
% 30 Katı	Kaba Flo. Atık	17.97	3.13	2.02	77.50	26.73
	Nihai Kons.	18.97	87.17	59.51	5.90	2.15

Bunlara ek olarak yukarıda sunulmuş olan çizelgelerde yüksek ve düşük tenörlü cevherde yapılan katı yoğunluğu fazla olan testlerde elde edilen sonuçlarda düşük % katı içeren testlere oranla alınan nihai konsantrelerin verim ve tenör değerlerinin birbirlerine yakın olduğu görülmüştür.

Endüstriyel uygulamalara yönelik olarak ekipman boyutlandırılması aşamasında önem taşıyacak olan besleme yüzde katı içeriğindeki artışın sistem üzerinde olumsuz bir etkisi olmadığı bu şekilde ortaya konulmuştur.

3.3.5. Düşük Tenörlü Cevherde Bastırıcı Miktarının Etkisi

Bu tez kapsamında alunit cevherinde çalışılan numunelerin yüksek ve düşük tenörlü olarak ayrılmakta olduğu belirtilmiştir. Yüksek tenörlü cevherde var olan silikat ve kaolin/diğer içeriklerin yüzdeleri sırasıyla %54.53 ve %2.5– 4.5, alunit içeriği ise %42.03 olarak saptanmıştır. Düşük tenörlü cevherde ise silikat ve kaolin/diğer içeriklerin yüzdeleri sırasıyla % 54.46 ve %14.5-16.5, alunit içeriği ise %29.75 olarak hesaplanmıştır (Çizelge 3.4). Bu hesapların dayandırıldığı kimyasal analiz sonuçları ve mantıksal ilişkileri Mineral Oranları Hesabında Kullanılan Yaklaşım alt başlığı altında anlatılmıştır.

Düşük tenörlü cevher numunesinde alunit tenörünün düşmesine karşılık kaolin ve diğer içerikleri barındıran mineral karışımının oranının artmış olduğu, kuvars bazlı içeriğinin ise sabit kalmış olduğu tespit edilmiştir. Bu durumun sonucu olarak düşük tenörlü cevherde gerçekleştirilen flotasyon testlerinde bastırıcı miktarının kademe kademe arttırılmasıyla nasıl sonuç alınacağı görülmek istenmiştir. Bu testlerde de bastırıcı ve dağıtıcı olarak yine % 5 derişiklikteki sodyum silikat (Na₂SiO₃)

kullanılmıştır. Her bir test öncesi numuneler 20 dakika öğütmeye maruz bırakılmış ve flotasyon testleri öncesi koşullandırma sırasında gerçekleştirilen koşullanma rutinlerinin hepsi sırasıyla gerçekleştirilmiştir. Her test 4 temizleme kademesiyle devam etmiştir. Yapılan testlerin koşul değişiklikleri karşılaştırmalı olarak Çizelge 3.46 'da verilmektedir.

Çizelge 3.46 Düşük tenörlü cevherde yapılan flotasyon testlerinde bastırıcı miktarlarının artırıldığı test koşulları

Test Koşulları	1000 g/t Bastırıcı	1333 g/t Bastırıcı	1666 g/t Bastırıcı
pH	9.61	9.64	9.61
% katı w/w	15	15	15
Toplayıcı (g/t) (Florrea 7014)	2667+333+333	2667+333+333	2667+333+333
Bastırıcı (g/t) (Na_2SiO_3)	1000	1333	1666
Köpürtücü (g/t)	10	10	10

Gerçekleştirilen ilk test yüksek tenörlü cevherde çalışılması uygun olarak değerlendirilen koşullarda yapılan testtir. Testin sonucu Çizelge 3.47' de sunulmuştur. Düşük tenörlü cevherde numunenin bu koşullara nasıl sonuç vereceği anlaşılmak istenmiştir.

Çizelge 3.47 Düşük tenörlü cevher numunesinde 1000 g/t bastırıcı ile yapılan flotasyon test sonucu

Ürünler	Ağırlık %	Alunit		SiO ₂	
		%	Verim %	%	Verim %
Kaba Flo. Atık	31.22	4.24	4.80	75.05	45.00
Tem. 1 Atık	27.91	19.46	34.20	56.85	53.00
Tem. 2 Atık	11.41				
Tem. 3 Atık	5.87				
Tem. 4 Atık	3.34	83.18	61.00	5.13	1.99
Nihai Kons.	20.25				
Besleme Hesaplanan	100.00	27.61	100.00	52.06	100.00

Gerçekleştirilen ikinci testte bastırıcı miktarı 333 g/t artırılmıştır. Testin sonucu Çizelge 3.48' de sunulmuştur.

Çizelge 3.48 Düşük tenörlü cevher numunesinde 1333 g/t bastırıcı ile yapılan flotasyon test sonucu

Ürünler	Ağırlık %	Alunit		SiO ₂	
		%	Verim %	%	Verim %
Kaba Flo. Atık	26.69	4.10	3.68	92.23	45.20
Tem. 1 Atık	26.65	16.14	26.59	58.17	52.35
Tem. 2 Atık	12.67				
Tem. 3 Atık	5.85				
Tem. 4 Atık	3.84				
Nihai Kons.	24.30	85.36	69.73	5.50	2.45
Besleme	100.00	29.75	100.00	54.46	100.00

Gerçekleştirilen üçüncü testte bastırıcı miktarı 666 g/t arttırılmıştır. Testin sonucu Çizelge 3.49' da sunulmuştur.

Çizelge 3.49 Düşük tenörlü cevher numunesinde 1666 g/t bastırıcı ile yapılan flotasyon test sonucu

Ürünler	Ağırlık %	Alunit		SiO ₂	
		%	Verim %	%	Verim %
Kaba Flo. Atık	30.05	3.16	3.19	68.98	38.07
Tem. 1 Atık	25.97	20.11	31.65	71.01	61.07
Tem. 2 Atık	11.96				
Tem. 3 Atık	5.63				
Tem. 4 Atık	3.28				
Nihai Kons.	23.11	83.86	65.15	2.04	0.87
Besleme	100.00	29.75	100.00	54.46	100.00

Testlerin karşılaştırmalı sonuçları Çizelge 3.50' de verilmiştir.

Çizelge 3.50 Düşük tenörlü cevher numunesinde farklı bastırıcı miktarları ile yapılan karşılaştırmalı flotasyon test sonuçları

Ürünler		Ağırlık %	Alunit		SiO ₂	
			%	Verim %	%	Verim %
1000 g/t Bastırıcı	Kaba Flo. Atık	31.22	4.24	4.80	75.05	45.00
	Nihai Kons.	20.25	83.18	61.00	5.13	1.99
1333 g/t Bastırıcı	Kaba Flo. Atık	26.69	4.10	3.68	92.23	45.20
	Nihai Kons.	24.30	85.36	69.73	5.50	2.45
1666 g/t Bastırıcı	Kaba Flo. Atık	30.05	3.16	3.19	68.98	38.07
	Nihai Kons.	23.11	83.86	65.15	2.04	0.87

Çizelge 3.50 'de bastırıcı miktarı bir kademe arttırıldığında kaba flotasyon devresi atığına alınan ürün kütlege azalmış, atığın tenör ve verim miktarının da düştüğü gözlenmiştir. Bununla birlikte nihai konsantreye alınan ürün ağırlıkça artmış, alunitin tenör ve verim değerlerinde de yine artış gözlemlenmiştir. Bastırıcı miktarının bir kademe daha arttırılması durumunda ise kaba flotasyon atığına alınan ürün kütlege bir önceki kademeye göre artmış yani 1000 g/t bastırıcı kimyasalıyla alınan atık miktarıyla aynı orana gelmiştir. Nihai konsantre olarak alınan ürün de ise tenör ve verimin sırasıyla %2 ve %4 miktarlarında düştüğü görülmüştür. 1000 g/t bastırıcı miktarı ile yapılan test ile karşılaştırıldığında ise kaba flotasyon devresinin atığına alınan ürünün ağırlıkça hemen hemen aynı olduğu ancak tenör ve verim değerlerinin düştüğü gözlenmiştir. Nihai konsantreler de ise ağırlıkça yüksek bastırıcı miktarında yaklaşık %3 daha fazla ürün alındığı, tenör değerlerinin hemen hemen aynı kaldığı ancak verim değerinin yüksek bastırıcıda yaklaşık %4 oranında artış gösterdiği görülmektedir. 1333 g/t bastırıcı ile yapılan test sonucunda 1000 g/t bastırıcı ile yapılan test ile kıyaslandığında daha seçimli bir yüzdürmenin yapıldığı görülmüştür. 1666 g/t bastırıcı ile yapılan test sonucunda verim ve tenör değerleri incelendiğinde alunit cevherinin de bastırıldığı görülmüştür.

3.3.6. Farklı Toplayıcıların Flotasyona Etkisi

Genel anlamda bu tez kapsamında seçilmiş olan toplayıcı, Florrea 7000 (yağ asidi) oldukça başarılı sonuçlar elde edilmesini sağlamıştır. Literatürde mevcut olan çalışmalarda alunit flotasyonunda anyonik karboksilik grup altında olan yağ asitleri

kullanılmıştır. Bu durumun nedeni alunit mineralinin flotasyonunun gerçekleştirildiği pH aralığında yüzey yükünün pozitif, toplayıcı kimyasalların ise negatif olmasıdır.

Çizelge 3.51 Çizelgede belirtilen minerallerin sıfır yük noktası (pzc) değerleri [12]

Mineral	Sıfır Yük Noktası	Referans
Kuvars	1.8	Parks. 1965
Feldispar	1.5 - 2.0	Bollin, 1983
Kaolinit	0.5	Poirier, 1984
Alunit	10.5	Ney, 1973

Bu nedenle bu toplayıcıya benzer yapılarda olan toplayıcılar denenmesi ve sonuçların karşılaştırılması hedeflenmiştir. Bu nedenle, A726 (Cytec) isimli yine yağ asidi bazlı bir toplayıcı kullanılmıştır. Bununla birlikte doğal ürünlerden deney yapımı için hazırlanan oleik asidin sodyum tuzu olan Sodyum Oleat (Na-oleat) tipi toplayıcı hazırlanmıştır. Yüksek ve düşük tenörlü cevher numunelerinde daha önce elde edilen en iyi test koşullarında bu toplayıcılar denenmiş ve sonuçlar değerlendirilmiştir.

Yüksek tenörlü cevher numunesinde A726 ve Na - Oleat toplayıcılar ile gerçekleştirilmiş olan testlerin koşulları sırasıyla Çizelge 3.52 'de ve Çizelge 3.54' de sonuçları sırasıyla Çizelge 3.53 'de ve Çizelge 3.55' de sunulmuştur.

Çizelge 3.52 Yüksek tenörlü cevher numunesinde toplayıcı kimyasal A726 (yağ asidi) ile yapılan flotasyon test koşulları

Test Koşulları	
pH	9.54
% katı w/w	15
Toplayıcı (g/t) (A726)	2667+333+333
Bastırıcı (g/t)	1000
Köpürtücü (g/t)	10

Çizelge 3.53 Yüksek tenörlü cevher numunesinde toplayıcı kimyasal A726 (yağ asidi) ile yapılan flotasyon test sonucu

Ürünler	Ağırlık %	Alunit		SiO ₂	
		%	Verim %	%	Verim %
Kaba Flo. Atık	13.72	14.01	4.57	82.65	20.79
Tem. 1 Atık	37.36	33.44	53.19	62.41	76.51
Tem. 2 Atık	13.68				
Tem. 3 Atık	7.43				
Tem. 4 Atık	4.40				
Tem. 5 Atık	3.97	91.33	42.24	7.57	2.70
Nihai Kons.	19.44				
Besleme	100.00	42.03	100.00	54.53	100.00

Çizelge 3.54 Yüksek tenörlü cevher numunesinde toplayıcı kimyasal Na - Oleat (yağ asidi) ile yapılan flotasyon test koşulları

Test Koşulları	
pH	9.52
% katı w/w	15
Toplayıcı (g/t) (A726)	2667+333+333
Bastırıcı (g/t)	1000
Köpürtücü (g/t)	10

Çizelge 3.55 Yüksek tenörlü cevher numunesinde toplayıcı kimyasal Na - Oleat (yağ asidi) ile yapılan flotasyon test sonucu

Ürünler	Ağırlık %	Alunit		SiO ₂	
		%	Verim %	%	Verim %
Kaba Flo. Atık	16.59	11.49	4.54	85.10	25.90
Tem. 1 Atık	17.38	23.06	24.22	71.79	58.12
Tem. 2 Atık	11.17				
Tem. 3 Atık	5.50				
Tem. 4 Atık	5.22				
Tem. 5 Atık	4.88	76.26	71.24	22.20	15.98
Nihai Kons.	39.26				
Besleme	100.00	42.03	100.00	54.53	100.00

Çizelge 3.56 Yüksek tenörlü cevherde farklı toplayıcı kimyasallı karşılaştırmalı flotasyon test sonuçları

Ürünler		Ağırlık %	Alunit		SiO ₂	
			%	Verim %	%	Verim %
A726	Kaba Flo. Atık	13.72	14.01	4.57	82.65	20.79
	Nihai Kons.	19.44	91.33	42.24	7.57	2.70
Na - Oleate	Kaba Flo. Atık	16.59	11.49	4.54	85.10	25.90
	Nihai Kons.	39.26	76.26	71.24	22.20	15.98
Florea 7014	Kaba Flo. Atık	30.94	5.98	4.43	89.71	49.81
	Nihai Kons.	19.50	97.59	45.61	2.60	0.91

Çizelge 3.56 ‘da da görüldüğü gibi yüksek tenörlü cevherde kullanılan Na – oleat toplayıcı kimyasalı ile kaba konsantrede daha fazla katı kazanımı söz konusudur. Buna bağlı olarak nihai üründe alunit tenörü 5 kademe temizlemede toplayıcı kimyasal A726 ile % 91.33 değerlerinde %42.24 verimle, diğer toplayıcı kimyasal olan Na – Oleat ile % 76.26 tenör değerlerinde %71.24 verimle alunit alındığı gözlemlenmiştir.

