Eskişehir Sivrihisar Beylikahır Kompleks Cevherlerinden Nadir Toprak Elementlerinin Kazanılmasının Araştırılması

Ufuk Özdemir

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Maden Mühendisliği Anabilim Dalı

Ocak 2023

Investigation of Recovery of Rare Earth Elements From Eskişehir Sivrihisar Beylikahır Complex Ores

Ufuk Özdemir

MASTER OF SCIENCE THESIS

Department of Mining Engineering

January 2023

Eskişehir Sivrihisar Beylikahır Kompleks Cevherlerinden Nadir Toprak Elementlerinin Kazanılmasının Araştırılması

Ufuk Özdemir

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Lisansüstü Yönetmeliği Uyarınca
Maden Mühendisliği Anabilim Dalı
Cevher Hazırlama Bilim Dalında
YÜKSEK LİSANS TEZİ
Olarak Hazırlanmıştır

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Kemal Bilir

Ocak 2023

ETİK BEYAN

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kılavuzuna göre, Dr. Öğr. Üyesi Kemal Bilir danışmanlığında hazırlamış olduğum "Eskişehir Sivrihisar Beylikahır Kompleks Cevherlerinden Nadir Toprak Elementlerinin Kazanılmasının Araştırılması" başlıklı YÜKSEK LİSANS tezimin özgün bir çalışma olduğunu; tez çalışmamın tüm aşamalarında bilimsel etik ilke ve kurallara uygun davrandığımı; tezimde verdiğim bilgileri, verileri akademik ve bilimsel etik ilke ve kurallara uygun olarak elde ettiğimi; tez çalışmamda yararlandığım eserlerin tümüne atıf yaptığımı ve kaynak gösterdiğimi ve bilgi, belge ve sonuçları bilimsel etik ilke ve kurallara göre sunduğumu beyan ederim. 16/01/2023

Ufuk ÖZDEMİR
İmza

ÖZET

Eskişehir ili, , Beylikahır bölgesinde florit, barit ve NTE'i içeren kompleks bir cevher yatağı bulunmaktadır. Bu cevher yatağında nadir toprak elementlerinin kazanılması olanaklarının araştırılması amacıyla hazırlanan kompozit numuneler üzerinde zenginleştirme çalışmaları yapılmıştır. Çalışılacak numune tartılarak yaklaşık 120 kg olduğu tespit edilmiştir. Numune hazırlama işlemleri ile malzemenin hepsi -1 cm'ye indirilmiş ve 1 kg'lık temsili numuneler hazırlanmıştır. Hazırlanan numunelerin mineralojik ve kimyasal analizleri yapılmıştır. Yapılan kimyasal analiz sonuçlarına göre %27,24 $BaSO_4$, %28,05 CaF_2, %1,31 CeO_2, %0,87 La_2O_3, %0,21 Nd_2O_3, %0,084 ThO_2 ve %0,001 U_3O_8 olduğu tespit edilmiştir.

Cevherin genel özellikleri dikkate alındığında; zenginleştirme için, iş indeksi değerlerindeki ve mineral tane boyutlarındaki farklılıklar nedeniyle aşındırma (scrubbing) yönteminin ön zenginleştirme yapmak için kullanılabileceği öngörülmüştür. Deneylerde temsili -1 cm tane boyundaki numunelere, %75 palp yoğunluğunda 1000-1500-2000-2500 dev/dak karıştırma hızlarında 5-10-15 dak boyunca aşındırma testleri yapılmıştır. Aşındırılmış numuneler yaş eleme ile fraksiyonlara ayrılarak tenör ve verim dağılımları belirlenmiştir. Buradan elde edilen analiz sonuçlarına göre nadir toprak oksitlerinin en yüksek verim olan 2000 dev/dak karıştırma hızı ve 15 dak aşındırma koşulunun uygulanmasına karar verilmiştir. Bu çalışma kapsamında (aşındırma) işlemi sonrası -10 µm tane boyutu çalışılmıştır. Aşındırma testlerinden sonra karar verilen 2000 dev/dak karıştırma hızında -10 µm tane boyunda flotasyon numunesi hazırlanması yapılmıştır. Flotasyon numunesi hazırlığı sonrası toplayıcı, bastırıcıların verim ve tenör üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Barit ve floritin bastırılması ve nadir toprak oksitlerinin yüzdürülmesi için farklı bastırıcılar ve bastırıcı dozajları test edilmiştir. Yapılan deneyler sonucunda bu şekilde NTE mineralleri yüzdürülememiştir. Bu nedenle baritin yüzdürülmesi ardından florit ve nadir toprak minerallerinin birbirinden ayrılması yöntemi uygulanmıştır. En iyi koşulda, 1000 g/t Na-silikat, 600 g/t sitrik asit ve toplayıcı olarak A-845 kullanarak barit yüzdürülmüştür. 3 kademe temizleme sonunda %93,69 tenörlü $BaSO_4$ %57,01 verimle alınmıştır. Atıkta kalan florit ve NTE mineralleri için yapılan deneylerde ayrım olmamıştır.

Anahtar Kelimeler: Flotasyon, Aşındırma, Nadir Toprak Elementi

SUMMARY

There is a complex ore deposit containing fluorite, barite, and REE in Eskişehir province, Sivrihisar district, Beylikahır region. Enrichment studies were carried out on the composite samples prepared in order to investigate the possibilities of recovering rare earth elements in this ore deposit.The sample to be studied was weighed and determined to be approximately 120 kg. With the sample preparation processes, all of the material was crushed to -1 cm and representative samples of 1 kg were prepared. Mineralogical and chemical analyzes of the prepared samples were made. According to the results of the chemical analysis, it was determined that 27.24% $BaSO_4$, 28.05% CaF_2, 1.31% CeO_2, 0.87% La_2O_3, 0.21% Nd_2O_3, 0.084% ThO_2 and 0.001% U_3O_8.

Considering the general characteristics of the ore, for enrichment, it was predicted that the scrubbing method could be used for pre-enrichment due to the differences in work index values and mineral grain sizes. In the experiments, abrasion tests were carried out on representative -1 cm grain size samples at 75% pulp density at 1000, 1500, 2000, and 2500 rpm mixing speeds for 5, 10, and 15 minutes. Grade and yield distributions were determined by separating the abraded samples into fractions by wet sieving. According to the analysis results of the samples obtained from these experiments, it was decided to apply the 2000 rpm stirring speed and 15 min abrasion condition corresponding to the highest yield of rare earth oxides.In the scope of this study, a -10 µm grain size was studied after the scrubbing. After the abrasion tests, the flotation sample was prepared with a particle size of -10 µm at the mixing speed of 2000 rpm. After flotation sample preparation, the effects of collectors and suppressors on yield and grade were investigated. For the depression of barite and fluorite and for the flotation of rare earth oxides, different depressants and their dosages were tested. Because of the experiments, REE minerals could not be floated. For this reason, after the flotation of barite, the method of separating fluorite and rare earth minerals from each other was applied. In the best condition, barite was floated using 1000 g/t Na-silicate, 600 g/t citric acid, and A-845 as the collector. After three stages of cleaning, $BaSO_4$ with 93.69% grade was obtained with 57.01% efficiency. There was no discrimination in the experiments for fluorite and REE minerals remaining in the waste.

Keywords: Rare earth Elements, flotation, scrubbing

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET vi
SUMMARY vii
TEŞEKKÜR viii
İÇİNDEKİLER ix
ŞEKİLLER DİZİNİ xiii
ÇİZELGELER DİZİNİ xiv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ xvii
1. GİRİŞ VE AMAÇ 1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI 4
2.1. Barit 4
2.1.1. Baritin oluşum şekilleri 5
2.1.1.1. Hidrotermal filonlar 5
2.1.1.2. Stratiform yataklar 6
2.1.1.3. Kalıntı yataklar 7
2.1.2. Baritin Dünya ve Türkiye'deki üretim bilgileri 8
2.1.3. Baritin kullanım alanları 9
2.1.3.1. Sondaj sanayi 12
2.1.3.2. Kimya sanayi 12
2.1.3.3. Dolgu ve katkı maddesi olarak kullanım 13
2.1.3.4. Boya sanayi 13
2.1.3.5. Kağıt sanayi 13
2.1.3.6. Plastik ve lastik imalatı 14
2.1.3.7. Sürtünme maddesi imalatı 14
2.1.3.8. Cam endüstrisi 14
2.1.3.9. Seramik endüstrisi 15
2.1.3.10. Radyasyona karşı barit 15
2.1.4. Baritin Türkiye ve Dünya'daki rezervi 16
2.1.5. Barit cevherinin zenginleştirilmesi 18
2.1.5.1. Elle ayıklama ile zenginleştirme 18
2.1.5.2. Gravite ile zenginleştirme 19
2.1.5.3. Flotasyon ile zenginleştirme 19

İÇİNDEKİLER (devam)

Sayfa

2.2. Fluorit 22
2.2.1. Fluoritin oluşumu 24
2.2.1.1. Pegmatit-Pnömatojen florit yataklar 24
2.2.1.2. Hidrotermal yataklar 25
2.2.1.3. Sedimanter yataklar 25
2.2.2. Fluoritin Dünya ve Türkiye'deki üretim bilgileri 26
2.2.3. Fluoritin kullanım alanları 27
2.2.4. Fluoritin Türkiye ve Dünya'daki rezervi 31
2.2.5. Fluorit cevherinin zenginleştirilmesi 33
2.2.5.1. Yıkama, dağıtma ve boyuta göre sınıflandırma ile zenginleştirme 33
2.2.5.2. Gravite ile zenginleştirme 33
2.2.5.3. Flotasyon ile Zenginleştirme 34
3. NADİR TOPRAK ELEMENTLERİ 38
3.1. Nadir Toprak Elementinin Özellikleri 42
3.2. Nadir Toprak Elementlerinin Doğada Bulunuşu ve Önemli Yataklar 44
3.3. Nadir Toprak Elementlerinin Kullanım Alanları 47
3.4. Nadir Toprak Elementlerinin Üretim Akış Şemaları 54
3.4.1. Molycorp – Mountain Pass, Kaliforniya, ABD 55
3.4.2. Baotou, Bayan Obo, Çin 56
3.4.3. Lynas, Mount Weld, Batı Avustralya 56
3.4.4. Indian Rare-Earth Limited 56
3.5. Nadir Toprak Elementleri ve Bileşikleri Eldesi Yöntemleri 58
3.5.1. Fiziksel Zenginleştirme Yöntemleri 61
3.5.2. Fiziko-Kimyasal Zenginleştirme Yöntemleri 61
3.5.3. Kimyasal Zenginleştirme Yöntemleri 63
3.6. Nadir Toprak Elementi Flotasyonunda Kullanılan Reaktifler 66
3.6.1. Toplayıcılar 66
3.6.1.1. Hidroksamik Asitler 66
3.6.1.2. Karboksilatlar 77
3.6.1.3. Fosforik Asitler 84
3.6.1.4. Diğer Toplayıcılar 86
3.6.2. Pülp/ Yüzey Modifiye Edici Faktörler 89