Düşük tenörlü cevher numunesinde A726 ve Na - Oleat ile elde edilmiş olan test koşulları sırasıyla Çizelge 3.57 ve Çizelge 3.59’ da ve sonuçları sırasıyla Çizelge 3.58 ve Çizelge 3.60 ‘da sunulmuştur.

Çizelge 3.57 Düşük tenörlü cevher numunesinde toplayıcı kimyasal A726 (yağ asidi) ile yapılan flotasyon test koşulları

Test Koşulları	
pH	9.57
% katı w/w	15
Toplayıcı (g/t) (A726)	2667+333+333
Bastırıcı (g/t)	1000
Köpürtücü (g/t)	10

Çizelge 3.58 Düşük tenörlü cevher numunesinde toplayıcı kimyasal A726 (yağ asidi) ile yapılan flotasyon test sonucu

Ürünler	Ağırlık %	Alunit		SiO ₂	
		%	Verim %	%	Verim %
Kaba Flo. Atık	15.61	1.29	0.73	77.90	23.50
Tem. 1 Atık	18.85	3.78	6.92	70.71	69.65
Tem. 2 Atık	14.84				
Tem. 3 Atık	9.34				
Tem. 4 Atık	4.80				
Tem. 5 Atık	3.11				
Nihai Kons.	33.43	76.82	92.35	10.60	6.85
Besleme	100.00	29.75	100.00	54.46	100.00

Çizelge 3.59 Düşük tenörlü cevher numunesinde toplayıcı kimyasal Na - Oleat (yağ asidi) ile yapılan flotasyon test koşulları

Test Koşulları	
pH	9.55
% katı w/w	15
Toplayıcı (g/t) (Na - Oleat)	2667+333+333
Bastırıcı (g/t)	1000
Köpürtücü (g/t)	10

Çizelge 3.60 Düşük tenörlü cevher numunesinde toplayıcı kimyasal Na - Oleat (yağ asidi) ile yapılan flotasyon test sonucu

Ürünler	Ağırlık %	Alunit		SiO ₂	
		%	Verim %	%	Verim %
Kaba Flo. Atık	26.79	4.06	3.99	68.20	36.56
Tem. 1 Atık	23.19	12.55	23.27	60.18	60.90
Tem. 2 Atık	14.61				
Tem. 3 Atık	6.65				
Tem. 4 Atık	3.34				
Tem. 5 Atık	2.78				
Nihai Kons.	22.63	87.69	72.74	5.60	2.54
Besleme	100.00	29.75	100.00	54.46	100.00

Çizelge 3.61 Düşük tenörlü cevherde farklı toplayıcı kimyasallı karşılaştırmalı flotasyon test sonuçları

Ürünler		Ağırlık %	Alunit		SiO ₂	
			%	Verim %	%	Verim %
A726	Kaba Flo. Atık	15.61	1.29	0.73	77.90	23.50
	Nihai Kons.	33.43	76.82	92.35	10.60	6.85
Na - Oleate	Kaba Flo. Atık	26.79	4.06	3.99	68.20	36.56
	Nihai Kons.	22.63	87.69	72.74	5.60	2.54
Florea 7014	Kaba Flo. Atık	25.33	4.24	3.89	75.05	36.51
	Nihai Kons.	17.25	88.20	55.09	3.65	1.21

Çizelge 3.61’de de görüldüğü gibi düşük tenörlü cevherde kullanılan Na – oleat toplayıcı kimyasalı ile kaba konsantrede daha fazla katı kazanımı söz konusudur. Buna bağlı olarak nihai üründe alunit tenörü 5 kademe temizlemede toplayıcı kimyasal A726 ile % 77 değerlerinde, diğer toplayıcı kimyasal olan Na – Oleat ile % 88 değerlerinde olduğu gözlemlenmiştir.

Bu toplayıcılar ile alternatif çalışmalar yapılarak sonuçların iyileştirilebileceği düşünülmektedir. Ancak çalışmanın genelinde kullanılan toplayıcı ile hedeflenen değerlerde ürün alınabildiğinden, kullanılan toplayıcıya benzer olan bu alternatif toplayıcılar ile test çalışmalarının detaylandırılmasına ihtiyaç duyulmamıştır.

3.3.7. Devre Tasarımı için Yapılan Test Çalışmaları

Çalışmanın bu bölümünde en iyi sonuçların elde edildiği flotasyon koşullarında kademeli temizleme içeren flotasyon testleri yapılarak her bir aşamadaki kazanım değerleri ve nihai ürün özellikleri belirlenmiştir. Bu aşamada elde edilen en iyi ürün özellikleri ve kazanılan ürün miktarları ile her bir aşamadaki verimler belirlenmiş ve kurulabilecek bir endüstriyel devrede temizleme akışlarının sistemde geri döndürülmesinin verim artışına olanak sağlayacağı düşünülmektedir.

Bu amaca yönelik simülasyon yapılabilmesi için yüksek tenörlü cevherde 5 kademeli temizleme içeren flotasyon testleri denenmiştir.

Yüksek tenörlü cevherde bu çalışmaya ait 2667 g/t toplayıcı / 1000 g/t bastırıcı miktarlarında yapılan ve 5 kademeli temizleme içeren flotasyon test koşulları Çizelge 3.62’ de verilmiştir.

Çizelge 3.62 Yüksek tenörlü cevhere ait 2667 g/t toplayıcı / 1000 g/t bastırıcı miktarlarında yapılan ve 5 kademeli temizleme içeren flotasyon test koşulları

Test Koşulları	
pH	9.52
% katı w/w	15
Toplayıcı (g/t) (A726)	2667+333+333
Bastırıcı (g/t)	1000
Köpürtücü (g/t)	10

Gerçekleştirilmiş olan testin sonuçları Çizelge 3.63’de sunulmaktadır.

Çizelge 3.63 Yüksek tenörlü cevhere ait 2667 g/t toplayıcı / 1000 g/t bastırıcı miktarlarında yapılan ve 5 kademeli temizleme içeren flotasyon test sonucu

Ürünler	Ağırlık %	Alunit		SiO ₂	
		%	Verim %	%	Verim %
Kaba Flo. Atık	30.94	5.98	4.43	89.71	49.81
Temizleme 1 Atık	21.26	23.05	11.74	73.48	28.04
Temizleme 2 Atık	9.79	38.05	9.08	58.60	10.29
Temizleme 3 Atık	6.62	50.08	7.94	47.78	5.67
Temizleme 4 Atık	5.84	69.99	9.80	28.84	3.02
Temizleme 5 Atık	6.05	78.53	11.39	20.72	2.25
Nihai Kons.	19.50	97.59	45.61	2.60	0.91
Besleme	100.00	41.72	100.00	55.72	100.00

Yüksek tenörlü cevherde Çizelge 3.63 ‘den de görülebileceği üzere nihai ürün %97.59 gibi oldukça yüksek saflıkta alunit içermekte ve ürünün silis içeriği % 3 ‘ün altında kalmaktadır. Bu durumda elde edilen nihai ürüne göre alunit verimi %45.61 seviyesindedir. Alunitin % 95.7 ‘si kaba flotasyon aşamısında kazanılmakta ancak, temizleme atıkları sisteme geri devrettirilmediğinden, kaba flotasyon aşamasında kazanılan alunitin bir kısmı bu aşamalarda temizleme atıklarına gitmektedir. Test akım şeması Şekil 3.15 ‘de verilmektedir. Burada açık devre olarak yapılan test sonucunda her bir akış için ürün özellikleri ve kütle denkliği sunulmuştur. Endüstriyel devrede bu akışlar kendi içinde devrettirilecektir. Bu durumda nihai ürün veriminin artması mümkün olacaktır.

Düşük tenörlü cevherde bu çalışmaya ait toplayıcı miktarı için sadece tek koşul belirlenmiştir. Bu koşulda 2667 g/t toplayıcı / 1333 g/t bastıcı miktarlarında yapılan ve 4 kademeli temizleme içeren flotasyon test koşullarıdır. Bu değerler Çizelge 3.64' de verilmiştir.

Çizelge 3.64 Düşük tenörlü cevherde baz koşulların belirlenmesi

Test Koşulları	
pH	9.64
% katı w/w	15
Toplayıcı (g/t) (A726)	2667+333+333
Bastırıcı (g/t)	1333
Köpürtücü (g/t)	10

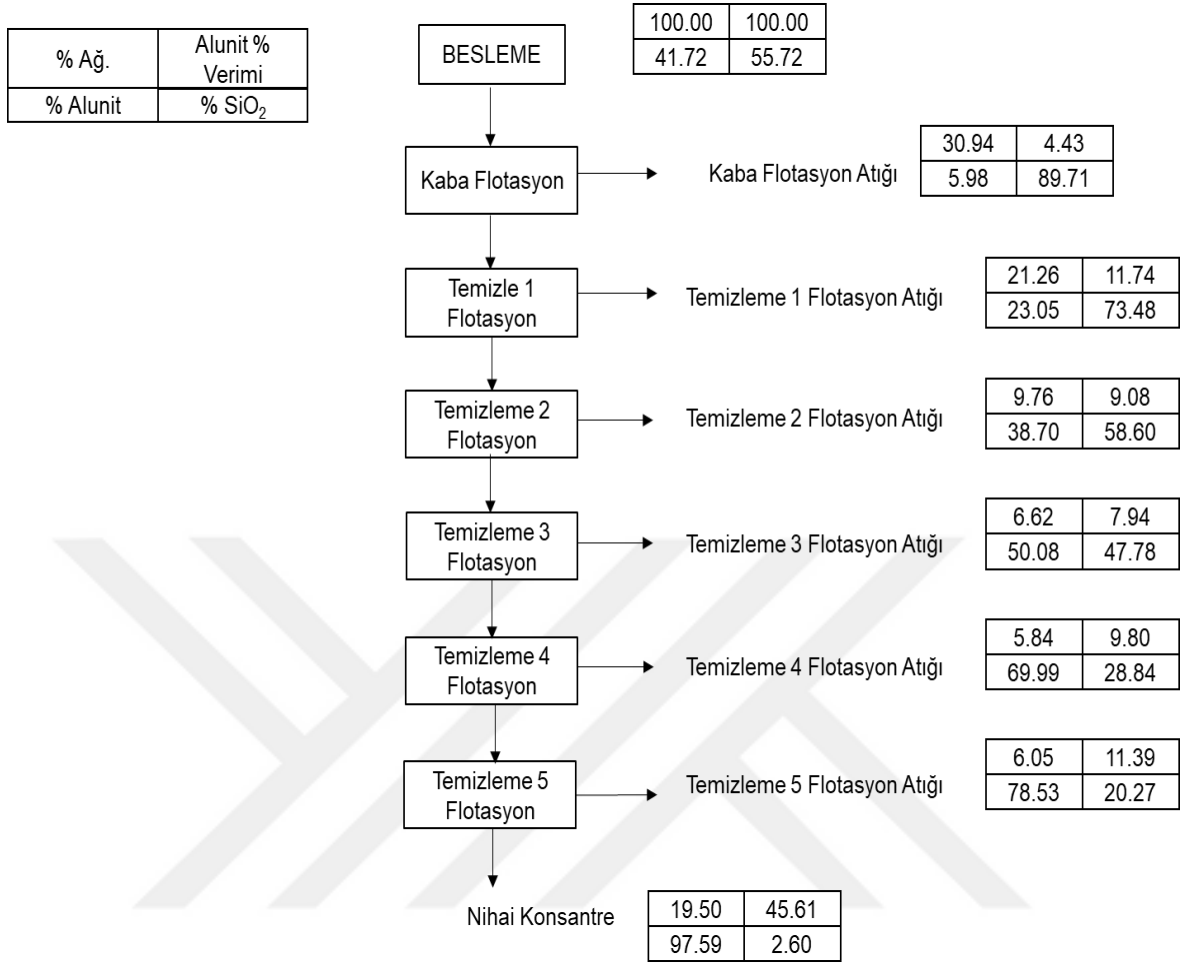
Gerçekleştirilmiş olan testin sonuçları Çizelge 3.65' de sunulmaktadır.

Çizelge 3.65 Düşük tenörlü cevhere ait 2667 g/t toplayıcı / 1333 g/t bastırıcı miktarlarında yapılan ve 4 kademeli temizleme içeren flotasyon test sonucu