İÇİNDEKİLER (devam)

Sayfa

3.6.2.1. Sodyum Karbonat 89
3.6.2.2. Sitrik Asit 90
3.6.2.3. Etilen Diamin Tetra Asetik Asit (EDTA) 90
3.6.2.4. Sodyum Poliakrilat 90
3.6.3. Bastırıcılar 91
3.6.3.1. Sodyum Silikat 91
3.6.3.2. Lignin Sülfonat 91
3.6.3.3. Sodyum Florosilikat 92
3.6.3.4. Sodyum Florür 92
3.6.3.5. Sodyum Sülfid 92
3.6.3.6. Sodyum Heksametafosfat 93
3.6.3.7. Nişastalar 93
3.6.3.8. Amilopektin 93
3.6.3.9. Quebracho 94
3.6.3.10. Guar Gam 94
3.6.3.11. Silika Jel 94
3.6.4. Canlandırıcılar 95
3.6.4.1. Metal Canlandırıcılar 95
3.6.4.2. Sodyum Oksalat/ Oksalik Asit 96
3.7. Cevher Yatağı Hakkında Genel Bilgiler 97
4. MATERYAL VE YÖNTEM 100
4.1. Materyal 101
4.1.1. Numune Hazırlama 102
4.1.2. Kimyasal analizler 105
4.1.3. Minerolojik analizler 106
4.1.4. Yoğunluk test analizi 121
4.2. Yöntem 121
4.2.1. Aşındırma çalışmaları 121
4.2.1. Flotasyon deneyleri 123
5. BULGULAR VE TARTIŞMA 124
5.1. Aşındırma (Scrubbing) Deneyleri 124
5.2. Flotasyon Deneyleri 139

İÇİNDEKİLER (devam)

Sayfa

5.3. Barit ve Floritin Bastırılması ve Nadir Toprak Oksitlerinin Flotasyonu 139
5.3.1. Farklı Bastırıcı Türleri ve Dozajlarının Etkisi 139
5.3.1.1. Na-Silikat dozajının etkisi 140
5.3.1.2. Silika jel dozajının etkisi..... 144
5.3.1.3. Sodyum heksametafosfat bastırıcı ile yapılan deneyin etkisi 148
5.3.1.4. AWG, Dextrin ve Tannik asit bastırıcıları ile yapılan deney 150
5.3.1.5. Dextrin bastırıcısı ile yapılan deneyler 152
5.3.1.6. Lignosülfanat ile yapılan deney..... 155
5.3.2. Toplayıcılar ve Dozajlarının Etkisi..... 157
5.3.2.1. Aero 6493 toplayıcısı ile yapılan deneyler 157
5.3.2.2. S-9849 toplayıcı ile yapılan deneyler 161
5.4. Baritin Yüzdürülmesi Ardından Florit ve Nadir Toprak Minerallerinin Birbirinden Ayrılması 163
5.4.1. Toplayıcı Etkisi..... 163
5.4.2. Bastırıcı Etkisi..... 171
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER 175
KAYNAKLAR DİZİNİ..... 177

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil **Sayfa**

2.1. Barit Cevheri 5
2.2. Baritin Dünya'daki rezerv grafiği 16
2.3. Fluoritin Yüzey Yapısı (111) Yüzeyi 22
2.4. Fluoritin Kristal Yapısı 22
2.5. Takıda kullanılmak üzere işlenmiş florit örnekleri 27
2.6. Floritin takıda kullanımı 27
2.7. Floritin süs eşyası yapımında kullanımı 28
2.8. Hidroflorik asit üretim süreci 30
3.1. Periyodik Tablo 39
3.2. NTE Kullanım alanları yüzdesi 48
3.3. Nadir toprak elementlerinin farklı ülkeler bazında kullanımı 53
3.4. Molycorp, Mountain Pass üretim şeması 55
3.5. Bayan Obo konsantre üretimi 56
3.6. Indian Rare Earths şirketinin monazitten NTE üretim akış şeması 57
3.7. Nadir Toprak Elementleri 58
3.8. Beylikahır kompleks cevher yatağı çalışma mevkii haritası 99
4.1. Teknolojik çalışmalar için numune hazırlama akım şeması 100
4.2. Sahadan getirilen cevher numunesi 101
4.3. Orjinal boyutta elek analizi çalışmaları 102
4.4. Kırma karıştırma ve eleme çalışmaları 102
4.5. Numune bölme çalışmaları 103
4.6. Flotasyon için hazırlanmış numuneler 103
4.7. Th-Parisit mineralinin kenetlilik durumu 118
4.8. İnce boyutta topaklanmanın BSED ve MLA görüntüsü 119
4.9. Fraksiyonel MLA görüntüsü 120
4.10. Aşındırma (scrubbing) deney düzeneği 122
4.11. Flotasyon hücresi 123
5.1. Aşındırma deneyleri sonucunda CeO_2 zaman dağılımı grafiği 124
5.2. Aşındırma deneyleri sonucunda La_2O_3 zaman dağılımı grafiği 125
5.3. Aşındırma deneyleri sonucunda Nd_2O_3 zaman dağılımı grafiği 125
5.4. Aşındırma deneyleri sonucunda ThO_2 zaman dağılımı grafiği 126
5.5. Aşındırma deneyleri sonucunda Pr_6O_{11} zaman dağılımı grafiği 126

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge **Sayfa**

2.1. Dünya Barit üretim miktarları (t) (USGS, 2022) 8
2.2. Türkiye Barit üretim bilgileri (t) (MAPEG) 9
2.3. Barit kullanım alanlarına göre özellikleri (Yıldız, 2014) 11
2.4. Sondaj sanayinde kullanılacak baritin özellikleri 12
2.5. Kimya sanayinde kullanılabilecek baritin özellikleri 13
2.6. Cam endüstrisinde kullanılacak baritin özellikleri 15
2.7. Dünya'da barit rezervi 16
2.8. Türkiye Barit Rezervleri (MTA Genel Müdürlüğü) 17
2.9. Baritin zenginleştirilmesinde uygulanan yöntem 18
2.10. Barit flotasyonu optimal koşullar 20
2.11. Önceden yapılmış çalışmalara ait barit flotasyonu koşulları 21
2.12. Önceden yapılmış çalışmalara ait barit flotasyonu koşulları 21
2.13. Dünya Florit üretim bilgileri (t) (USGS, 2022) 26
2.14. Türkiye Florit üretim bilgileri (MAPEG) 26
2.15. Değişik amaçlı kullanılan CaF_2'nin özellikleri 29
2.16. Dünya florit rezervleri (USGS, 2022) 31
2.17. Türkiye florit rezervleri (MTA Genel Müdürlüğü) 32
3.1. NTE minerallerinin kimyasal özellikleri ve NTO yüzdesi 41
3.2. Nadir toprak elementlerinin fiziksel, kimyasal ve termal özellikleri 42
3.3. Ticari Öneme Sahip Nadir Toprak Elementleri Mineralleri ve NTO (%) İçerikleri 46
3.4. Dünya Nadir Toprak Elementleri Rezervleri ve Cevher Üretimi 47
3.5. 2012 yılında NTE'nin kullanım miktarları 49
3.6. Nadir toprak elementlerinin kullanım alanları 49
3.7. Nadir toprak elementlerinin sektör bazda kullanım yerleri 51
3.8. NTE üreten şirketler ve işletme modelleri 54
3.9 Hidroksamat toplayıcılar kullanarak basnazit üzerinde yapılan flotasyon çalışmaları özeti 72
3.10. Hidroksamat toplayıcı kullanarak monazit mineralinin tekli flotasyon çalışması özeti 73
3.11. Hidroksamar toplayıcılar kullanarak, tek mineral nadir toprak metali flotasyonu çalışması özeti 74
3.12. Hidroksimat toplayıcıları kullanılarak basnazit ve monazit flotasyonu özeti 75
3.13. Hidroksimat toplayıcı kullanarak yapılan nadir toprak metali flotasyonu özeti 76
3.14. Karboksilat toplayıcıları kullanılarak tek bir mineral flotasyon çalışmalarının özeti 81
3.15. Karboksilat toplayıcıları kullanarak bastnazit, monazit ve ksenotim cevheri flotasyon çalışmalarının özeti 82
3.16. Karboksilat toplayıcıları kullanan diğer REM cevheri flotasyon çalışmalarının özeti 84
3.17. Fosforik asit bazlı toplayıcılar kullanılarak mineral flotasyon çalışmaları 85
3.18. Fosforik asit bazlı toplayıcılar kullanılarak REM cevher flotasyon çalışmaları 86
3.19. Diğer toplayıcılar kullanılarak yapılan mineral flotasyon çalışmalarının özeti 88

ÇİZELGELER DİZİNİ (devam)

Çizelge **Sayfa**

3.20. Diğer toplayıcıları kullanan NTE cevheri flotasyon çalışmalarının özeti 89
4.1. Konik kırıcı çıkışı yaş elek analizi..... 104
4.2. Giriş numunesi kimyasal analiz ve satmagan sonuçları 105
4.3. Kompleks cevher içerisinde saptanan mineraller 108
4.4.+500 µm fraksiyonu mineral-element birlikteliği..... 109
4.5.-500+350 µm fraksiyonu mineral-element birlikteliği 109
4.6. -350+150 µm fraksiyonu mineral-element birlikteliği 110
4.7. -150+75 µm fraksiyonu mineral-element birlikteliği 110
4.8. -75+38 µm fraksiyonu mineral-element birlikteliği 111
4.9. -38+20 µm fraksiyonu mineral-element birlikteliği 111
4.10. -20+10 µm fraksiyonu mineral-element birlikteliği 112
4.11. -10 µm fraksiyonu mineral-element birlikteliği 112
4.12. Giriş cevheri serbestleşme tane boyutu aralıkları..... 113
4.13. Fluorit minerali ikili bağlı mineral durumu 113
4.14. Fluorit minerali üçlü bağlı mineral durumu..... 114
4.15. Barit minerali ikili bağlı mineral durumu 114
4.16. Barit minerali üçlü bağlı mineral durumu..... 115
4.17. Th Parisit minerali ikili bağlı mineral durumu 115
4.18. Th Parisit minerali üçlü bağlı mineral durumu..... 116
5.1.-1 cm ye kırılmış cevhere ait 1000 dev/dak ve 5 dk aşındırma testi sonuçları..... 127
5.2.-1 cm ye kırılmış cevhere ait 1000 dev/dak ve 10 dk aşındırma testi sonuçları..... 128
5.3.-1 cm ye kırılmış cevhere ait 1000 dev/dak ve 15 dk aşındırma testi sonuçları..... 129
5.4.-1 cm ye kırılmış cevhere ait 1500 dev/dak ve 5 dk aşındırma testi sonuçları..... 130
5.5.-1 cm ye kırılmış cevhere ait 1500 dev/dak ve 10 dk aşındırma testi sonuçları..... 131
5.6.-1 cm ye kırılmış cevhere ait 1500 dev/dak ve 15 dk aşındırma testi sonuçları..... 132
5.7.-1 cm ye kırılmış cevhere ait 2000 dev/dak ve 5 dk aşındırma testi sonuçları..... 133
5.8.-1 cm ye kırılmış cevhere ait 2000 dev/dak ve 10 dk aşındırma testi sonuçları..... 134
5.9.-1 cm ye kırılmış cevhere ait 2000 dev/dak ve 15 dk aşındırma testi sonuçları..... 135
5.10.-1 cm ye kırılmış cevhere ait 2500 dev/dak ve 5 dk aşındırma testi sonuçları..... 136
5.11.-1 cm ye kırılmış cevhere ait 2500 dev/dak ve 10 dk aşındırma testi sonuçları... 137
5.12.-1 cm ye kırılmış cevhere ait 2500 dev/dak ve 15 dk aşındırma testi sonuçları... 138
5.13. -10 µm numuneye ait kimyasal analiz sonucu..... 139
5.14. Sodyum Silikat ile yapılan deney koşulları 140
5.15. Sodyum silikat ile yapılan deney sonuçları 141
5.16. Silika Jel ile yapılan deney koşulları 144
5.17. Silika Jel ile yapılan deney sonuçları..... 145
5.18. Sodyum heksametafosfat ile yapılan deney koşulları..... 148
5.19. Sodyum heksametafosfat ile yapılan deney sonuçları 149
5.20. AWG, Dextrin ve tannik asit ile yapılan deney koşulları..... 150
5.21. AWG, Dextrin ve tannik asit ile yapılan deney sonuçları 151
5.22. Dextrin ile yapılan deney koşulları..... 152
5.23. Doğal pH ve pH 9,5'te dextrin ile yapılan deney sonuçları..... 153

ÇİZELGELER DİZİNİ (devam)

Çizelge **Sayfa**

5.24. Lignosülfanat ile yapılan deney koşulları 155
5.25. Lignosülfanat ile yapılan deney sonuçları 156
5.26. 250 g/t, 500 g/t ve 1000 g/t A-6493 toplayıcı ile yapılan deney koşulları 157
5.27. 250 g/t, 500 g/t ve 1000 g/t A-6493 toplayıcı ile yapılan deney sonuçları..... 159
5.28. 500 g/t ve 1000 g/t S-9849 toplayıcı ile yapılan deney koşulları 161
5.29. 500 g/t ve 1000 g/t S-9849 toplayıcı ile yapılan deney sonuçları..... 162
5.30. Farklı toplayıcılar ile yapılan deney koşulları 163
5.31. Farklı toplayıcılar ile yapılan deney sonuçları..... 165
5.32. En iyi koşulda (A-845) barit kaba konsantre tenör ve verim dağılımları 168
5.33. A-825 toplayıcı ile yapılan barit kaba konsantre tenör ve verim dağılımları 168
5.34. A-8257 toplayıcı ile yapılan barit kaba konsantre tenör ve verim dağılımları 169
5.35. Na-oleat toplayıcı ile yapılan barit kaba konsantre tenör ve verim dağılımları... 169
5.36. Sodyum dodesil sülfat toplayıcı ile yapılan barit kaba konsantre tenör ve verim dağılımları 170
5.37. Sitrik Asit ile Yapılan Flotasyon Deney Koşulları 171
5.38. Sitrik Asit İle Yapılan Flotasyon Deney sonuçları 172
5.39. EDTA ile Yapılan Deney Koşulları..... 173
5.40. EDTA ile Yapılan Deney Sonuçları 174

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler	Açıklama
%	Yüzde
°C	Derece
>	Büyüktür
<	Küçüktür
#	Meşh
µm	Mikrometre
cm	Santimetre
g	Gram
g/t	Gram/Ton
g/cm^3	Gram/Santimetreküp
km	Kilometre
kg/t	Kilogrram/Ton
pm	Pikometre
ppm	Milyonda bir
t	Ton

Kısaltmalar	Açıklama
a-NTE	Ağır Nadir Toprak Elementi
BHA	Benzo Hidroksamik Asit
BSE	Geri Saçınımlı Elektron
CMC	Karboksimetil Selüloz
EDS	Enerji Dağılımlı X-Işını Spektroskopisi
EDTA	Etilen Diamin Tetra Asetik Asit
h-NTE	Hafif Nadir Toprak Elementi
IX	İyon değişim polimeri
MLA	Mineral Serbestleşme Analizi
MRI	Manyetik Rezonans Görüntüleme
MTA	Maden Tetkik ve Arama
NTE	Nadir Toprak Elementi
NTO	Nadir Toprak Oksit
SEM	Taramalı elektron Mikroskobu
SX	Solvent Ekstraksiyonu
TBP	Tri Bütil Fosfat

1. GİRİŞ VE AMAÇ

Yirminci yüzyıldaki hızlı sanayileşmeyi sağlayan teknolojik gelişime bağlı olarak metal gereksinimi artmakta ve yüksek tenörlü kolay işletilebilir cevher rezervleri azalmaktadır. Bu nedenle, gereksinim duyulan hammaddeleri karşılamak için düşük tenörlü yatakların ekonomik olarak değerlendirilmesine yönelik teknolojiler geliştirilmektedir. Diğer taraftan, yüksek tenörlü olmakla birlikte kompleks cevherlerin işlenmesi oldukça karmaşık prosesler gerektirdiğinden, çoğu kez ekonomik olarak değerlendirilememektedir. Ancak, elde edilen ürünlerin çok değerli olması durumunda bu tür cevherler için pahalı ve karmaşık prosesler kullanımı yoluna gidilmektedir.

Nadir Toprak Elementleri, günümüzde ileri teknolojinin, savunma sanayinin ve yeşil enerji üretiminin önemli hammaddeleri arasındadır. Kullanıldıkları ürünlerin kararlılığını, yüksek sıcaklık ve korozyona karşı dirençlerini artırmaktadır. Günlük hayatta kullandığımız cep telefonlarında, bilgisayarlarda, düz ekran televizyonlarda, modern tıp uygulamalarında, otomobillerin katalitik konvertörlerinde, uçak motorlarında, cam ve seramik üretiminde, petrolün rafine edilmesinde ve daha birçok üretimde bu elementler kullanılmaktadır.

Dünya barit üretiminin %85-90'ı petrol sondajlarında sondaj çamuru ağırlık maddesi, geriye kalanı baryum kimyasalları üretiminde ve dolgu endüstrilerinde kullanılır. Barit boya, kâğıt, plastik, kauçuk, cam, seramik ve sürtünme elemanları endüstrilerinde hem maliyet azaltıcı hem de fonksiyonel dolgu maddesi olarak kullanılmaktadır. Ülkemizde çok sayıda barit cevheri yatağı bulunmaktadır.

Fluorit başlıca demir-çelik; alüminyum, seramik sanayiinde sır yapımında, cam sanayiinde beyaz ve renkli opal cam imalinde, portland çimentosu imalinde klinker elde etmek amacıyla, soba, buzdolabı ve pişirme araçlarının çelik kısımlarının kaplanmasında, suni kauçuk ve aerosol üretiminde olmak üzere birçok sanayi dalında kullanıldığı gibi elektrod kaplamalarında rutil yerine ikame madde olarak da kullanılmaktadır. Dünya fluorit üretiminin yaklaşık %55-60'ı demir-çelik sanayiinde, %20-25'i kimya sanayiinde, %15'i alüminyum sanayiinde ve %5'i de diğer sanayii dallarında tüketilmektedir.

Avrupa Komisyonu tarafından ilki 2011, ikinci ve üçüncüsü 2014 ve 2017 yıllarında yayınlanan ve Avrupa ekonomisi için hayati önem taşıyan hammaddelerin listesinin verildiği Kritik Hammaddeler raporlarında nadir toprak elementleri (NTE) sürekli yer almaktadır. Hazırlanan raporlarda, gündelik hayatta ve ileri teknolojik uygulamalarda kullanılan, geniş ölçekli ürün ve uygulamaları üreten güçlü bir ekonomi için, güvenilir ve engelsiz erişime sahip hammaddelerin gerekliliğine vurgu yapılmıştır.