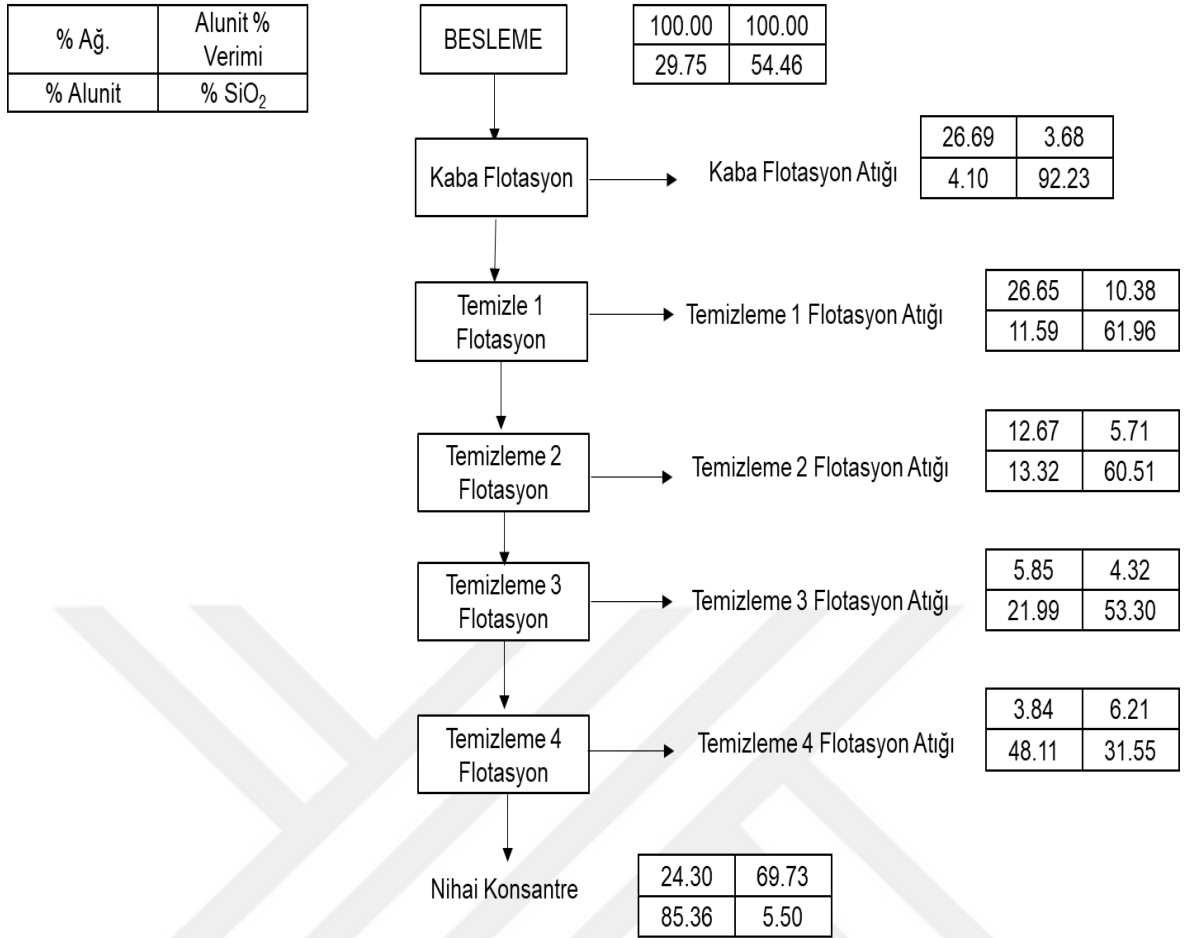
Ürünler	Ağırlık %	Alunit		SiO ₂	
		%	Verim %	%	Verim %
Kaba Flo. Atık	26.69	4.10	3.68	92.23	45.20
Temizleme 1 Atık	26.65	11.59	10.38	61.96	30.32
Temizleme 2 Atık	12.67	13.32	5.67	60.51	14.08
Temizleme 3 Atık	5.85	21.99	4.32	53.30	5.73
Temizleme 4 Atık	3.84	48.11	6.21	31.55	2.23
Nihai Kons.	24.30	85.36	69.73	5.50	2.45
Besleme	100.00	29.75	100.00	54.46	100.00

Düşük tenörlü cevherde Çizelge 3.65' den de görüleceği üzere nihai ürün %85.36 gibi oldukça yüksek saflıkta alunit içermekte ve ürünün silis içeriği %1 'in altında kalmaktadır. Bu durumda elde edilen nihai ürüne göre alunit verimi %69.73 seviyesindedir. Beslemenin ağırlıkça %73.31' i kaba flotasyon aşamasında kazanılmaktadır. Alunitin % 96.32 'si kaba flotasyon aşamsında kazanılmaktadır.

Yüksek ve düşük tenörlü cevherler için test akım şemaları sırasıyla Şekil 3.15 ve Şekil 3.16' de verilmektedir. Burada açık devre olarak yapılan testler sonucunda her bir akış için ürün özellikleri ve kütle denkliği sunulmuştur. Yüksek tenörlü cevherde simülasyon çalışmasında bu akışlar kendi içinde devrettirilecektir. Bu durumda nihai ürün veriminin artması mümkün olacaktır.



Şekil 3.15 Yüksek tenörlü cevherde flotasyon akım şeması



Şekil 3.16 Düşük tenörlü cevherde flotasyon akım şeması

Alunit değeri kimyasal analiz ile elde edilen kükürt trioksit (SO₃) değerinden hesaplama yolu ile bulunduğu için elde edilen nihai ürünlerin genel analizlerinde bir miktar sapma gözlemlenmektedir. Bu nedenle yüksek ve düşük tenörlü cevherde laboratuvar da elde edilmiş olan farklı kalitelerdeki nihai ürünlerin tüm analizleri göz önüne alınarak elde edilecek nihai ürünlerin genel bileşimler Çizelge 3.66' da sunulmuştur.

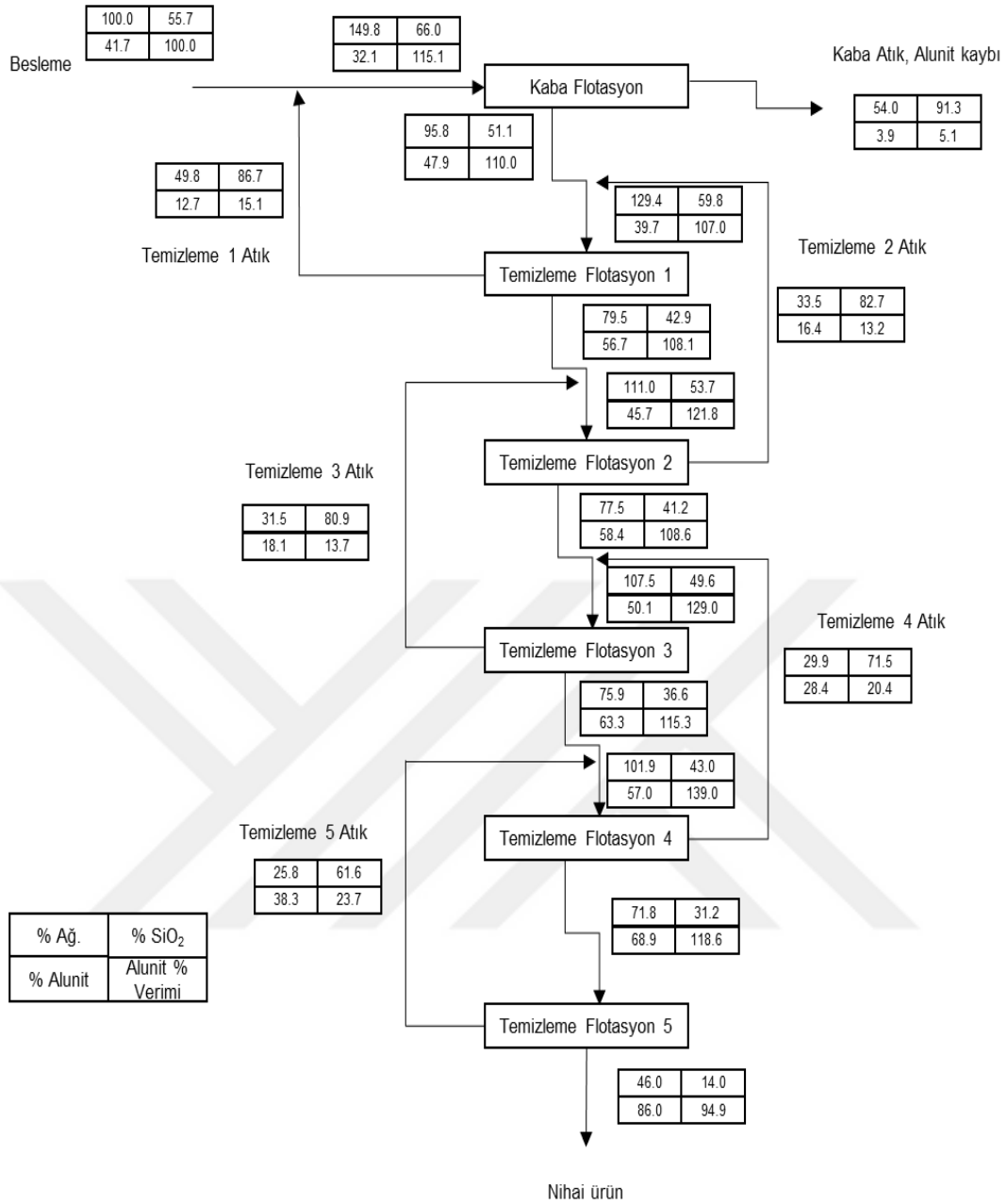
Çizelge 3.66 Laboratuvarda elde edilen nihai ürünlerin genel bileşimleri

İçerik	Yüksek Tenörlü Cevher	Düşük Tenörlü Cevher
	%	
Al ₂ O ₃	30.00-33.4	32.00-35.43
SiO ₂	4.80-7.60	3.65-6.75
SO ₃	>34	>34
Fe ₂ O ₃	0.10-0.20	0.20-0.32
CaO	0.14-0.32	0.14-0.32
Cr ₂ O ₃	<0.01	<0.01
MgO	0.02-0.06	0.06-0.12
K ₂ O	9.33-9.97	9.99-10.91
BaO	0.20-0.85	0.20-0.85
Na ₂ O	0.16-0.20	0.16-0.20
SrO	0.05	0.05
TiO ₂	0.07-0.14	0.09-0.16
MnO	<0.01	<0.01
P ₂ O ₅	0.05-0.12	0.05-0.12
A.Z.	35.50-38.44	39.22-41.83

3.3.8. Simülasyon ile Devre Tasarımı

Bu aşamada alunit, SiO₂ (kuvars) ve cevherin içerdiği diğer bileşen (çoğunlukla kaolin) için her bir aşamadaki verim değerleri kullanılmış ve yüksek tenörlü cevher numunesinde temizleme atıklarının sistem içinde geri döndürülmesi ile elde edilebilecek ürün özellikleri hesaplanmıştır.

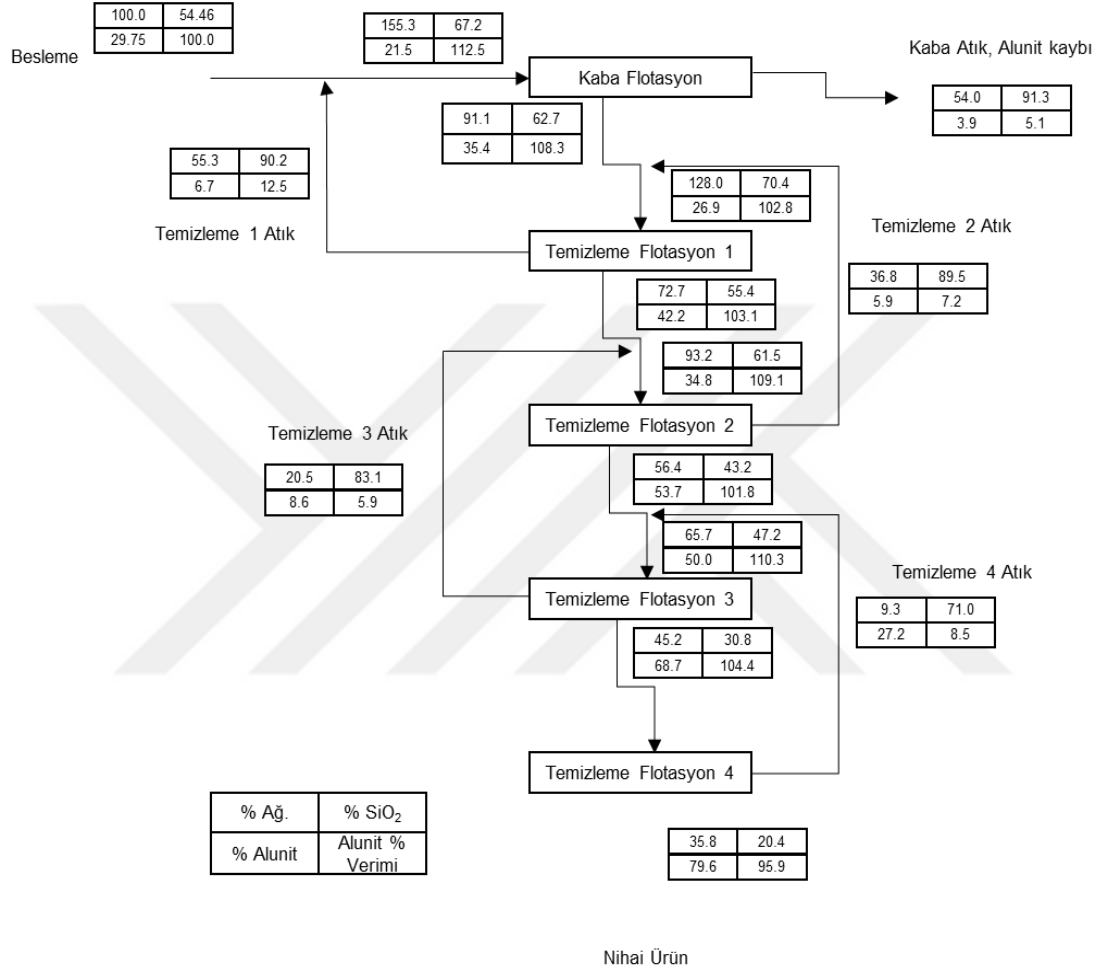
Laboratuvarda yüksek tenörlü cevher numunesi için açık devre olarak yapılan 5 kademe temizleme işleminden elde edilen kazanım değerleri kullanılarak temizleme atıklarının sistem içinde devrettirilmesi ile oluşacak kütle dengeliği ve ürün özellikleri hesaplanmış ve herbir koldaki akış özellikleri Şekil 3.17 'de verilmiştir.



Şekil 3.17 Yüksek tenörlü alunit cevher numunesinde simülasyon ile oluşturulmuş olan flotasyon devresi

Bu akım şemasında görüldüğü üzere, özellikle devreden yüklerdeki silis içeriği denge durumuna gelene kadar oldukça önemli ölçüde yükselmekte ve bu da bu geri dönen yüklerin bağlandığı kollardaki alunit içeriğini olumsuz etkilemektedir. Sonuçta devreden yüklerin içindeki kuvarsın bir kısmı nihai ürüne giderek nihai ürün alunit tenörünü %86 değerine kadar düşürmektedir. Ancak, bu şekilde beslemedeki alunitin %94,9'u kazanılmaktadır. Burada beslemenin ağırlıkça %46'sı ürün olarak alınmakta, %54'ü atılmaktadır.

Laboratuvarlarda yüksek tenörlü cevher numunesi için açık devre olarak yapılan 5 kademe temizleme işleminden elde edilen kazanım değerleri kullanılarak temizleme atıklarının sistem içinde devrettirilmesi ile oluşacak kütle denklığı ve ürün özellikleri hesaplanmış ve herbir koldaki akış özellikleri Şekil 3.18’de verilmiştir.