Dünya genelinde rüzgar, enerji sistemlerinin ve elektrikle çalışan arabaların yaygınlaşması nedeni ile Nd başta olmak üzere Pr, La, Ce metalleri ve bileşiklerinin tüketimlerinin de artacağı öngörülmüştür. 2020 yılında NTE talebinin 160.000 ton olması tahmin edilmektedir. 2020-2030 yılları arasında da NTE talebinin yıllık ortalama % 3,9 oranında artacağı öngörülmüştür (MTA, 2019). Avrupa Komisyonunun 2017 yılında yayınladığı Kritik Hammaddeler raporunda, Dünyada Birincil kaynaklardan NTE üretiminin % 95'i Çin tarafından yapıldığı belirtilmiştir. Ayrıca raporda Avrupa Birliğinin yıllık NTE talebinin tamamının ithalata dayandığı; NTE'nin ikame endeksinin 0,89-0,96 arasında olduğu (0 en çok ikame edilebilir 1 en az ikame edilebilir) ve ikame edilemediği; geri dönüşüm oranının ise % 3-8 değerleri arasında bulunduğu belirtilmiştir (MTA, 2019). NTE üretiminin ana kaynağının birincil hammadde dediğimiz cevherlerden kaynaklandığı görülmektedir. Dünyada NTE içerikli rezervlerin toplamı 120 milyon metrik ton olarak belirtilmiştir (MTA,2019) . Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü'nün yapmış olduğu araştırmalar sonucunda, ülkemizde Eskişehir bölgesinde 953.000 metrik ton NT oksit rezervinin bulunduğu tespit edilmiştir. Bu cevher sahasının işletilmesi ve NTE içerikli ürünlerin eldesi ile ülkemizin ve Avrupa Birliğinin taleplerine, ülkemizden arz imkanı sağlanabilecektir.

MTA Genel Müdürlüğü'nün arazi çalışmaları sonucu bulunan ve rezerv çalışmaları tamamlanmış olan Eskişehir Sivrihisar-Kızılcaören Köyü civarındaki kompleks cevher yatağı nadir toprak elementleri, florit, barit ve toryum içermektedir. Yatak, nadir toprak elementleri rezervi yönüyle dünyanın önemli yataklarından biridir. Ayrıca, endüstrinin çeşitli alanlarında tüketilen florit, barit ve toryum varlığıda yatağa ayn bir değer kazandırmaktadır.

Bu çalışmada, nadir toprak elementleri (NTE), florit, bariti içeren kompleks cevherden, fiziko-kimyasal yöntem olan flotasyon ile NTE minerallerinin kazanılması amaçlanmıştır. Söz konusu cevherleşme ile ilgili olarak daha önce MTA Genel Müdürlüğü, diğer kurum ve üniversiteler tarafından birçok araştırma yapılmıştır (MTA, 2019). Ancak ince tane boyutunda serbestleşen NTE'nin flotasyonuna yönelik herhangi bir çalışma yapılmamıştır. Bu projede, ince tane boyutunda ekonomik değer ihtiva eden bütün minerallerin flotasyon yöntemiyle birbirinden ayrılması ve nadir toprak oksit açısından yüksek tenörlü bir ön konsantre üretimi amaçlanmıştır.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

2.1. Barit

Doğal bir baryum sülfat bileşimine sahip olan barit minerali uzun zamanlardan bu yana özgül ağırlığının yüksek olması nedeni ile insanlığın dikkatini çekmiş ve ağır spat adı ile anılmaktadır (Ayan M. 1979). Barit ismini Yunancada ağır anlamına gelen Barus kelimesinden türemiştir. Barit sanayisi, 19. yüzyılda Amerika Birleşik Devletleri'nde başlamış olup, 1845 yılında boya sanayiinde kullanılmak üzere ilk barit üretimi yapılmıştır. 1908 yılında sondaj çamurunda kullanılmasıyla üretim ve tüketimde önemli artışlar başlamıştır (DPT, 2001).

Ülkemizde barit madenciliği 1964 yılından sonra gelişme göstermiştir. Baritin kullanım alanları, sondajlık, dolguluk ve kimyasal olarak üç gurupta toplanmaktadır. Türkiye'nin sondaj bariti dışında bazı özel boyalar için, baryum karbonat, baryum nitrat, baryum borat gibi türevlerini de üretmesi gerekmektedir (DPT, 2001).

Baryumun (Ba) sülfatla yaptığı (SO_4) bileşikle oluşan yeryüzündeki en yaygın ve en bilinen "Baryum" mineralidir. Baritin sertliği 2,5-3,5 olup özgül ağırlığı 4,3-4,6 arasında değişmekte, erime noktası 1580 °C'dir. Kimyasal bileşimi $BaSO_4$ şeklinde olup, %65,70 BaO, %34,30 SO_3 içerir. Baryum oranı ise %58,80'dir (Ayan M. 1979).

Barit ortorombik kristal sisteminin dipramidal sınıfında kristalleşir. Dilinimi üç yönlüdür. Genelde beyazdır. İçerdiği diğer maddelerden dolayı çeşitli renklerde görülebilir. İçerisinde demirin bulunması durumunda; kırmızı, kahverengi, sarı, karbonlu maddelerin bulunmasında ise siyah, sarı ve mavi renklerini alabilir. Nadir olarak beyaz ve saydam olabilir. Rengi, ısıtıldığında veya güneş gördüğünde soluklaşır (Ayan M. 1979).

Dünyada ve ülkemizde barit üretimi yeraltı işletmesi olarak yapıldığı gibi yerüstü işletmesi olarak da yapılmaktadır. Barit öğütme tesislerinde mikronize barit üretimi, genellikle sarkaç toplu veya döner tablalı değirmenlerde öğütülüp, çeşitli seperatörlerden ve filtrelerden geçirildikten sonra boyut tasnifi yapılarak üretilmektedir. Dünyada barit öğütme tesislerinde genellikle aynı teknoloji kullanılmaktadır (DPT, 2001).

Barit cevheri bakır, kurşun, çinko, nikel ve gümüş yataklarında, kalsit, kuvars, fluorit, dolomit ve siderit ile birlikte bulunur. Baritin kimyasal formülü $BaSO_4$ olup Şekil 2.1'de yarı şeffaf, ince-kalın levhamsı kristalli, kısa- uzun prizmatik formlarda bulunmaktadır (Dika, 2010).



Şekil 2.1. Barit Cevheri

2.1.1. Baritin oluşum şekilleri

Baryum doğada oldukça bol bulunan elementtir. Yerkabuğundaki ortalama tenörü %0,45'tir. Barit yatakları doğada bulunuş şekillerine göre sınıflandırılır ve başlıca 3 tip yataklanma gösterirler (Dolak 2015).

1. Hidrotermal filonlar
2. Stratiform yataklar
3. Kalıntı yataklar

2.1.1.1. Hidrotermal filonlar

Bu yataklar hidrotermal olarak fay boyunca, çatlak boşluklarında ve breş zonlarında, filonlar, damarlar şeklinde oluşmuşlardır. Düşük sıcaklıkta oluşan epitermal filon şeklindeki barit yataklanmalarına çok yaygın olarak rastlanmaktadır, Metasomatik yataklar da bu grup içine girerler. Hidrotermal Kurşun- Çinko yataklarında gangı oluşturan barit birçok yerde filonun büyük kısmını işgal eder ve yapıdaki diğer sülfürlü mineraller az bir hacim tutar. Bu

tip yataklarda barit bir miktar kuvars, fluorit, kalsit ile daha seyrek olarak da dolomit, selestit ve siderit ile birlikte bulunur (Dolak 2015).

En çok görülen filonlar;

- Fluoritli barit filonları
- Kurşunlu barit filonlarıdır.

Kuvars baritle birlikte bulunur ve biri diğerinin yerinin alabilir. Genellikle derinlere doğru kuvars baritin yerini almaktadır. Kurşun minerali genellikle galendir.

- Kobaltlı barit filonları: Kobalt barit içerisinde yüksek oranda bulunur. Bu tür filonlarda gümüş kobalt arasına yayılmış olarak gözlenebilir.
- Bakırlı barit filonları: Bu yataklarda bazı durumlarda kuvars baritin yerini alır. Bakır genellikle kalkopirit şeklindedir. Sementasyon zonunda bakır miktarının artmasıyla barit azalma gösterebilmektedir.
- Antimonitli (Stibnitli) barit filonları: Doğada nadir olarak görülür stibnit genelde kuvars ile beraber bulunmaktadır. Bazen baritle beraber de bulunabilmektedir.
- Manganlı barit filonları: Mangan genellikle psilomelan şeklinde bulunmaktadır. Baryum ve mangan genellikle beraber bulunur.

Bilinen tipik hidrotermal barit yatağı olan Kurteisi (Geogia-Amerika Birleşik Devletleri)'de tenör yer yer %96'nın üzerine çıkmaktadır (Kuzvart, 1984). Ülkemizde Hidrotermal barit oluşumları: Çiftehan'da (Baş ve Temur,1992); Konya'nın Hüyük ilçesi (Ayhan, 1987; Cengiz ve Kuşçu, 2002) civarında yer almaktadır.

2.1.1.2. Stratiform yataklar

Değişik zamanlarda alt sedimanter formasyonlar içinde stratifiye kütleler şeklinde oluşan barit yatakları özellikle kalker ve dolomitler içinde yer alırlar. Bu tip yataklar geniş alanları kaplaması, bazen 10 metre kadar kalınlık göstermeleri ve açık işletmeye müsait olmaları bakımından ekonomik yönden oldukça önemlidirler. Bu tür yataklarda en önemli zararlı madde baritin içinde bulunan ince taneli kuvars olup cevher bundan başka bir miktar da organik madde içermektedir (Dolak, 2015).

Barit genellikle zengin kütleler, masif ve kaba taneli bir yapı sunmaktadır. Sedimantasyon ile eş zamanlı olarak genelde denizel havzalarda baryum ve sülfata doygun süspansiyonlardan çökelerek kimyasal ve diyajenetik olarak oluşur. Böylelikle kırıntılı ve kimyasal tortullar ile beraber katmansı tabakalar oluşturur. Barit 'in yanında genellikle kuvars, çört ve sekonder demir oksit mineralleri görülmektedir. Bu tür yataklarda karbonat mineralleri de gözlenebilmektedir. Bunlar kalsit ($CaCO_3$), dolomit ($CaMg(CO_3)_2$), siderit ($FeCO_3$), stronsiyonit ($SrCO_3$), viterit ($BaCO_3$) gibi minerallerdir.

2.1.1.3. Kalıntı yataklar

Bu tip yataklar önceden oluşmuş barit yataklarının aşınması, bozuşması ve yeniden mobilize olması sonucu sedimanter kayaçlar arasında tekrar zenginleşmeleri sonucu oluşan barit yataklarıdır. Genellikle yaşlı kireçtaşları ve dolomitler içinde yataklanmışlardır.

Örnek olarak kolayca eriyen Ordovisiyen ve Kabmriyen yaşlı kireçtaşları ve dolomitler içinde barit, lifli ufalanmış kütleler olarak bulunur. Baritler genellikle beyaz, yarı saydam veya opak olup lifli, ince taneli yapı göstermektedir. Barit yanında pirit, galen, sfalerit, bazen çört ve jasperoid içermektedir. Bu yataklarda, barit tenörü %10-20 ile %50 arasında değişebilir.

Kalıntı barit yataklarında yer yer baritli, fluoritli, kalsitli ve kuvarslı dolgu damara, bazen pirite, kalkopirite, galene ve sfalerite rastlanır. Bu yatakların dışında, oluşumları bakımından bilimsel değeri olan, ancak ekonomik değeri olmayan küçük barit yatakları vardır. Büyüklük ve nitelik bakımından işletilmeye elverişli olmayan bu yataklar şöyle özetlenebilir:

a. Deniz hayvan kabuklarından oluşan küçük barit yatakları
b. Okyanus dibinde oluşan barit yumruları
c. Kumtaşlarının bağlayıcı maddesi olarak bulunan baritler
d. Şeyller arası dağılmış baritin oluşturduğu yataklar
e. Şeyl ve kumtaşları arasında görülen oolitik, pizolitik ve rozet biçimli baritin oluşturduğu yataklardır.

Mevcut barit yataklarının veya içinde bir miktar barit bulunan kayaçların yıkanması sonucu oluşan kalıntı tip barit yatakları geniş yayılma alanı göstermeleri ve açık işletmeye uygun olmaları bakımından ekonomik açıdan oldukça önemlidirler. Bu tip yataklarda baritin yanında kuvars, kalsit ile beraber sülfürler de bulunabilmektedir (Dolak, 2015).

2.1.2. Baritin Dünya ve Türkiye'deki üretim bilgileri

Barit cevherinin Dünya genelindeki üretim bilgileri Çizelge 2.1'de, Türkiye genelindeki üretim bilgileri Çizelge 2.2'de verilmiştir.

Çizelge 2.1. Dünya Barit üretim miktarları (t) (USGS, 2022)

Ülkeler	2018	2019	2020	2021
ABD	366 000	414 000	-	-
Çin	2 900 000	2 800 000	2 500 000	2 800 000
Hindistan	2 390 000	2 000 000	2 000 000	1 600 000
İran	490 000	200 000	200 000	200 000
Kazakistan	620 000	597 000	600 000	450 000
Laos	90 000	440 000	330 000	110 000
Meksika	380 000	384 000	280 000	320 000
Fas	940 000	1 100 000	800 000	1 100 000
Pakistan	110 000	110 000	110 000	50 000
Rusya	163 000	160 000	160 000	150 000
Türkiye	245 000	250 000	130 000	180 000
Diğer Ülkeler	482 000	418 000	340 000	370 000

Çizelge 2.2. Türkiye Barit üretim bilgileri (t) (MAPEG)

YIL	ÜRETİM (t)
2011	250.786
2012	1.677.221
2013	736.316
2014	203.984
2015	655.943
2016	321.239
2017	292.447
2018	465.138
2019	413.811
2020	283.160
2021	256.076

2.1.3. Baritin kullanım alanları

$BaCO_3$, $BaCl_2$ ve $Ba(NO_3)_2$ gibi Baryum bileşikleri doğal baritten üretilen önemli kimyasal malzemelerdir. Baryumun bu bileşenleri seramik ve cam sanayilerinde, sondaj çamuru bileşimi ve nano yapı malzemelerinde kullanılır (McKetta Jr. ve John, J. 1990).

Baritin yoğunluğunun yüksek, aşındırma özelliğinin düşük, yüksek basınç ve sıcaklıkta dengeli bir yapıya sahip olması, manyetik özelliğinin olmaması, maliyeti kullanımı için önemli bir özelliktir (Gündüz,1995).

Barit; sondaj çamuruna katkı malzemesi, yapıştırıcı, golf ve bowling topları gibi spor malzemeleri üretimi, halı ve benzeri malzemelerin arka yüzlerinin kaplanması, otomotiv boya malzemelerinin yapımı, kaplama, özellikli kağıt üretimi, ilaç endüstrisi, televizyon ve optik endüstrisinde, porselen emaye, tuğla üretimi, çelik malzemelerin sertleştirilmesi işlemleri, magnezyum üretimi, su arıtma işlemleri, ısıya dayanıklılığı nedeniyle metalürji endüstrisi petrol işleme tesisleri gibi geniş bir alanda kullanılmaktadır (Yıldız, 2014).

Dünyada üretilen baritin yaklaşık %85-90'ı sondaj çamurunda kullanılmaktadır. Barit, derin sondajlarda dipteki matkabın tabanda kestiği parçaların yüzeye taşınabilmesi için ilave edilmektedir. Sondaj çamuru içinde baritin homojen dağılması ve rahat askıda kalabilmeleri için 45 mikron boyutunun altında öğütülmüş olması çok önemlidir. Bunların yanı sıra en fazla 250 ppm Ca içermesi, siderit, dolomit ve benzeri karbonatlar ile jips ve mümkün olduğunca az içermesi istenmektedir. Bu safsızlıklar özellikle derin sondajlarda sıcaklık nedeni ile bozuşarak ya da kimyasal tepkimeye girerek sondaj çamurunun özelliklerini olumsuz yönde etkilememelidir (Gündüz, 1995).

1926 yılından sonra baritin petrol ve doğal gaz aramalarında kullanılmaya başlamasından itibaren barite olan istek artmıştır. Özellikle yoğunluğunun yüksek olması (4.45 g/cm^3), aşındırıcılığının düşük olması (Moh's 3-3.25), yüksek basınç ve ısıya karşı kararlı olması, manyetik özelliğinin bulunmaması, su ve asitlerde düşük çözünürlüğü ve fiyatının oldukça ucuz olması nedeniyle sondaj sektöründe sondaj çamuru olarak yaygın şekilde tüketilmesini sağlamaktadır (Cuillo 1996; Ayan 1979; Lekili 2002). Bugün ABD tüketiminin %80'i, tüm dünya tüketiminin ise %70'i bu sahada olmaktadır (Anonim 1976).

Barit radyoaktif ve x-ışınları radyasyonunu absorbe etme özelliğinden dolayı nükleer enerji santrallerin yapımında beton içerisinde dolgu maddesi olarak yer almaktadır (Anonim 1976).

Baritin plastik yer karoları, oto lastiği ve diğer lastik üretiminde dolgu maddesi olarak kullanımı ise genişlemektedir. Barit, kimyasal etkenlere karşı dayanıklı oluşu yüzünden malzemenin direncini arttırır ve birim hacimdeki kauçuk miktarını azaltarak maliyeti düşürür (Anonim 1976).

Baritin önemli kullanım alanlarından birisi de boya sanayisidir. Yağlı boya üretiminde beyazlatıcı pigment ve inceltici olarak kullanılır (Ayan 1979). Boya endüstrisi için ham barit 20 mikrona öğütüldükten ve içindeki yabancı maddelerden çeşitli kimyasal işlemler sonucu arındırıldıktan sonra kullanılır. Mikronize barit tanelerinin flokülasyon özelliğinin az oluşu, su veya yağ içinde kolayca dağılışı, asitlere, alkalilere, çözücülere olan direnci, ışık yayma ve beyaz renk verme özelliği onun boya endüstrisinde geniş çapta kullanımını sağlamaktadır (Anonim 1976).

Barit cam endüstrisinde mikronize halde cam eriyiğine katılarak kullanılır. Camın kolay işlenmesini ve parlaklığının artmasını sağlar (Anonim 1976).

Kimya endüstrisinde baryum içerikli kimyasallar yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu kimyasallar, barit mineralinin çeşitli kimyasal işlemlerden geçirilerek içindeki yabancı maddelerden arındırılmasıyla elde edilir. Saflaştırılmış sentetik baryum kimyasallarının üretiminde yaygın olarak black-ash metodu kullanılmaktadır (Jamshidi ve Ebrahim, 2008; Murthy ve Reddy, 2012).

Baryum sülfitten elde edilen sentetik barit vernik endüstrisinde, matbaa mürekkebi yapımında, renkli emaye, plastik ve melamin endüstrisinde, kaolen ile birlikte kâğıt endüstrisinde, fotoğrofik kâğıt yapımında, x-ışınları ve radyoaktif radyasyonu absorbe etme özelliğinden dolayı tıbbi amaçlarla kullanılmaktadır (Anonim 1976). Çizelge 2.3'te baritin kullanım alanına göre özellikleri gösterilmiştir.

Çizelge 2.3. Barit kullanım alanlarına göre özellikleri (Yıldız, 2014)

Özellikleri	Genel amaçlı	Toz kaplama	Plastik ve boya
$BaSO_4$ %	92-94	98	94-96
SiO_2 %	2,5-6,0	-	0,8-2,5
$SrSO_4$ %	0,4-1,5	-	-
Fe_2O_3 %	0,2-0,5	0,04	0,4-0,04
MgO %	0,03-0,05	-	-
CaO %	0,2-0,03	-	-
Al_2O_3 %	0,3-0,05	0,01	0,01-0,05
Kızdırma kaybı %	0,75	0,75	0,25-0,75
Boyut	<75µm		

2.1.3.1. Sondaj sanayi

Barit 1926 yılından beri gaz ve petrol sondajlarında kullanılan sondaj çamurunun temel maddesidir. Sondaj çamuru su, kil ve baritin karışımından oluşur. Barit, çamura ağırlık maddesi olarak katılır. Çamurun yoğunluğu 2,5 g/cm^3 olacak şekilde ayarlanır, matkap ucu soğutulur, sondaj kuyu duvarlarını sıvayarak çökmeyi önler. Dünya sondajlarında barit tüketimi 1982'de 6.250.000 ton olup üretimin %84'üdür. Az aşındırıcı ve ucuz olmasından dolayı daha fazla tercih edilmektedir. Sondajlarda barit alternatifi olarak kurşun tozu, demir tozu, hematit tozu, kalsit vb. gibi maddelerde kullanılabilmektedir.

Sondajlarda kullanılacak baritin özellikleri Çizelge 2.4'te verilmektedir.