Şekil 3.18 Düşük tenörlü alunit cevher numunesinde simülasyon ile oluşturulmuş olan flotasyon devresi

Düşük tenörlü alunit cevher numunesinde ise devreden yüklerin içindeki kuvarsın bir kısmı nihai ürüne giderek nihai ürün alunit tenörünü %79.6 değerine kadar düşürmektedir. Ancak, bu şekilde beslemedeki alunitin %95.9'u kazanılmaktadır. Burada beslemenin ağırlıkça %35.8'i ürün olarak alınmakta, %64.2'si atılmaktadır.

3.4. Liç Test Çalışmaları

Yüksek ve düşük tenörlü cevher numunesine uygulanan flotasyon işlemi sonrasında elde edilen nihai konsantrelere bu tez kapsamında liç test çalışmaları yapılmıştır.

Nihai flotasyon konsantrelerine ilk olarak potasyum sülfat (K_2SO_4) eldesi için su liçi uygulanmıştır. Ardından su liçinde çözünmeyen kısım alüminyum sülfat ($Al_2(SO_4)_3$) ve alüminyum hidroksit ($Al(OH)_3$) edinimi amacıyla kostik liçine ($NaOH$) tabi tutulmuştur. Kostik liçi sırasında çözeltiliye geçen kısım karbondioksit gazı (CO_2) ile çöktürmeye çalışılmış, bu aşama sonrasında alınan ürüne, içerisinde var olan kükürt ve hidroksit bileşenlerinin uzaklaştırılmasını sağlamak amacıyla kavurma işlemi uygulanmıştır. Bu işlem sonrasında son olarak alümina (Al_2O_3) alındığı sonucuna varılmak istenmiştir. Bu uygulamayla boksit mineralleri (Gibbsitte ($Al(OH)_3$), Boehmite ($\gamma - AlO(OH)$), Diaspore ($\alpha - AlO(OH)$) üzerinde gerçekleştirilen Bayer prosesi sonrasında elde edilen ve saf alüminyum kazanımı için elektroliz işlemi sonrasında alınan ürün olan saf alumina elde edilmesi amaçlanmıştır.

Yüksek ve düşük tenörlü alunit flotasyon nihai konsantrelerinin nemini uzaklaştırmak amacıyla, her iki numune de 2 saat süreyle $75\text{ }^{\circ}C$ 'de fırında tutulmuştur. Bu aşamada yüksek tenörlü numunede %0.12, düşük tenörlü numunede ise %0.15 kütlece azalma gözlenmiştir.

Sonrasında numunelerin içerisindeki kükürt trioksiti (SO_3) ve bağıl nemi uçurmak amacıyla $850\text{ }^{\circ}C$ ' de 1 saat süreyle kavurma işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu aşamada yüksek tenörlü numunede kütlece yaklaşık %34'ünün, düşük tenörlü numunede ise kütlece yaklaşık %36 'sının uçtuğu gözlemlenmiştir.

Ardından her iki numuneye de $90\text{ }^{\circ}C$ ' de 1 saat süreyle su liçi uygulanmış, çözünen kısmın ısıtılarak kristalize olması sağlanmıştır. Yüksek ve düşük tenörlü alunit cevher numunesi flotasyon konsantresinden elde edilen bu ürün potasyum sülfattır (K_2SO_4).

Su liçi sonrasında çözeltiliye geçmeyen ürün, içeriğindeki alüminyum sülfat ($Al_2(SO_4)_3$) ve alüminyum hidroksit ($Al(OH)_3$) edinimi için $95\text{ }^{\circ}C$ ' de 5 saat süreyle kostik liçine ($NaOH$) tabi tutulmuştur. Kostik liçi sırasında çözeltiliye geçen kısım kostik liçi sonrasında karbondioksit gazı (CO_2) ile çökmesi sağlanmıştır. Bu aşama sonrasında alınan ürüne, içerisinde var olan kükürt ve hidroksit bileşenlerinin uzaklaştırılmasını sağlamak amacıyla $800\text{ }^{\circ}C$ ' de 1 saat süreyle kavurma işlemi

uygulanmıştır. Son olarak alümina (Al_2O_3) eldesi amaçlanmıştır. Liç işlemlerinde optimizasyona gidilmemiş sadece son ürünlere erişilebilirlik araştırılmıştır.

Bu işlemler sonucunda elde edilen ürünlere XRD (X-Işını Kırınımı) analizi yapılmış ardından elde edilen görüntüler MDI Jade 7 programına tanımlanmış ve hangi mineral ya da bileşiklerin tanımlı pikleriyle eşleştiği anlaşılmak istenmiştir. Elde edilen sonuçlar aşağıda sunulmuştur.

3.4.1 Su Liçi Test Çalışmaları

Kavurma işlemi sonrası kalan numunenin içeriğindeki potasyum sülfatı (K_2SO_4) son ürün olarak kazanımı amacıyla su liçi yüksek ve düşük tenörlü alunit cevher numunelerinin ikisine de uygulanmıştır.

Su liçi testi sırasında uygulanan koşullar Çizelge 3.67' de sunulmuştur. Saf suda gerçekleştirilen liç çözeltisinin sıcaklık ve pH ölçümleri test boyunca her 10 dakikada bir tekrarlanmış ve sabit tutulmaya çalışılmıştır.

Yüksek ve düşük tenörlü numunede su liçi sırasında çözeltiye geçen ürünlere gerçekleştirilmiş olan XRD (X-Işını Kırınımı Analizi) görüntüleri (EK-4 ve EK-5) sunulmuştur.

Çizelge 3.67 Su liçi sırasında yüksek ve düşük tenörlü cevhere uygulanan test koşulları

Test Koşulları	
pH	2.30
% katı w/w	50
Sıcaklık °C	95
Süre (dk.)	60

Çizelge 3.68 Yüksek tenörlü cevher numunesinde su liçi test sonucunda elde edilen ürünün kimyasal analiz sonucu

Ürünler	Ağırlık %	$K_2(SO_4)$ %	$K_2(SO_4)$ % Verim
Çözünmeyen	81.77	0,01	0,04
Çözünen	18,23	99,55	99,96
Besleme	100.00	18.16	100.00

Çizelge 3.69 Düşük tenörlü cevher numunesinde su liçi test sonucunda elde edilen ürünün kimyasal analiz sonucu

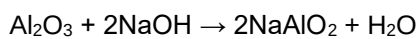
Ürünler	Ağırlık %	K ₂ (SO ₄) %	K ₂ (SO ₄) % Verim
Çözünmeyen	81,05	0,01	0,03
Çözünen	18,95	96,30	99,97
Besleme	100.00	18.25	100.00

Su liçi sonrasında yüksek tenörlü cevherde beslenen numunenin kütlege %18.23 ' lük kısmının, düşük tenörlü cevherde beslenen numunenin ise kütlege % 18.95 ' lik miktarının su çözeltisine geçtiği gözlemlenmiştir. Yüksek tenörlü cevherin flotasyonu sonucu elde edilen nihai konsantreye gerçekleştirilen su liçi sonucunda % 99.96 verimle %99.55 tenörde potasyum sülfat içerikli ürün elde edildiği neticesine varılmıştır. Düşük tenörlü cevherin flotasyonu sonucu elde edilen nihai konsantreye gerçekleştirilen su liçi sonucunda % 99.97 verimle %96.30 tenörde potasyum sülfat içerikli ürün elde edildiği neticesine varılmıştır. Her iki üründe de XRD (X-Işını Kırınımı) analizi sonucunda elde edilen görüntülerde potasyum sülfatlı bileşiklerin yüksek pikler verdiği gözlemlenmiştir.

3.4.2 Kostik Liçi Test Çalışmaları

Su liçi sonrasında çözeltiye geçmeyen ürün, içeriğindeki alüminyum sülfat Al₂(SO₄)₃ ve alüminyum hidroksit Al(OH)₃ edinimi için kostik liçine (NaOH) tabi tutulmuştur. Burada gerçekleştirilmeye çalışılan işlem Tepkime 6' da sunulmuştur. Kostik liçi sırasında çözeltiye geçen kısım kostik liçi sonrasında karbondioksit gazı (CO₂) ile çöktürmeye çalışılmıştır. Bu işlemde oluşturulmaya çalışılmış Tepkime ve ürünler Tepkime 7 verilmektedir. Bu aşama sonrasında alınan ürünlere, içerisinde var olan kükürt ve hidroksit bileşenlerinin uzaklaştırılmasını sağlamak amacıyla kavurma işlemi uygulanmıştır. Son olarak alümina (Al₂O₃) eldesi amaçlanmıştır.

Tepkime 6



Tepkime 7



Her iki numuneye de uygulanan kostik liçi testi sırasında uygulanan koşullar Çizelge 3.70' da sunulmuştur. %3' lük kostik çözeltisinde (NaOH) gerçekleştirilen liç işleminde sıcaklık ve pH ölçümleri test boyunca her 10 dakikada bir tekrarlanmış ve sabit tutulmaya çalışılmıştır.

Çizelge 3.70 Kostik liçi sırasında yüksek ve düşük tenörlü cevhere uygulanan test koşulları

Test Koşulları	
pH	12.30
% katı w/w	50
Sıcaklık °C	95
Süre (dk.)	300

Kostik (NaOH) liçi sonrasında çözeltiye geçen ürünlere 10 dakika boyunca 10 lt/dk karbon dioksit (CO_2) verilerek alüminyumlu bileşiklerin alüminyum hidroksitli ($\text{Al}(\text{OH})_3$) ve alüminyum oksitli (Al_2O_3) bileşik olarak çökmesi arzu edilmiştir. Sodyum hidroksit (NaOH) liçinde çözeltiye alınmış ürünler karbon dioksit gazı ile çökmesi sağlandıktan sonra filtrelenmiş ürüne 800°C ' de 1 saat boyunca içeriğindeki hidroksiti uzaklaştırmak için kavurma işlemi uygulanmıştır. Bu uygulama sonucunda her iki ürünün de %40'ı uçmuştur.

Düşük tenörlü alunit cevherinde kostik liçi sonrasında çözeltiye geçen ve karbon dioksitle çökmesi sağlanan ürünün XRD (X-Işını Kırınımı Analizi) görüntüsünde bazı pikler boşta kaldığı görünmekle birlikte bohmite ($\text{AlO}(\text{OH})$) mineralinin pikleriyle eşleşme gözlemlenmiştir (EK-6). Düşük tenörlü alunit cevherinde kostik liçi sonrasında çözeltiye geçen ve karbon dioksitle çökmesi sağlanan ardından kavurma işlemine tabii tutulan ürünün XRD (X-Işını Kırınımı Analizi) görüntüsünde de bazı piklerin boşta kaldığı görünmekle birlikte alüminyum oksitli (Al_2O_3) bileşiğin pikleriyle eşleşme gözlemlenmiştir (EK-7).

Sunulmuş olan XRD (X-Işını Kırınımı) analizi görüntülerinde yoğun şekilde piklerin gözlemlenmesinin nedeninin kimyasal işlemler sonucunda oluşmuş olan ürünlerin amorf (kristal düzene sahip olmayan yapı) yapıya sahip olmasına bağlanmıştır (EK-6 ve EK-7).

Yüksek tenörlü alunit cevherinde kostik liçi sonrasında çözeltiye geçen ve karbon dioksitle çökmesi sağlanan ardından kavurma işlemine tabii tutulan ürünün XRD

(X-Işını Kırınımı Analizi) görüntüsünde de bazı piklerin boşta kaldığı görünmekle birlikte alüminyum oksitli (Al_2O_3) bileşiğin pikleriyle eşleşme gözlemlenmiştir (EK-8).



4. SONUÇLAR

Bu tez kapsamında; ruhsatı Eti Maden İşletmeleri'ne ait olan Kütahya - Şaphane alunit cevherinden, başta kuvars olmak üzere içeriğindeki safsızlıklarından ayrılması amacıyla zenginleştirme çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Bu tez kapsamında elde edilen sonuçlar aşağıda maddeler halinde sunulmuştur;

- Yüksek ve düşük tenör numune karakterizasyonlarının belirlenmesi ve alunitin tane boyu fraksiyonlarına dağılımının saptanması için yapılan test çalışmalarında elde edilen sonuçlarda; Karakterizasyon çalışmaları kapsamında kullanılan numunelerin alunit yanında kuvars ve kaolin içerdiği sonucuna varılmıştır. Mikroskopik incelemelerin yanında kimyasal analizlerle de aynı içeriklerin varlığı ortaya koyulmuş ancak yüksek tenörlü cevher numunesinde kaolin ve diğer içeriklerin düşük tenörlü alunit cevher numunesine oranla oldukça düşük olduğu görülmüştür. Yüksek tenörlü cevher numunesinde alunit içeriği %42.03, kaolin (ve diğer) içeriği % 4.10, kuvars 54.53 olarak, düşük tenörlü cevher numunesinde alunit içeriği %29.75, kaolin (ve diğer) içeriği % 26.42, kuvars 54.46 olarak saptanmıştır.
- Karıştırma ile dağıtma test çalışmalarında cevher içeriğinde iri boyda bulunan alunit mineralinin karıştırma, dağıtma ve aşındırma işlemleriyle yeterli miktarda ince boylara geçirilip geçirilemeyeceği araştırılmıştır. Ancak, bu yöntemler ile alunitin herhangi bir fraksiyonda istenilen verimlerde seçimli olarak birikmesi mümkün olmamıştır. Dolayısı ile aşındırma ve dağıtma ile alunit cevherinde bir zenginleştirme yapılamadığı sonucuna varılmıştır.
- Düşük ve yüksek tenörlü cevher numunelerine uygulanan flotasyon test çalışmaları sonuçlarında yüksek tenörlü cevher numunesinde temizleme kademe sayısı birden beşe kadar arttırıldığında nihai konsantreye alınan ürün ağırlıkça azalmış ancak tenör değeri 5. Temizleme konsantresine alınan üründe %97.59 'a ulaştığı görülmüştür. Alunit % 45.61 verimle nihai konsantreye alınmıştır. Nihai konsantrenin silikat tenörü 5 kademe temizleme ile 2.60 'a çekilmiştir. Düşük tenörlü cevher numunesinde temizleme kademe sayısı birden altıya kadar arttırıldığında nihai konsantreye alınan ürün ağırlıkça azalmış olduğu belirlenmiştir. Nihai konsantrenin tenör değeri 4. Temizleme konsantresine kadar artış göstermiş ancak temizleme kademeleri eklendikçe azalma eğilimine geçmiştir. 4 temizlemeli gerçekleştirilen testte

alınan üründe %85.36 'ya ulaştığı görülmüştür. Bu testte verim değeri % 69.73 olarak elde edilmiştir. Beslemenin % 50.28 alunit içeriği nihai konsantreye alınmıştır. Nihai konsantrenin silikat tenörü 4 kademe temizleme ile 5.50 'ye çekilmiştir. Laboratuvarında açık devre olarak yapılan 5 kademe temizleme işleminden elde edilen kazanım değerleri kullanılarak temizleme atıklarının sistem içinde devrettirilmesi ile oluşacak kütle denkliliği ve ürün özellikleri simülasyon yardımıyla hesaplanmıştır. Sonuçta devreden yüklerin içindeki kuvarsın bir kısmı nihai ürüne giderek nihai ürün alunit tenörünü %86 değerine kadar düşürmüştür. Ancak, bu şekilde beslemedeki alunitin %94,9'u kazanılmaktadır. Düşük tenörlü alunit cevher numunesinde ise devreden yüklerin içindeki kuvarsın bir kısmı nihai ürüne giderek nihai ürün alunit tenörünü %79.6 değerine kadar düşürmektedir. Ancak, bu şekilde beslemedeki alunitin %95.9'u kazanılmaktadır. Burada beslemenin ağırlıkça %35.8'i ürün olarak alınmakta, %64.2'si atılmaktadır.