Çizelge 2.4. Sondaj sanayinde kullanılacak baritin özellikleri

Yoğunluğu	4,2 g/cm^3
%$BaSO_4$	%90-94
Suda çözünebilir katı maddeler	%0,1'den az
Demir oksit	Çok az
Boyut	%90-95'i 44 mikrondan (325 mesh) az

2.1.3.2. Kimya sanayi

Baritin sondaj sanayisinden sonra en çok kullanıldığı alan kimya sanayisidir. Yılda 0,6 milyon ton üretilmektedir. Bu tüketim geçen yıllara göre bir düşüşü de göstermektedir. Alternatif olarak stronsiyum ve titan oksitin kullanılması bu tüketim azalmasına neden olmaktadır. Yüksek özgül ağırlığı, parlaklık özelliğini kaybetmemesi ve radyasyon emici özelliğinden dolayı kullanım alanlarını sürdürmektedir.

Barit kullanılarak kimya sanayinde de baryum kromat, baryum nitrat, baryum hidroksit, baryum siyanat üretilmektedir.

Kimyasal alanda kullanılabilecek baritin özellikleri Çizelge 2.5'te verilmektedir.

Çizelge 2.5. Kimya sanayinde kullanılabilecek baritin özellikleri

%$BaSO_4$	%95 ve fazlası
Demir oksit	%1'den az
Stronsiyum sülfat	%1'den az
Boyut	4-20 mikron
Silis	%1'den az

2.1.3.3. Dolgu ve katkı maddesi olarak kullanım

Barit sondaj sanayi dışında en çok dolgu ve katkı maddesi olarak kullanılmaktadır. Barit, beyaz pasta ve litoponun yoğunluğu, parlaklığı düşük özgül ağırlığı, aşındırmaya karşı dayanıklılığı ve radyasyon emiciliğinden dolayı dolgu ve katkı maddesi olarak kullanımı çok fazladır.

Dolgu amaçlı kullanılacak baritte $BaSO_4$> %95, Fe_2O_3<%0,05 ile diğer safsızlıklar toplamı %2'yi geçmemelidir. Ayrıca en fazla nem oranının %0,5 olması, suda çözülen madde oranının %0,2'den fazla olmaması istenmektedir (Yıldız, 2014).

2.1.3.4. Boya sanayi

Boya sanayisinde dolgu özelliği taşıyan barit ve tuzları daha çok tüketilir. Ev işlerinde badana tipi boyalarda beyazlaştırıcı pigment olarak, yağlı boyalarda inceltici olarak kullanılır. Yağlı boyalarda en uygun %15 veya daha azı katılır. Bu alanda kullanılacak barit; %94 $BaSO_4$, %0,05 den az Fe_2O_3, %0,02 suda eriyebilir madde, %0,5 nem, %2 yabancı madde içermelidir.

2.1.3.5. Kağıt sanayi

Barit, kağıt endüstrisinde dolgu maddesi olarak, beyaz pastanın imalatından önce seyrek olarak kullanılmaktaydı. Ancak beyaz pasta imalatıyla dolgu maddesi olarak kullanımı artmıştır. Bu madde opak olup, mürekkep sarfiyatını azaltır, parlaklığı arttırır, kâğıt kaplamada yüzeylerin pürüzsüz olmasını sağlar.

Beyaz pastanın kullanım alanlarından biri de siyah beyaz fotoğraf kâğıdı imalatıdır. Bunun miktarına göre kağıtlar, mat, yarı mat, parlak durumlar alır. Yıllık tüketimi 100 tondan azdır.

2.1.3.6. Plastik ve lastik imalatı

Otomobil endüstrisinde, baritin önemi artış göstermektedir. Bu sanayide aşağıdaki alanlarda kullanılmaktadır:

- Vantilatör kayışı
- Hortum
- Paspas, altlık
- Conta
- Ses geçirmez madde

En çok kullanımı ses geçirmez madde imalatındadır. Bu sanayide kullanılan baritin %80'i ses geçirmez plastiklerin yapımında harcanır.

2.1.3.7. Sürtünme maddesi imalatı

Fren ve debriyaj sisteminin, sürtünen kısımlarında sabit dolgu maddesi olarak kullanılır. Dolgu miktarı %10 ile %40 arasında değişir. Baritin yoğunluğu 4,34 g/cm^3, yağ adsorbsiyonu 10,5-12,0, boyutu 75 mikron olması gerekir.

2.1.3.8. Cam endüstrisi

Geniş bir kullanımı vardır. Ülkelerin tükettiği $BaSO_4$'ün Avrupa'da %35'i, Japonya'da %60'ı, ABD'de %30'u bu alanda harcanır.

Cam endüstride kullanılacak baritin özellikleri Çizelge 2.6'da verilmektedir.

Çizelge 2.6. Cam endüstrisinde kullanılacak baritin özellikleri

$BaSO_4$	%96-98
Fe_2O_3	%0,1-0,2'den az
TiO_2	%0,1-0,2'den az
SiO_2	%1,5
Al_2O_3	%0,15

Camın kalitesini, kırma indisini, sertliğini, çizilmeye ve sürtünmeye karşı direncini, parlaklığını arttırmaktadır. İmalat sırasında akışkanlığı sağlamakta ve özel camlara dayanıklılık kazandırmaktadır.

Baryum oksit, züccaciye, kristal cam imalatında önemli olup, yüksek kırılma indisi, düşük ışın dağılması ve sertlik sağlar.

2.1.3.9. Seramik endüstrisi

Baryum karbonat tüketiminin %25'i bu alanda gerçekleşmektedir. Seramikte, maddelerin bağlanmasını, pişmiş maddelerin hava ile temasında ufalanmasını, tuğla ve çinicilikte renklerin değişmemesini sağlamaktadır. Sırlama işleminde baryum oksit, sırın parlaklığını ve dayanıklılığını arttırır. Baryum karbonat, korozyona ve aşındırmaya karşı seramiğin direncini yükseltir. Baryum karbonat için pekişme alanı; elektro seramik, baryum-titan ($BaTiO_3$), baryum ferrit ($BaFe_2O_4$-Manyetik)'tir.

2.1.3.10. Radyasyona karşı barit

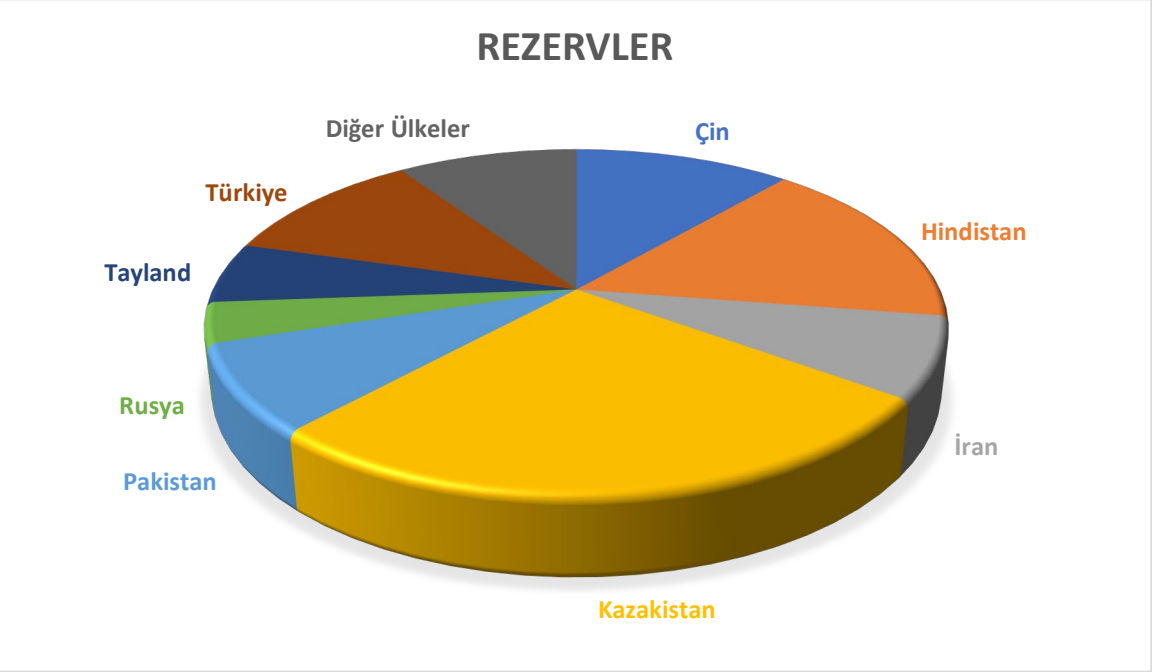
Radyasyona karşı mükemmel koruyucu özelliği olan bir maddedir. Radyoaktif ve x-ışınlarını absorbe ettiğinden, röntgen odalarının sıvılarında ve nükleer enerji santralleri yapımında beton içinde kullanılmaktadır (Yıldız, 2014).

2.1.4. Baritin Türkiye ve Dünya'daki rezervi

Dünya barit rezervi 2 milyar ton olup, bunun yaklaşık 740 milyon tonu belirlenmiş kaynaklardır. Dünya'da ve Türkiye'de barit rezervi Çizelge 2.7'de ve Çizelge 2.8'de verilmiştir.