- Yüksek tenörlü cevherin flotasyonu sonucu elde edilen nihai konsantreye gerçekleştirilen su liçi sonucunda % 99.96 verimle %99.55 tenörde potasyum sülfat içerikli ürün elde edildiği neticesine varılmıştır. Düşük tenörlü cevherin flotasyonu sonucu elde edilen nihai konsantreye gerçekleştirilen su liçi sonucunda % 99.97 verimle %96.30 tenörde potasyum sülfat içerikli ürün elde edildiği neticesine varılmıştır. Her iki üründe de XRD (X-Işını Kırınımı) analizi sonucunda elde edilen görüntülerde potasyum sülfatlı bileşiklerin yüksek pikler verdiği gözlemlenmiştir. Düşük tenörlü alunit cevherinde kostik liçi sonrasında çözeltiye geçen ve karbon dioksitle çökmesi sağlanan ürünün XRD (X-Işını Kırınımı Analizi) görüntüsünde bazı pikler boşta kaldığı görünmekle birlikte bohmite ($\text{AlO}(\text{OH})$) mineralinin pikleriyle eşleşme gözlemlenmiştir. Düşük tenörlü alunit cevherinde kostik liçi sonrasında çözeltiye geçen ve karbon dioksitle çökmesi sağlanan ardından kavurma işlemine tabii tutulan ürünün XRD (X-Işını Kırınımı Analizi) görüntüsünde de bazı piklerin boşta kaldığı görünmekle birlikte alüminyum oksitli (Al_2O_3) bileşiğin pikleriyle eşleşme gözlemlenmiştir.

KAYNAKLAR

- [1] Miller J. B., Ackerman J.D., Bench Scale Flotation of Alunite with Oleic Acid, c. Chapter 42, 832–852, **1980**.
- [2] Kılınç Aksay E., Ünal A., Cöcen İ., Kaya E., Akar A., Alunit Cevherinden Potasyum ve Alüminyum Sülfat Hammaddelerinin Kazanımı, içinde 5. *Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu*, c. 3, 13–14, **2004**.
- [3] Hwang M., Kullerud J.Y., Friedlaender G., Takayasu F.J., A Method For Alunite Beneficiation, *Direct*, c. 9322, sayı 1, **1985**.
- [4] Bentli M. S., Yüzer İ., Çalık H., Removal of Finely Disseminated Silicates from Kütahya-Şaphane Alunite Ore by Oleate Flotation, *The Journal of Ore Dressing*, sayı The Journal of Ore Dressing, 11–15, **2009**.
- [5] Karantzavelos G. E., Laboratory and Pilot Plant Scale Development of an Alunite Flotation Process, *Minerals & Metallurgical Processing*, sayı FEBRUARY, 35–38, **1985**.
- [6] Çalışma Grubu, Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı, **2001**.
- [7] Frost R. L., Wain D. L., Wills R.-A., Musemeci A., ve Martens W., A Thermogravimetric Study of The Alunites of Sodium, Potassium And Ammonium, *Thermochimica Acta*, c. 443, sayı 1, 56–61, **2006**.
- [8] Tunç T., Apaydın F., Yıldız K., Structural alterations and thermal behaviour of mechanically activated alunite ore, *J Therm Anal Calorim*, 118, 883–889, **2014**.
- [9] Mohammadi M., Salarirad M. M., Kinetics of Direct Leaching of Natural Alunite in KOH, *I&EC Research*, 52, 4359–14365, **2013**.
- [10] Gaied M. E., Chaabani F., Gallala W., Alunite characterization in the upper Eocene clay deposits of Central Tunisia: an implication to its genesis, *Carbonates Evaporites*, 30, 347–356, **2015**.
- [11] Katsioti M., Giannikos D., Tsakiridis P.E., Tsibouki Z., Properties and hydration of blended cements with mineral alunite, *Construction and Building Materials*, 23, 1011–1021, **2009**.
- [12] Gebhardt J. E., Piga L., ve Schena G., Flocculation and Flotation behavior of a Low-Grade Alunite Ore, *Minerals & Metallurgical Processing*, c. 15, sayı 4, 48–52, **1998**.
- [13] Karantzavelos G. E., Laboratory and Pilot Plant Scale Development of an Alunite Flotation Process, *Minerals & Metallurgical Processing*, sayı FEBRUARY, 35–38, **1985**.
- [14] Ediz N., Tatar İ., Aydın A., Pre-Concentration and Flotation of Alunitic Kaolin And Its Possible Use In Ceramic Tile Industry, *Physicochemical Problems of Mineral Processing*, 51(1), 213 – 231, **2015**.
- [15] Gabriel J., Dasher A., Report of Investigations Beneficiation of Alunite, **1942**.
- [16] Haff R. C., Process for Treating Alunite Ores and The Like, **1946**.

- [17] Koca S., Koca H., Carrier Flotation of Alunite From Kaolin Clay, içinde *Proceedings of the XXI International Mineral Processing Congress*, 1–8, **2000**.
- [18] Ekmekçi Z., Gülsoy Ö. Y., Ersayın S., Bayraktar İ., Desulphurisation of İvrindi Alunitic Kaolin, *Bulletin of Earth Sciences Application and Research Centere of Hacettepe University*, c. 23, sayı Yerbilimleri, 53–60, **2001**.
- [19] Froisland L.J., Wouden M.L., Harbuck D.D. Acid Sulfation of Alunite, **1989**.
- [20] Tilley G. S., Process of Treating Alunite, **1926**.
- [21] Ogburn H. B., Stere S.C., Thermal Decomposition of Alunite, *Industrial and Engineering Chemistry*, c. 24, sayı, 288–290, **1932**.
- [22] Mccullough W. E., Cyclic Process for Treating Alunite, **1938**.
- [23] Stevens D., Forberg H. O., Jennings L. D., Stephens F. M., Bowen F. J., Method of Treating Alunite Ore, **1975**.
- [24] Stevens D., Forberg H. O., Jennings L. D., Stephens F. M., Bowen F. J., Thompson D. L., Copenhaver V., Redox Treatment of Alunite Ore, **1975**.
- [25] Nasyrov G. Z., Bogdanov, A. V., Eremin N. I., Stolyar B. A., Yamin I. T., Method of Producing Alumina and Potassium Sulphate from Alunite, **1976**.
- [26] Loest K. W., Recover of Aluminum from Alunite ore Using Acid Leach to Purify The Residue for Bayer Leach, **1977**.

EKLER

EK – 1

Alunit Grup

Alunit Group			Walthierite	
Alunit	$KAl_3(SO_4)_2(OH)_6$		Beudantite Group	$Ba_{0.5}Al_3(SO_4)_2(OH)_6$
Ammonioalunit	$(NH_4)Al_3(SO_4)_2(OH)_6$		Beudantite	$AM_3(XO_4)(SO_4)(OH)_6$
Ammoniojarosite	$(NH_4)Fe_3^{3+}(SO_4)_2(OH)_6$		Corkite	$PbFe_3(AsO_4)(SO_4)(OH)_6$
Argentojarosite	$AgFe_3^{3+}(SO_4)_2(OH)_6$		Gallobeudantite	$PbFe_3(PO_4)(SO_4)(OH)_6$
Beaverite-(Cu)	$Pb(Fe_2^{3+}Cu)(SO_4)_2(OH)_6$		Hidalgoite	$PbGa_3(AsO_4)(SO_4)(OH)_6$
Beaverite-(Zn)	$Pb(Fe_2^{3+}Zn)(SO_4)_2(OH)_6$		Hinsdalite	$PbAl_3(AsO_4)(SO_4)(OH)_6$
Dorallcharite	$TiFe_3^{3+}(SO_4)_2(OH)_6$		Dusserite	$PbAl_3(PO_4)(SO_4)(OH)_6$
Huangite	$Ca_{0.5}Al_3(SO_4)_2(OH)_6$		Graulichite-(Ce)	$BaFe_3^{3+}(AsO_4)(AsO_3OH)(OH)_6$
Hydroniumjarosite	$(H_3O)Fe_3^{3+}(SO_4)_2(OH)_6$		Philipsbornite	$CeFe_3^{3+}(AsO_4)_2(OH)_6$
Jarosite	$KFe_3^{3+}(SO_4)_2(OH)_6$		Segnitite	$PbAl_3(AsO_4)_2(OH)_5 \cdot H_2O$
Natroalunit	$NaAl_3(SO_4)_2(OH)_6$		Plumbogummite Group	
Kemmlitzite	$SrAl_3(AsO_4)(SO_4)(OH)_6$		Benautite	$PbFe_3^{3+}(AsO_4)_2(OH, H_2O)_6$
Svanbergite	$SrAl_3(PO_4)(SO_4)(OH)_6$		Crandallite	$SrFe_3^{3+}(HPO_4, PO_4)_2(OH)_6$
Weilerite	$BaAl_3(AsO_4)(SO_4)(OH)_6$		Eyletersite	$CaAl_3(PO_4)(PO_3OH)(OH)_6$
Woodhouseite	$CaAl_3(PO_4)(SO_4)(OH)_6$		Florencite-(Ce)	$Th_{0.75}Al_3(PO_4)_2(OH)_6$
Dussertite Group			Florencite-(La)	$CeAl_3(PO_4)_2(OH)_6$
Arsenocrandalite	$CaAl_3(AsO_4)(AsO_3OH)(OH)_6$		Florencite-(Nd)	$LaAl_3(PO_4)_2(OH)_6$
Arsenoflorencite(Ce)	$CeAl_3(AsO_4)_2(OH)_6$		Florencite-(Sm)	$NdAl_3(PO_4)_2(OH)_6$
Arsenoflorencite(La)	$LaAl_3(AsO_4)_2(OH)_6$		Galloplumbogummite	$SmAl_3(PO_4)_2(OH)_6$
Arsenoflorencite(Nd)	$NdAl_3(AsO_4)_2(OH)_6$		Gorceixite	$Pb(Ga, Al, Ge)_3(PO_4)_2(OH)_6$
Arsenogorceixite	$BaAl_3(AsO_4)(AsO_3OH)(OH)_6$		Goyazite	$BaAl_3(PO_4)(PO_3OH)(OH)_6$
Arsenogoyazite	$SrAl_3(AsO_4)(AsO_3OH)(OH)_6$		Kintoreite	$SrAl_3(PO_4)(PO_3OH)(OH)_6$
Arsenowaylandite	$BiAl_3(AsO_4)_2(OH)_6$		Kintoreite-2c	$PbFe_3(PO_4)(PO_3OH)(OH)_6$
Natroalunit-2c	$(Na, Ca_{0.5}, K)Al_3(SO_4)_2(OH)_6$		Plumbogummite	$PbFe_3^{3+}(PO_4)_2(OH, H_2O)_6$
Natrojarosite	$NaFe_3(SO_4)_2(OH)_6$		Springcreekite	$PbAl_3(PO_4)(PO_3OH)(OH)_6$
Osarizawaite	$Pb(Al_2Cu^{2+})(SO_4)_2(OH)_6$		Waylandite	$BaV_3^{3+}(PO_4)_2(OH, H_2O)_6$
Plumbojarosite	$Pb_{0.5}Fe_3^{3+}(SO_4)_2(OH)_6$		Zairite	$BiAl_3(PO_4)_2(OH)_6$
Schlossmacherite	$(H_3O)Al_3(SO_4)_2(OH)_6$		Unnamed (Ba-Fe Vanadate)	$BiFe_3^{3+}(PO_4)_2(OH)_6$
				Ba, Fe, V, O, H

EK – 2

Alunit cevheri minerolojik inceleme



**HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ
YERBİLİMLERİ UYGULAMA VE ARAŞTIRMA MERKEZİ
İNCEKESİT ve PARLATMA LABORATUVARI**

**MİNERALOJİK-PETROGRAFİK
ANALİZ RAPORU
No: IKPL-20131022-01**

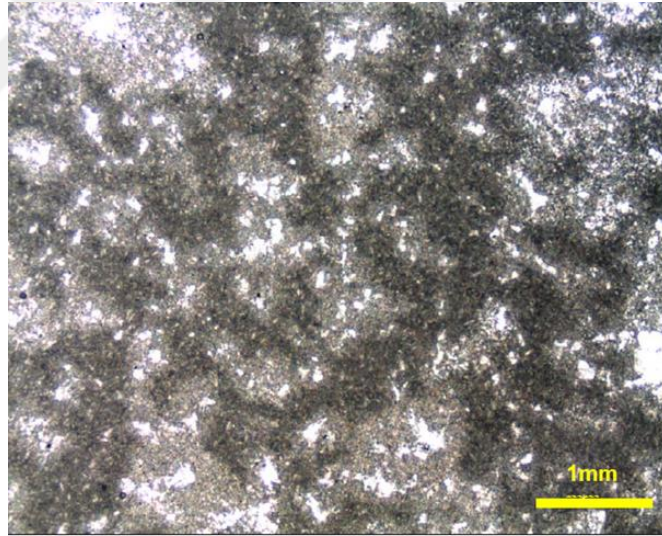


HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ
YERBİLİMLERİ UYGULAMA VE ARAŞTIRMA MERKEZİ
İNCEKESİT ve PARLATMA LABORATUVARI

KONU: Mineralojik – Petrografik inceleme

NUMUNE: 1

Numuneden hazırlanan incekesitler, mineralojik içeriğinin ve petrografik özelliklerinin belirlenebilmesi amacıyla Leica DM EP alttan aydınlatmalı polarizan mikroskop kullanılarak incelenmiştir. Bununla birlikte görüntüleme çalışmaları mikroskop ile tümleşik Leica DFC 320 kamera kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Polarizan mikroskop altında incelendiğinde kayacın şiddetli (hidrotermal) alterasyona uğradığı ve birincil dokusal özelliklerini kaybederek çok ince taneli ikincil mineralizasyon ürünlerine dönüştüğü gözlenir ([Şekil-1](#)).

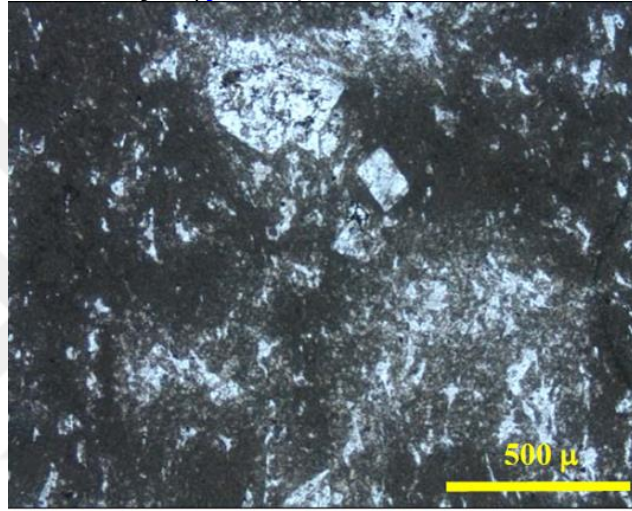


Şekil 0.1 1 No-lu örnek şiddetli hidrotermal alterasyon sonucu birincil dokusunu kaybetmiş ve çok ince taneli alterasyon ürünlerine dönüşmüştür. Tek nikol.



HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ
YERBİLİMLERİ UYGULAMA VE ARAŞTIRMA MERKEZİ
İNCEKESİT ve PARLATMA LABORATUVARI

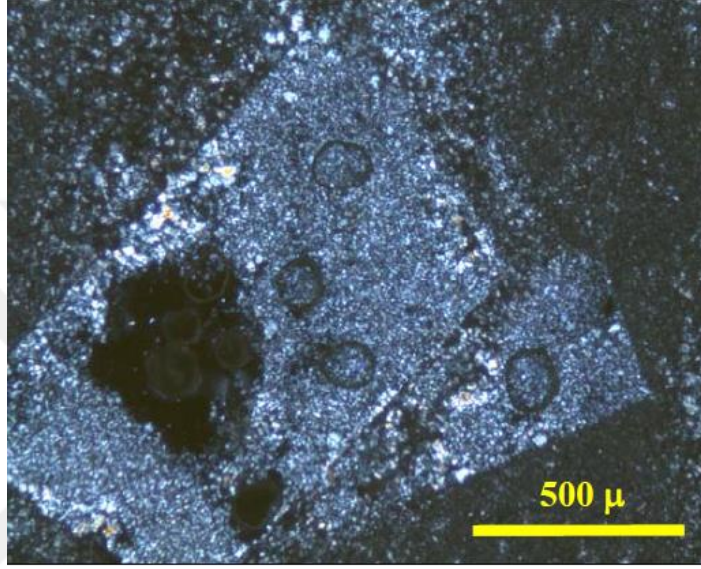
Hidrotermal alterasyon mineralleri, alttan aydınlatmalı mikroskopta tek nikolde incelendiğinde renksiz – hafif toprağımsı görünümü, çift nikolde I. dizi girişim renkleri, orta- hafif yüksek optik engebese ve tek yönde çok iyi dilinim göstermesi nedeniyle alünit olarak tanımlanmıştır (Şekil-2). Alterasyona uğrayan ana kayacın içerdiği feno(?)kristallerin de kristal şekillerini koruduğu ancak neredeyse tamamen alünite dönüştüğü belirlenmiştir (Şekil-3).



Şekil 2: 1 no'lu numunedeki hidrotermal alterasyon mineralleri çift nikolde I. dizi girişim renkleri, orta- hafif yüksek optik engebese ve tek yönde çok iyi dilinim göstermesi nedeniyle alünit olarak tanımlanmıştır (Çift nikol).



HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ
YERBİLİMLERİ UYGULAMA VE ARAŞTIRMA MERKEZİ
İNCEKESİT ve PARLATMA LABORATUVARI



Şekil 3: 1 No'lu numunede yarı-özşeklinin korunduğu ancak tamamen alünite dönüşmüş feno(?)kristaller. Çift nikol.

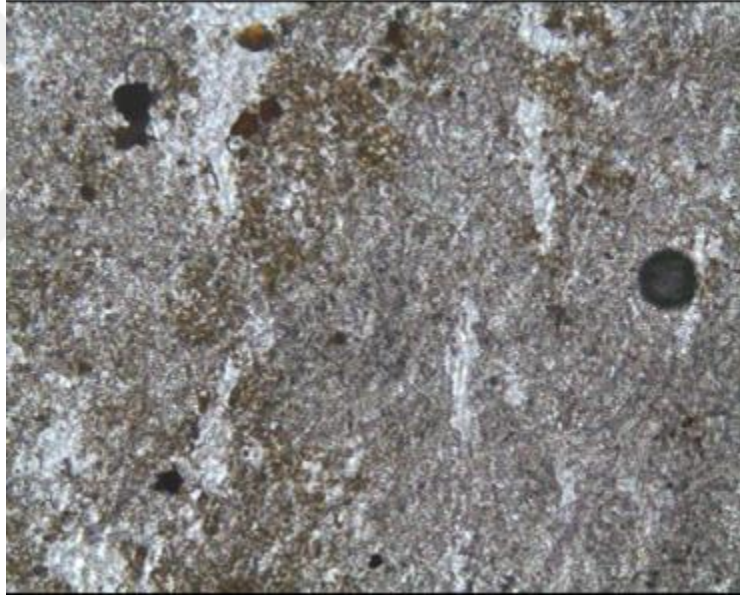


HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ
YERBİLİMLERİ UYGULAMA VE ARAŞTIRMA MERKEZİ
İNCEKESİT ve PARLATMA LABORATUVARI

KONU: Mineralojik – Petrografik inceleme

NUMUNE: 2

Numuneden hazırlanan incekesitler, mineralojik içeriğinin ve petrografik özelliklerinin belirlenebilmesi amacıyla Leica DM EP alttan aydınlatmalı polarizan mikroskop kullanılarak incelenmiştir. Bununla birlikte görüntüleme çalışmaları mikroskop ile tümleşik Leica DFC 320 kamera kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Polarizan mikroskop altında incelendiğinde kayacın şiddetli (hidrotermal) alterasyona uğradığı ve birincil dokusal özelliklerini kaybederek çok ince taneli ikincil mineralizasyon ürünlerine dönüştüğü gözlenir ([Şekil-4](#)). Bununla birlikte kayaç dahilinde damarlar şeklinde gelişen Fe bakımından zengin sıvamalara da rastlanır ([Şekil-4](#)).



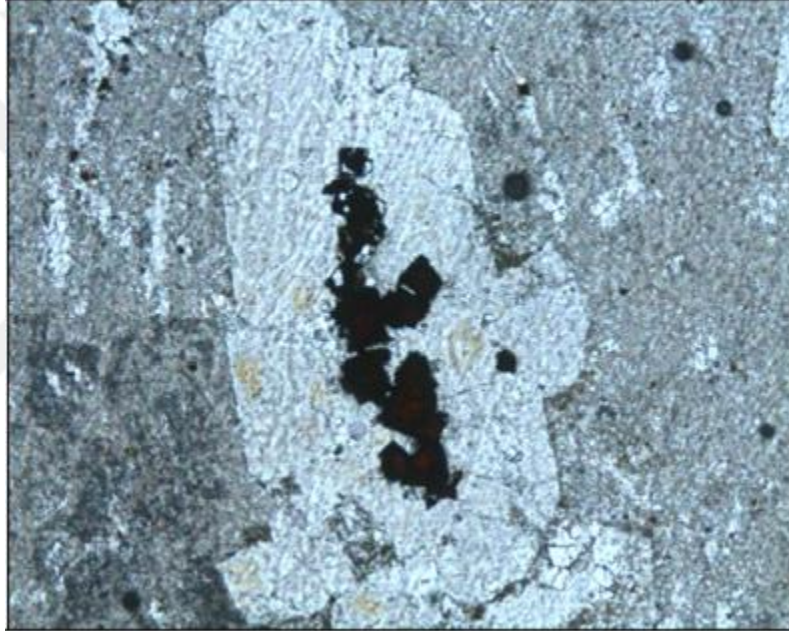
Şekil 4: 2 No-lu örnek şiddetli hidrotermal alterasyon sonucu birincil dokusunu kaybetmiş ve çok ince taneli alterasyon ürünlerine dönüşmüştür. Kayaç dahilinde kıvılcıklı Fe sıvamaları tipiktir. Tek nikol.

Hidrotermal alterasyon mineralleri, alttan aydınlatmalı mikroskopta tek nikolde incelendiğinde renksiz – hafif toprağımsı görünümü, çift nikolde I. dizi girişim renkleri, orta- hafif yüksek optik engebeleri ve tek yönde çok iyi dilinim göstermesi nedeniyle



HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ
YERBİLİMLERİ UYGULAMA VE ARAŞTIRMA MERKEZİ
İNCEKESİT ve PARLATMA LABORATUVARI

alunit olarak tanımlanmıştır. Alterasyona uğrayan ana kayacın içerdiği feno(?)kristallerin kristal şekillerini koruyarak alünite dönüştüğü ve sıklıkla opak kapanımlar içerdiği belirlenmiştir ([Şekil-5](#)).

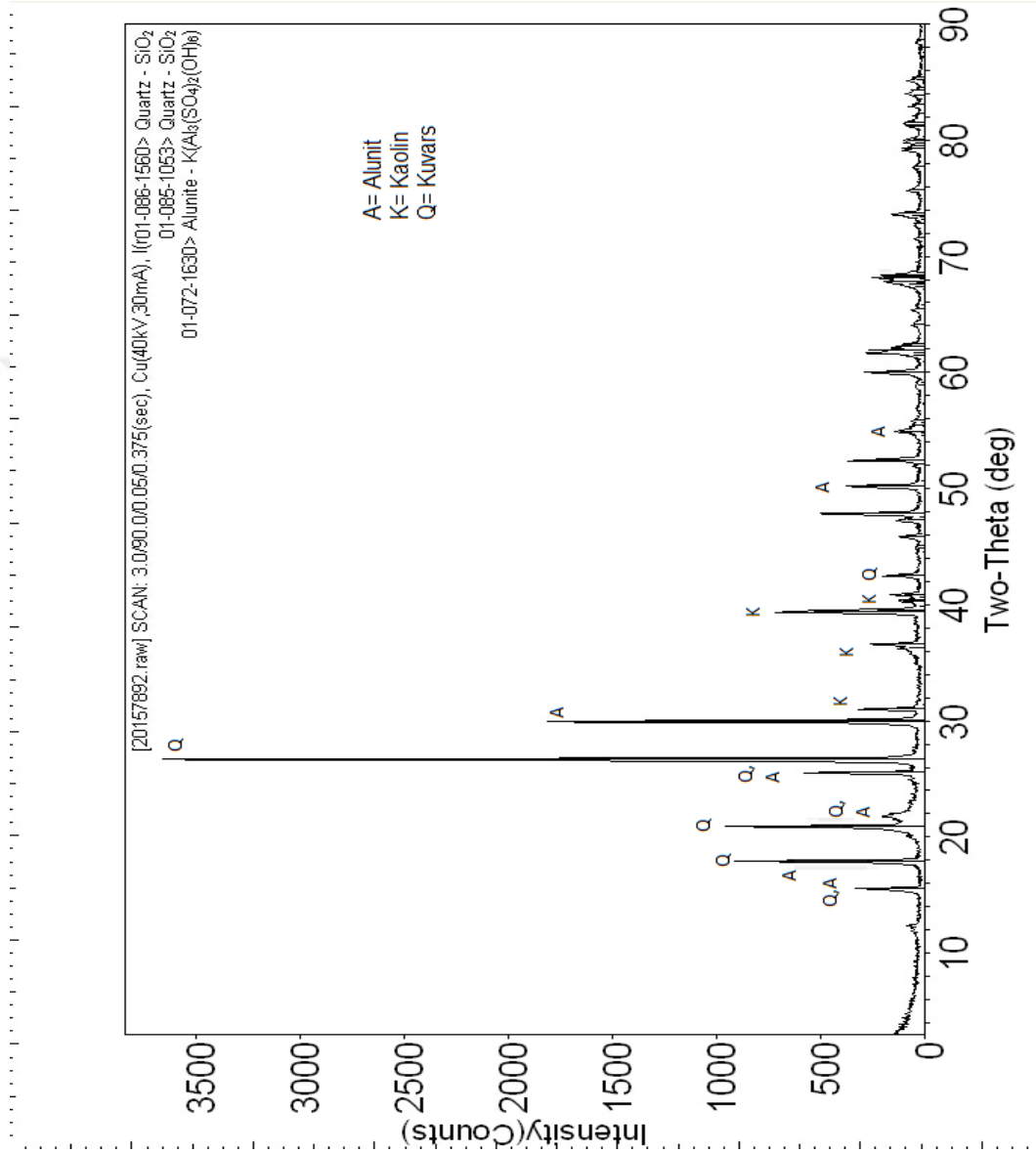


Şekil 5: 2 nolu numunede kristal şeklinin korunmasına rağmen tamamen alünite dönüşmüş ve sıklıkla opak kapanımlar içeren ana kayaca ait feno(?)kristaller. Tek nikol.