Çizelge 2.7. Dünya'da barit rezervi

Ülkeler	Rezerv (t)
ABD	Veri yok
Çin	36.000.000
Hindistan	51.000.000
İran	24.000.000
Kazakistan	85.000.000
Meksika	Veri yok
Fas	Veri yok
Pakistan	26.000.000
Rusya	12.000.000
Tayland	18.000.000
Türkiye	35.000.000
Diğer Ülkeler	30.000.000



Şekil 2.2. Baritin Dünya'daki rezerv grafiği

Çizelge 2.8. Türkiye Barit Rezervleri (MTA Genel Müdürlüğü)

Yeri	Rezerv (t)	$BaSO_4$ (%)
Adıyaman-Besni-Karapınarderesi Zuhuru	-	72,98
Antalya-Gümüşgöze	2 640 (M)	96,78
Antalya-Alanya-Kızılcaşehir	100 000(G)	91,90
Antalya-Alanya-Havuçaçan	95 040 (G+M)	97,06
Antalya-Alanya-Demirtaş	1 496 665 (T)	92,07-99,40
Antalya-Gazipaşa-Karalar	3 458 145 (T)	97,35-98,96
Antalya-Gazipaşa-Örencik	36 000 (G+M)	95,58-98,50
Antalya-Gazipaşa-Küçükdere	56 000 (G+M)	86,16
Aydın-Bozdağan-Yeniköy-Ozanbeleni	-	Düşük
Batman-Sason-Tizi Sahası	288 080 (G+M)	13,5
Çanakkale-Lapseki-Kurudere Sahası	91 000 (G+M)	90
Diyarbakır-Dicle-Viskül Köyü	2 850 (G)	80-94
Eskişehir-Sivrihisar-Kızılcaören	9 424 424(G+M)	-
Giresun-Merkez-Dereli Zuhuru	280 000	98
Gümüşhane	240 404 (G+M)	85,44-97,68
Isparta-Şarkikaraağaç-Felepınarı-Oyuk Tepe	1 500-2 000 (G+M)	73,69-96,96
Kahramanmaraş-Önsen-Bozağalık Sahası	41.344	97
Kahramanmaraş-Türkoğlu-Şekeroba Sahası	172.000(G),290.000(M)	98,55
Karaman-Kazımkarabekir-Alanözü	-	86,84
Kocaeli-Derince-Kavaklıtarla	50.000(G),250.000 (M)	97
Kocaeli-Gebze-Mudarlı	50.000(G), 100.000(M)	-
Konya-Akşehir Sahası	23.000.000(G+M)	90
Konya-Beyşehir Sahası	13.148.960 (G+M)	95,50
Konya-Doğanhisar-Fırınlık Köy Sahası	100.000 (G+M)	96
Konya-Karaman-Habipler köyü Sahası	6.000 (G)	92,40
Konya-Karaman-Alanözü Köyü Sahası	4.000 (G)	89,10
Mersin-İçel-Anamur-Aşağıkuren Köyü	2.250 (G)	94,15
Mersin-İçel-Silifke-Torul-Çılbayır Köyü	70.000(G+M)	77-96
Muş-Merkez-Bilir Köyü	570.000 (G), 1.530.000 (M+Mü)	94
Nevşehir-Gülşehir-Arafa Sahası	2.000-2.500 (G)	92,75
Sivas-Koyulhisar-Yenice Köyü Sahası	1.000.000 (G+M+Mü)	92-95

(G): Görünür, (M): Muhtemel, (Mü): Mümkün, (T): Toplam

2.1.5. Barit cevherinin zenginleştirilmesi

Barit klasik yeraltı ve açık ocak yöntemleriyle üretilmektedir. Cevherin kullanım amacına uygun olması ya da yeterli tenörde $BaSO_4$ içermesi durumunda zenginleştirilmesine gerek kalmadan öğütülüp boyutuna göre sınıflandırılmaktadır. Öğütmede yaygın olarak rulolu değirmenlerle havalı sınıflandırıcılar kullanılmaktadır. Bu cevher sulu olarak kullanılacaksa bilyalı değirmenlerle de öğütülebilmektedir (Yıldız, 2014).

Barit zenginleştirilmesinde uygulanan yöntemler ve uygulanabildikleri tane boyutları Çizelge 2.9'da gösterilmektedir. Genelde zenginleştirme sürecinin randımanı, malzeme boyutu inceldikçe düşme gösterdiğinden, cevherin hazırlanmasında düşük kırma oranlarında ve kapalı devre olarak çalışan çeneli veya konik kırıcıların kullanılması kırılgan bir mineral olan baritte oldukça önemlidir. Burada dikkat edilmesi gereken baritin serbestleşme boyutunun bilinmesidir.

Barit zenginleştirilmesinde şu yöntemler uygulanabilir: Elle ayıklama, gravite ayırması ve flotasyon yöntemi.

Çizelge 2.9. Baritin zenginleştirilmesinde uygulanan yöntem

Zenginleştirme süreci	Max µm-Min µm	Kullandığı özellik
Triyaj	------ - 50000	Boyut, renk
Ağır ortam	50000-550	Özgül ağırlık
Jig	50000-500	---
Sallantılı masa	3000-50	---
Spiral	500-50	---
Flotasyon	1000-10	Yüzey kimyası

2.1.5.1. Elle ayıklama ile zenginleştirme

Barit ile gang mineralleri arasındaki, boyut, renk ve yapı farklarından yararlanılarak cevher ocağında veya kırılma işlemlerinden sonra yapılan elle ayırma işlemidir. Cevher yüzeyi kille kaplanmış olduğu durumlarda çok katlı elek ve tamburlarda yıkama yapılır (Önal, 1980).

2.1.5.2. Gravite ile zenginleştirme

Mineral taneleri arasındaki özgül ağırlık farklılığı kullanılarak yapılan zenginleştirme işlemidir. Barit zenginleştirmesinde ağır ortam, jig, sallantılı masa veya spiraller kullanılabilir. Bu zenginleştirme yönteminde verimli çalışabilmesi için öncelikle cevherin dar tane boyutlarına sınıflandırılması gerekir. Ağır ortam ile zenginleştirmede ağır ortam ince boyuttaki cevherin kendisi kullanılmaktadır (Özdağ, 1991).

2.1.5.3. Flotasyon ile zenginleştirme

Baritin yağ asitleri ile kolaylıkla flotasyonu yapılabildiği gibi, sülfat ve sülfonatlarla da yapılabilir. Genellikle gang mineralleri de bu toplayıcılar ile yüzdüğü için bastırıcıların dikkatli seçilmesi ve kullanılması gerekir.

Kuvars, fluorit ve karbonatlardan, baritin seçimli flotasyonu alkali ortamda (pH:9 - 11), alkali sülfat ve sülfonat gibi toplayıcılarla başarı ile yapılabilmektedir. Ortama ilave edilen $BaCl_2$ ise baryumu canlandırır (Atak, 1982).

Demir oksitli minerallerden baritin flotasyonu ise yüksek pH'ta (pH:11) sodyum silikat (Na_2SiO_3) kullanılarak yağ asitleri ile yapılabilir. Tamamen temiz bir konsantre elde edebilmek için ya seyreltik sülfürik asit ile liç yapılarak demir oksitler çözeltiye alınır, ya da asidik ortamda (pH:3) sülfonatlarla demir oksitler yüzdürülür.

Kuvars-Barit flotasyonunda, tannik asit, quebracho ve sodyum silikat çok iyi birer düzenleyici kimyasal olarak kullanılabilir. Sodyum silikat, silikatları bastırarak çeşitli değersiz mineralleri canlandıran Ca^{2+} katyonlarının etkisini yok ederek dağıtma özelliği gösterir (Kurama, 1991).

Barit cevherinin karbonat ve sülfit içermesi durumunda yağ asitleri ile flotasyonda pH: 9'dan az değerde davranış göstermektedir. Barit, kalkerli bir cevherden sodyum silikatın yüksek konsantresinde ve sülfosuccinamate gibi toplayıcılarla başarıyla yüzdürülmektedir.

Barit cevherinin zenginleştirilmesi için seçilecek akım şeması cevher yatağına bağlıdır. Baritle birlikte kil, dolomit, kuvars, demir mineralleri, fluorit, kurşun, çinko, kalsit ve bazı ağır metalleri içermektedir. Mevcut cevherdeki barit ve diğer mineraller tenörlerine göre laboratuvarda yapılacak testlerde kazanılacak mineraller ve atık olarak ayrılacak safsızlıklar belirlenerek zenginleştirme devreleri tasarlanmaktadır.

Barit flotasyonunda, ucuz olan anyonik yağ asidi veya daha pahalı olan alkali sülfat ve petrolyum sülfonat tipi toplayıcılar kullanılabilir. Fazla etkili olmamakla beraber katyonik olarak da amin kolektörü kullanılabilir. Petrolyum sülfonat; bazik ortamda, yağ asitli sülfonat; asit, nötr ve bazik ortamda, alkali sülfat; bazik ortamda, sodyum torat; asit, nötr ve bazik ortamda başarılı olarak kullanılabilmektedir.

Baritin flotasyonla zenginleştirme çalışmalarına örnek verecek olursak; Etibank-Konya Beyşehir barit işletmesinin düşük tenörlü barit cevheri üzerinde yapılan çalışmalar sonucu genel olarak %90-97,5 $BaSO_4$ tenörlü, %95,5-80,0 verimli konsantreler elde edilmiştir. Optimal flotasyon koşulları Çizelge 2.10' da verilmedktedir.

Çizelge 2.10. Barit flotasyonu optimal koşullar

Tane iriliği	%93,3'ü – 0,1
pH değeri	8
Bastırıcı	Na_2SiO_3 (1750 g/t) + Quebracho (400 g/t)
Canlandırıcı	Pb $(NO_3)_2$ (1000 g/t) veya $BaCl_2$ (1000 g/t)
Toplayıcı	R 107/A veya DBİS (%100) veya Aero 845 (1000 g/t)
Köpürtücü	Frother SS (50 g/t)

Amerikan Cyanamid firması kendi üretimi olan AERO 825 ve AERO 845 tipi petrolyum sülfonat toplayıcıları iki tip cevher üzerinde denenmiş ve başarılı sonuçlar elde edilmiştir. A tip cevherde Fluorit ve kalsitli %55 $BaSO_4$ tenörlü baritten %92,5 verimle %96,6 $BaSO_4$ tenörlü konsantre elde edilmiştir (Cyanamid, 1976). Bu flotasyon şartları Çizelge 2.11'de belirtilmiştir:

Cevherin minerolojik yapısı: %55 Barit, %20 Fluospar, %10 Kalsit, %1 Selesit

Çizelge 2.11. Önceden yapılmış çalışmalara ait barit flotasyonu koşulları

Tane iriliği	%95'i -74 Mikron (-200 Mesh)
Kondisyonlama	3 dak. Na_2SiO_3 (2500 g/t)
Kaba flotasyon	pH:9,8 Zaman: 5 dak. Aerofroth 71 A (10 g/t), AERO 845 (300 g/t)
Temizleme flotasyonu	Zaman:5 dak. AERO 845 (25 g/t) Aerofroth 71 A (15 g/t)
Son temizleme flotasyonu	Zaman:5 dak. AERO 845 (25 g/t) Aerofroth 71 A (15 g/t)

B tipi cevherde %75 $BaSO_4$, %10 kalsit ve %15 kuvarslı cevherden ise %89,2 verimle %93,0 $BaSO_4$ tenörlü konsantre elde edilmiştir. Bu çalışmanın koşulları Çizelge 2.12'de gösterilmiştir.