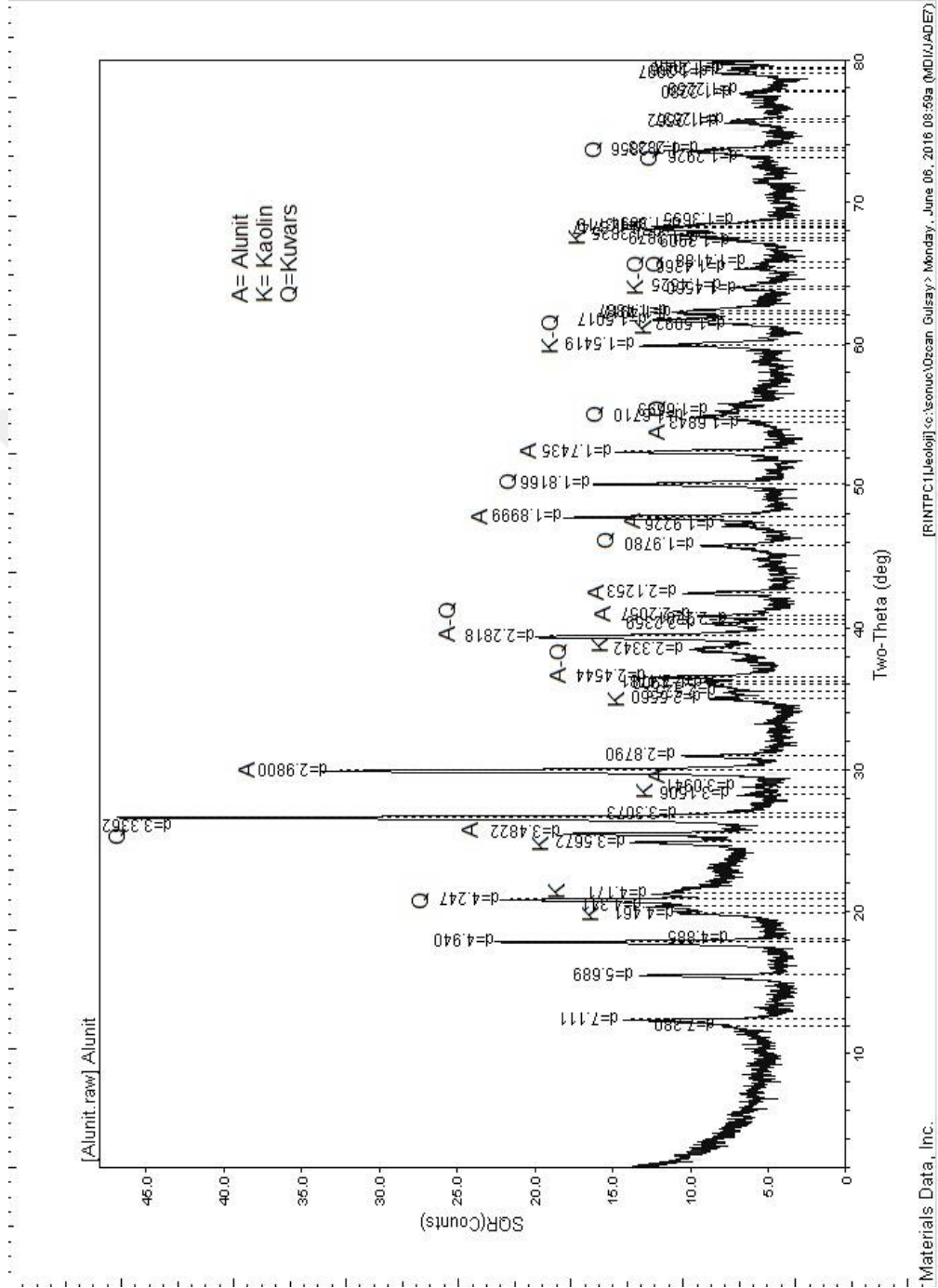
EK – 3

XRD (X-Işını Kırınımı) Analizi Desenleri

Yüksek tenörlü cevher numunesi XRD (X-Işını Kırınımı Analizi) deseni

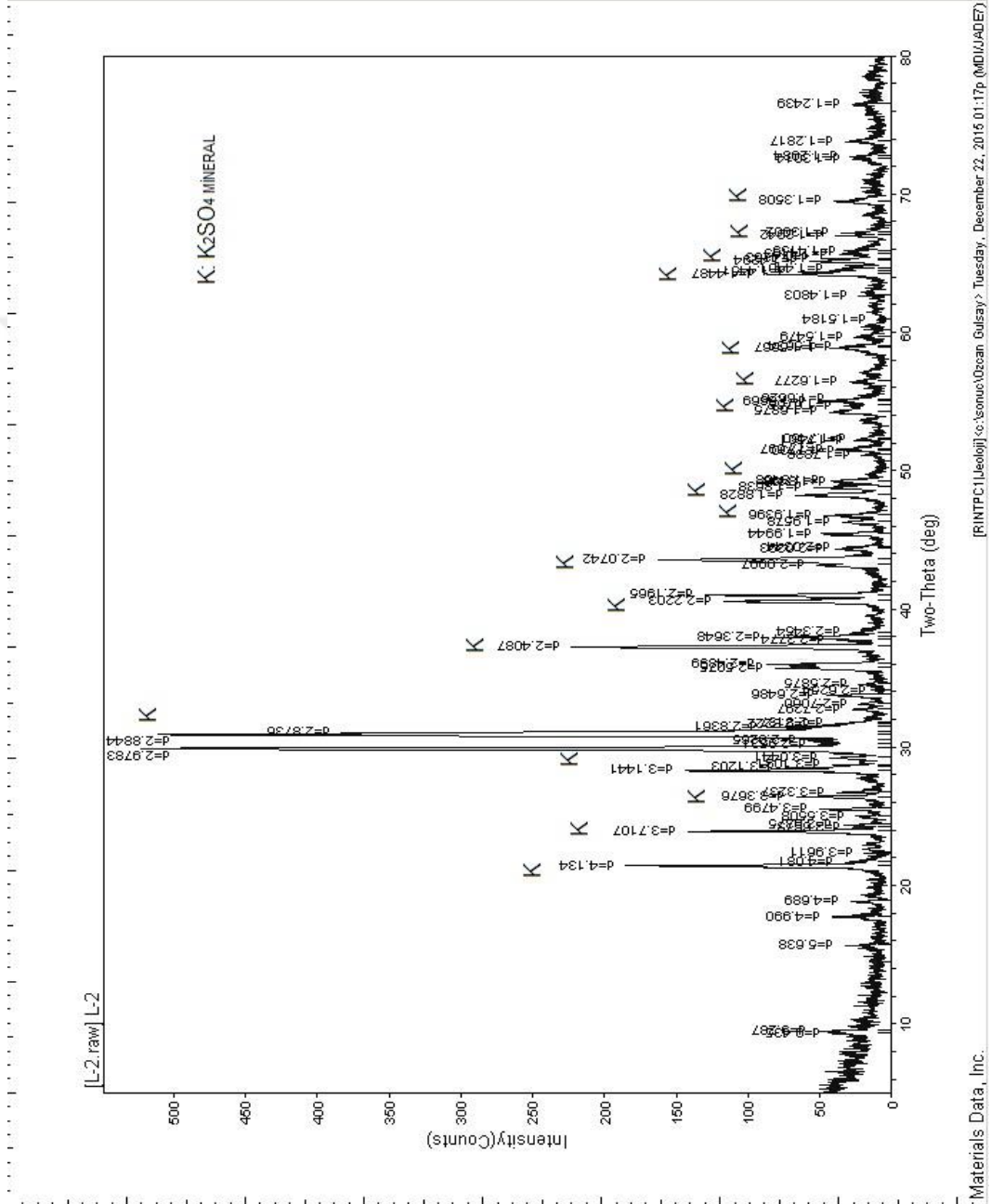


Düşük tenörlü cevher numunesi XRD (X-Işını Kırınımı Analizi) deseni



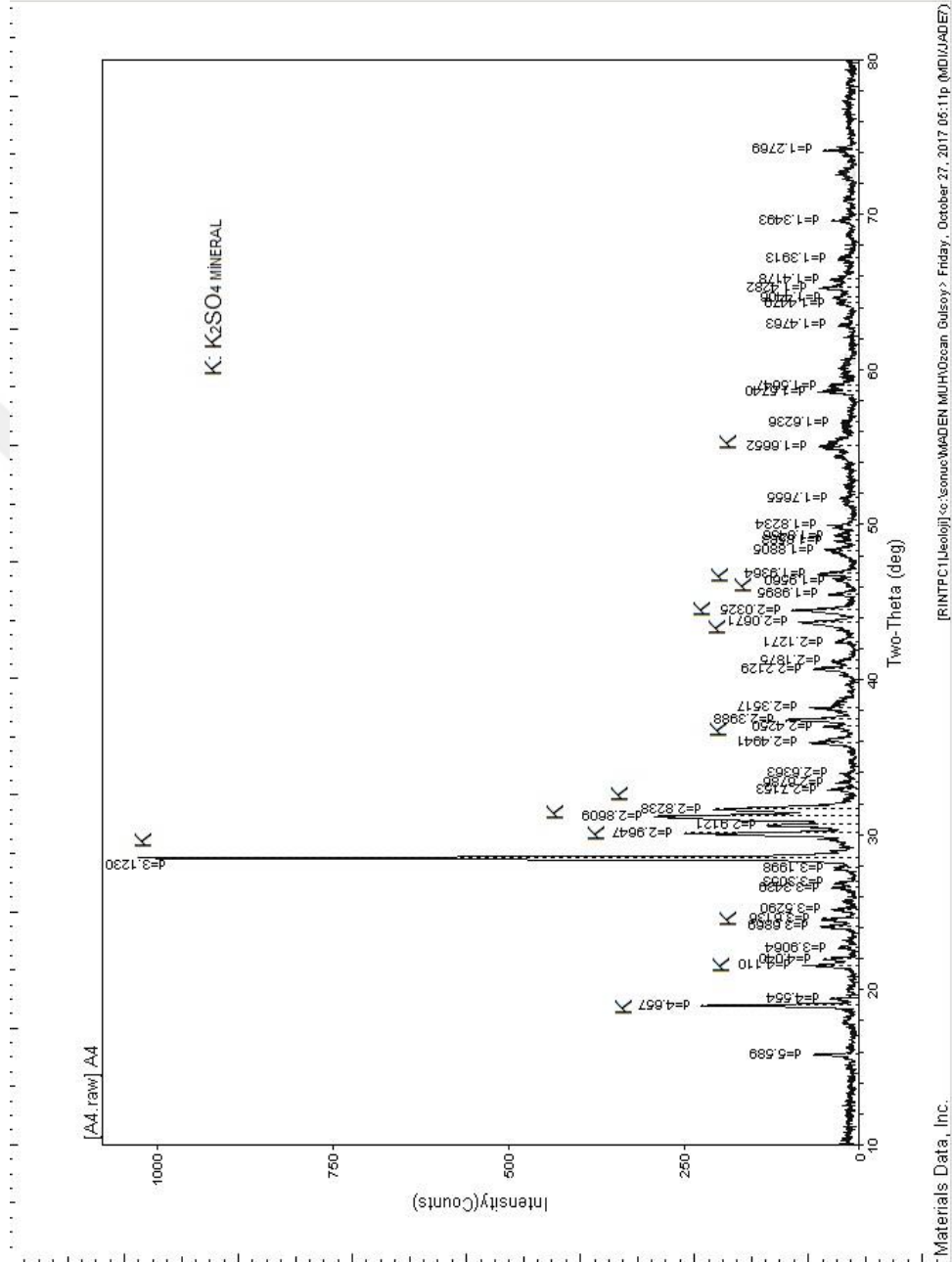
EK-4

Yüksek Tenör Cevher Numunesinde Su Liçi Sonrasında Çözeltiye Geçen Ürünün
XRD (X-Işını Kırınımı Analizi) Görüntüsü

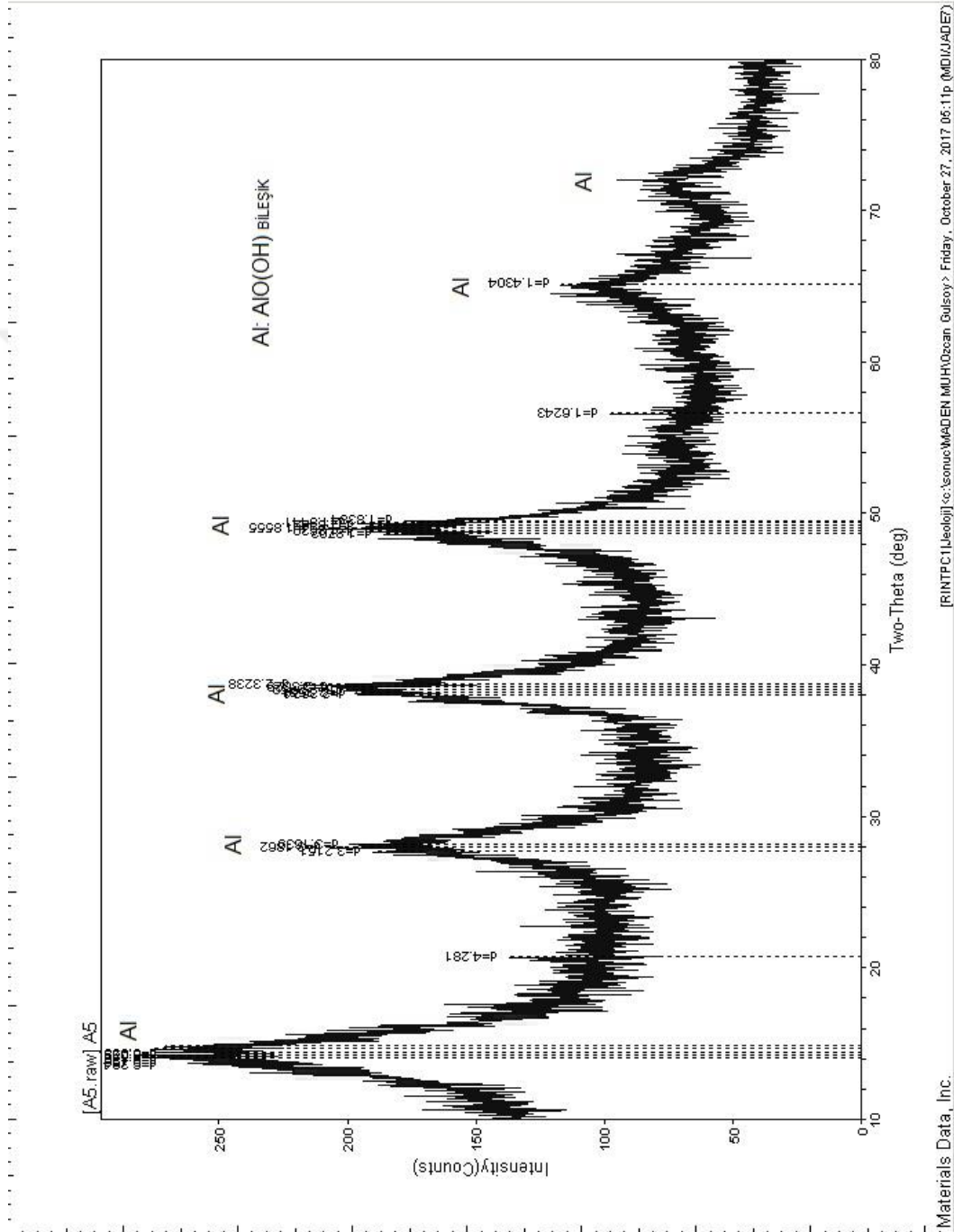


EK-5

Düşük Tenör Cevher Numunesinde Su Liçi Sonrasında Çözeltiye Geçen Ürünün
XRD (X-Işını Kırınımı Analizi) Görüntüsü

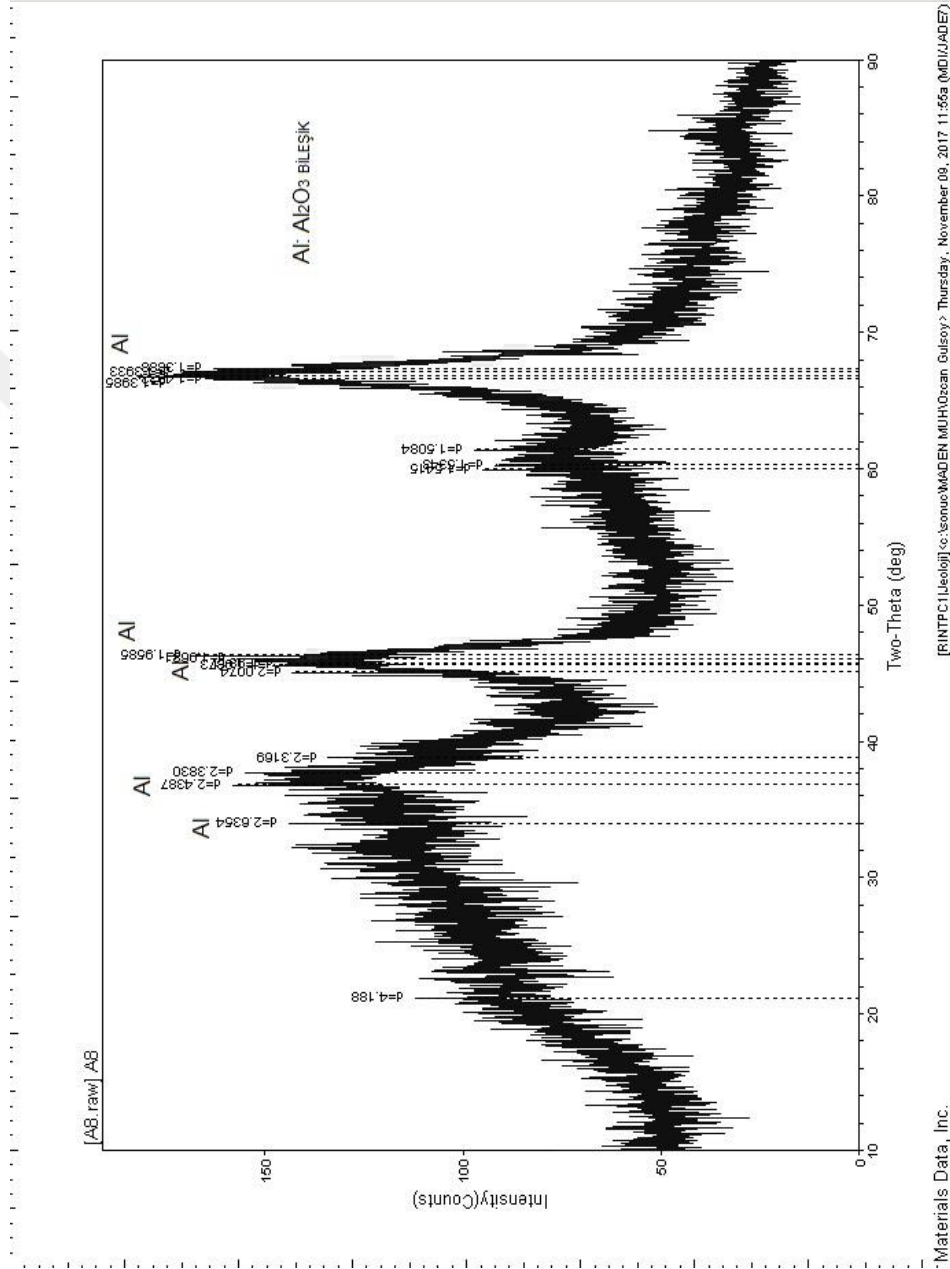


Düşük Tenörlü Alunit Cevherinde Kostik Liçi Sonrasında Çözeltiye Geçen Ve Karbon Dioksitle Çökmesi Sağlanan Ürünün XRD (X-Işını Kırınımı Analizi) Görüntüsü

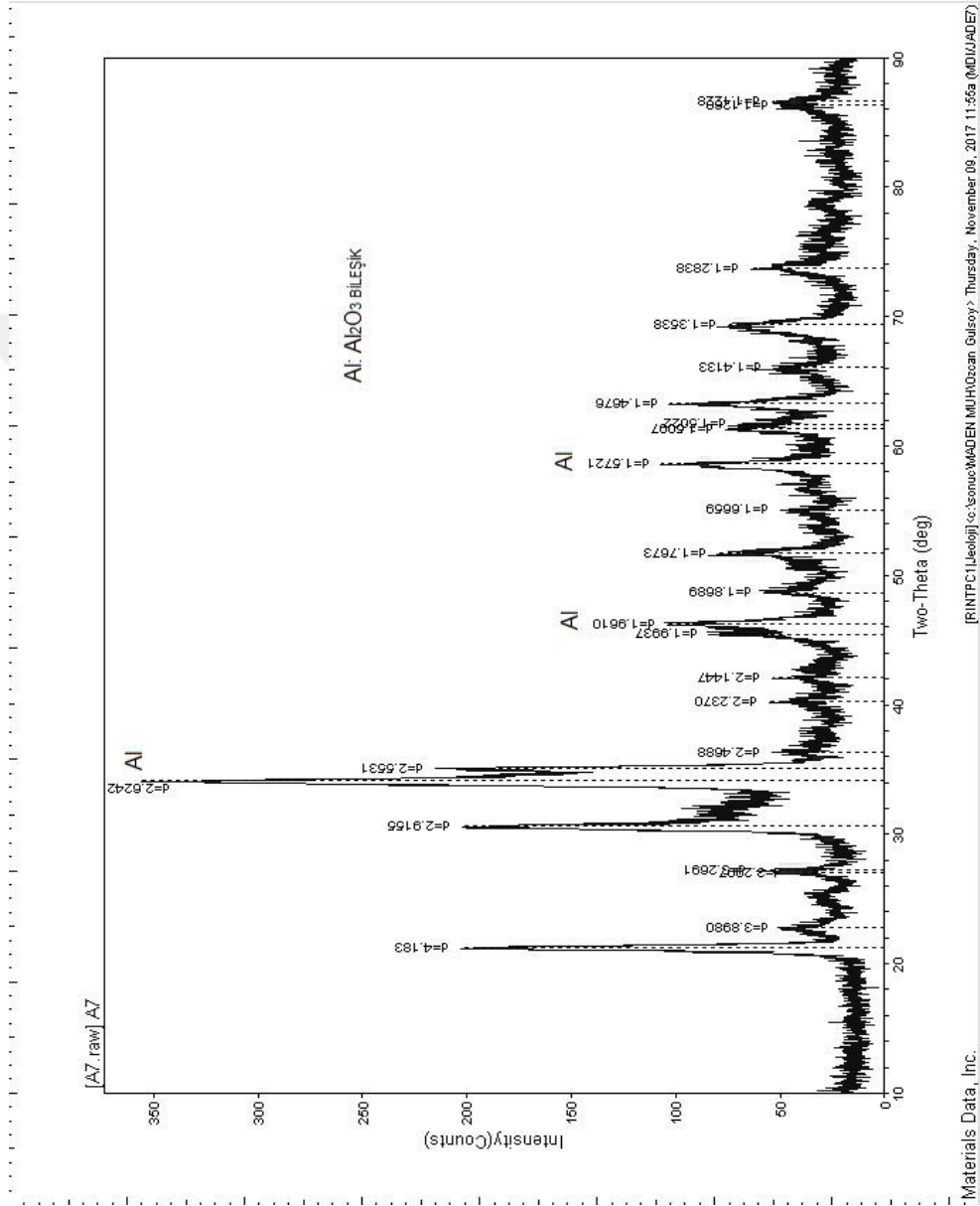


EK-7

Düşük Tenörlü Alunit Cevherinde Kostik Liçi Sonrasında Çözeltiye Geçen Ve Karbon Dioksitle Çökmesi Sağlanan Ardından Kavurma İşlemine Tabii Tutulan Ürünün XRD (X-Işını Kırınımı Analizi) Görüntüsü



Yüksek tenörlü alunit cevherinde kostik liçi sonrasında çözeltiye geçen ve karbon dioksitle çökmesi sağlanan ardından kavurma işlemine tabii tutulan ürünün XRD (X-Işını Kırınımı Analizi) görüntüsü



ÖZGEÇMİŞ

Kimlik Bilgileri

Adı Soyadı : GİZEM KOCAUSTA
Doğum Yeri : Çankaya
Medeni Hali : Bekâr
E-Posta : gizemkocausta@gmail.com
Adres : Remzi Oğuz Arık Mah., Defne Sk.,
4/17 Çankaya/Ankara

Eğitim

Lise : TED Ankara Koleji Lisesi, ANKARA
(2003-2007)
Lisans : Hacettepe Üniversitesi Maden Mühendisliği
Böl., ANKARA
(2008-2013)

Yabancı Dil ve Düzeyi

İngilizce : İleri Düzey

İş Deneyimi

Eylül 2017 - ... : Nanomam Danışmanlı A.Ş. – AR-GE Uzmanı
Eylül 2013 – Eylül 2017 : Hacettepe Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü –
Proje Mühendisi

Deneyim Alanları

Alunit Flotasyonu, Elektrostatik Ayırma, Triboelektrostatik Ayırıcı, Cevher Karakterizasyonu, Cevher Zenginleştirme Çalışmaları, Cevher Hazırlama Tesisi Performans Değerlendirmesi ve Optimizasyonu, Matematiksel Modelleme, Cevher Zenginleştirme Yeni Ekipman Tasarımı ve Geliştirilmesi, AR-GE Çalışmaları

Tezden Üretilmiş Projeler ve Bütçesi

-

Tezden Üretilmiş Yayınlar

-

Tezden Üretilmiş Tebliğ ve/veya Poster Sunumuna Katıldığı Toplantılar

Gülsoy, O. Y., Kocausta, G., Dizdar, T. O., Gülcan, E., Kaya, R., Benefication of Kütahya Şaphane Alunite Ore, International Mineral Processing Symposium, **2016**.





HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
YÜKSEK LİSANS/DOKTORA TEZ ÇALIŞMASI ORJİNALLİK RAPORU

HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
MADEN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI BAŞKANLIĞI'NA

Tarih: 10/01/2018

Tez Başlığı / Konusu: ALUNİT CEVHERİNİN ZENGİNLEŞTİRİLMESİ

Yukarıda başlığı/konusu gösterilen tez çalışmamın a) Kapak sayfası, b) Giriş, c) Ana bölümler d) Sonuç kısımlarından oluşan toplam 108 sayfalık kısmına ilişkin, 10/01/2018 tarihinde şahsım/tez danışmanım tarafından Turnitin adlı intihal tespit programından aşağıda belirtilen filtrelemeler uygulanarak alınmış olan orijinallik raporuna göre, tezimin benzerlik oranı % 4 'tür.

Uygulanan filtrelemeler:

- 1- Kaynakça hariç
- 2- Alıntılar hariç/danış
- 3- 5 kelimedenden daha az örtüşme içeren metin kısımları hariç

Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Çalışması Orijinallik Raporu Alınması ve Kullanılması Uygulama Esasları'nı inceledim ve bu Uygulama Esasları'nda belirtilen azami benzerlik oranlarına göre tez çalışmamın herhangi bir intihal içermediğini; aksinin tespit edileceği muhtemel durumda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve yukarıda vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.

Gereğini saygılarımla arz ederim.

Adı Soyadı: Gizem KOCAUSTA
Öğrenci No: N13223123
Anabilim Dalı: Maden Mühendisliği
Programı: Cevher Hazırlama
Statüsü: ☒ Y.Lisans ☐ Doktora ☐ Bütünleşik Dr.

Tarih ve İmza

10/01/2018
G. Kocausta

DANIŞMAN ONAYI

UYGUNDUR.

Prof. Dr. Özcan Yıldırım GÜLSOY
(Unvan, Ad Soyad, İmza)