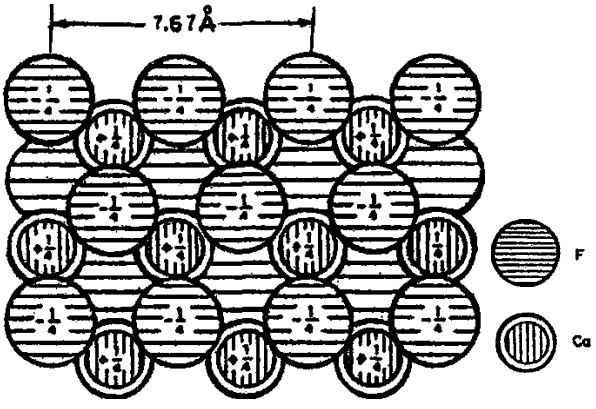
Çizelge 2.12. Önceden yapılmış çalışmalara ait barit flotasyonu koşulları

Cevherin minerolojik yapısı	%75 $BaSO_4$, %10 kalsit, %15 kuvar, Mika ve Demir oksitler
Tane iriliği	%95'i -74 Mikron (-200 Mesh)
Kondisyonlama	3 dak. Na_2SiO_3 (2000 g/t)
Kaba flotasyon	pH:8 Zaman: 5 dak. Aerofroth 71 A (40 g/t), AERO 845 (250 g/t)
Temizleme flotasyonu	Zaman:5 dak. Reaktif ilavesiz.

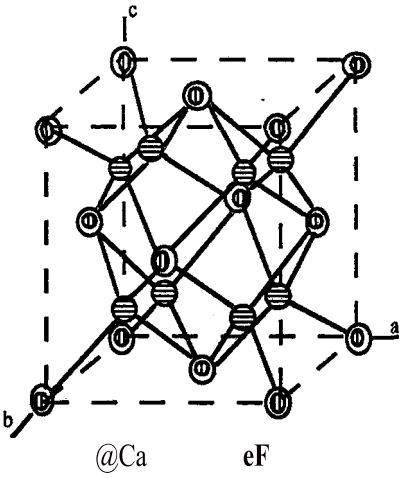
2.2. Fluorit

Flor elementinin en önemli endüstriyel kaynağını oluşturan fluorit, kalsiyum ve flor bileşiği olup, formülü CaF_2'dir. Saf fluorit %51,1 kalsiyum, %48,9 flor içerir. Çizgi rengi beyazdır, saydam veya yarı saydam bulunur. Hemen hemen her renk fluorite rastlanır. Fakat çoğunlukla renksiz, san, yeşil, kırmızı, siyah ve maviden mora kadar çeşitli renklerde olabilir. Diğer minerallerden ayırıcı özellikleri şöyle sıralanabilir; ultraviyole ışık altında mavi, sarı, beyaz ve kırmızımsı renklerde floresans özelliği göstermesi, ısıtıldığında fosforesans özellik sunması ve sülfürik asitte çözünmesidir (Aydin, S.N. vd. 1998).

Fluorit yüzey merkezli kübik bir kafes yapısına sahip olup, yapı taşları arasındaki bağlantı hetarapolardır. Kalsiyum iyonları kübik birim hücrenin köşelerinde ve yüzey merkezlerinde, flor iyonları ise birim hücrenin sekize ayrılmış bölümlerinden oluşan her kübün merkezinde yer alır. Her kalsiyum iyonu kübün köşesinde komşu sekiz flor iyonuyla bağlanır. Bunların her biri dört kalsiyum iyonu tarafından çevrilmiştir. Burada her bir birim hücrede yer alan dört kalsiyum ve sekiz fluor iyonu durumu ile iki fluorit tabakası arasında yeralan (111) düzleminde dilinimi iyi ve bu düzlemde yaptıkları ikizler karakteristiktir (Şekil 2.3).



Şekil 2.3. Fluoritin Yüzey Yapısı (111) Yüzeyi



Şekil 2.4. Fluoritin Kristal Yapısı

Minerallerin yüzey özellikleri kristal özelliklerinin izlerini taşıdığından, fluoritin yüzey yapısı da kalsite oranla daha basit bir yapı göstermektedir. Şekil 2.3'de görüldüğü gibi fluoritin (111) yüzey yük yapısı daha düzenlidir.

Fluorit kolay kırılır, sertliği 4, özgül ağırlığı 3.18 ve ergime derecesi 1180°C'dir. Isıtıldıktan sonra rengi kaçar, beyaz bir toz haline gelir. Fluoritin ışıma ve renk özelliğini, içinde bulunan iridyum, toryum, zirkonyum gibi nadir toprak elementleri vermektedir.

Fluorit hemen hemen her yerde bulunan bir mineraldir. Genellikle hidrotermal damarlarda esas veya diğer metalik minerallerin gangı olarak meydana gelir. Granit ve siyenit kayaçlarının çatlaklarında, çatlak dolgusu olarak oluşan fluorit damarları rezerv bakımından pek verimli değildir. Fakat yine granit ve siyenit kayaçlarından geldiği tahmin edilen hidrotermal flor elementi, bu kayaçlar ile kontak halinde bulunan karbonatlı kayaçların çatlaklarından girerek bu kayaçların karbonatını yüksek ısı nedeniyle uçurur ve orada boşluk oluşturur. Bu oluşan boşlukları dolduran yer değişimi kalsiyum florür oluşumları büyük yatakları meydana getirmektedir.

Fluorit en çok kalsit, dolamit, jips, sölestin, barit, kuvars, galen, sfalerit, kasiterit, topaz, turmalin ve apatitle beraber bulunur (İnan, 1982; Kırıkoğlu, 1990; Hanna, 1976; M.T.A., 1979).

Endüstride kullanılan üç tip fluorit vardır. Bunlar metalurjik, seramik ve asit fluorit olarak tanımlanmaktadır.

Metalurjik fluorit en az %60 etken CaF_2 içerir. Demir çelik üretim prosesinde demirde bulunabilen zararlı elementlerin (silis, sülfür, fosfor, karbon gibi) uzaklaştırılmasında ve cürufun akışkanlık kazanmasında kullanılır. Bu amaçla kullanılan hammadde en çok %0,3 sülfür ve %0,5 kurşun içermelidir. Metalürjide kullanılacak fluoritin parça cevher olması gerekir, toz cevher ancak briket yapılırsa kullanılabilir.

Seramik fluorit iki ayrı kalitededir. Birinci kalite %95-96 CaF_2, ikinci kalite ise %80-95 CaF_2 içerir. En fazla %3 SiO_2 ve %0.12 Fe_2O_3 olması, çok az kalsit ve eser miktarda kurşun ve çinko olması istenir.

Asit kaliteli fluorit en az %97 CaF_2, en fazla %1,5 SiO_2, %1,0 $CaCO_3$ ve %0.03-0.1 S içerir. Asit fluorit, hidroflorik (HF) asit yapımında kullanılır ve bazı tüketiciler nem miktarının %1 den az olmasını ve fluoritin belirli bir incelikte öğütülmüş olmasını isterler.

Fluorit ayrıca optik, çimento ve taş yünü endüstrisinde de kullanılır ve her geçen gün artan bir hızla hayatın her alanına girmektedir (Kırıkoğlu, 1990; Erdinç, 1993; Grogan, 1960; M.T.A.,1979).

Ayrıca yerkabuğunda son derece az bulunan NTE, Th ve Ba gibi uyumsuz elementler ile beraberliğinden ötürü bölgesel jeolojik işlemlerin açıklanması ve/veya jeotektonik ortam yorumlanması adına da çok önemli bilgiler veren özel bir mineraldir. (http://www.mta.gov.tr/v3.0/bilgi-merkezi/fluorit).

2.2.1. Fluoritin oluşumu

Fluorit oldukça geniş fiziksel ve kimyasal şartların oluşturduğu çok farklı jeolojik ortamlarda yataklanabilir (Baybörü, R. vd 1983). Magmatik, metamorfik ve sedimanter kayaçlar içerisinde damar, dolgu yoluyla yerini alma şeklinde oluşurlarken; karbonatlı kayaçlarda tabaka şeklinde ve asit magmatik girişimler boyunca yer değiştirme ile oluşabilmektedirler (http://www.mta.gov.tr/v3.0/bilgimerkezi/fluorit).

Uras (2007) fluorit yataklarını pegmatit-pnömatojen, hidrotermal ve sedimanter olmak üzere sınıflandırmıştır:

2.2.1.1. <u>Pegmatit-Pnömatojen florit yataklar</u>

Pegmatitler, magmatojen-pnömatojen karışımı taşlardır. Bunların oluşumu, bir erüptif kütlenin kristalleşme safhası sonunda, kolay uçucu kısımların geriye kalan eriyik içinde toplanmaları sonunda oluşmuştur. Bu geri kalan eriyiklerde kristalleşince önce kolay uçucu maddeleri bol olan silisli artıklar ayrılır (Uras, 2007).

2.2.1.2. Hidrotermal yataklar

Fluorit yataklarının oluşumunu, pegmatit yapan alkali granite bağlamayı reddeden ve düşük ısıdaki hidrotermal eriyiklere bağlayan başka bir görüş daha vardır. Bu görüşe göre fluorit yatakları, hidrotermal evrenin son ve dış safhasında oluşmuştur. Hidrotermal tipteki yataklanmalarda hidrotermal damarın yapısal özellikleri hidrotermal damarın çeperi hidrotermal damar içerisinde yer alan breşler yan kayaç damar ilişkisi bize hidrotermal damarın gelişimi ile ilgili bir dizi bilgi sunar (Uras, 2007).

2.2.1.3. Sedimanter yataklar

Fluorit sedimanter olarak da başlıca omurgalı organizma kalıntılarındaki trikalsiyum karbofosfat içinde bulunur. Bazende sedimanter apatit bulunur. İnsan ve hayvan kemiklerinde fluor bulunur. Kemikler içinde de hidroksil gurubunun yerine fluor geçebilir. Fluoritin sedimanter bulunuşu bilinmekte, fakat hangi derinlikteki granitlerin içinde sedimanter olarak zuhur ettiği tartışma konusudur (Uras, 2007).

2.2.2. Fluoritin Dünya ve Türkiye'deki üretim bilgileri

Fluorit cevherinin Dünya genelindeki üretim bilgileri Çizelge 2.13'te, Türkiye genelindeki üretim bilgileri Çizelge 2.14'te verilmiştir.

Çizelge 2.13. Dünya Florit üretim bilgileri (t) (USGS, 2022)

Ülkeler	**2018**	**2019**	**2020**	**2021**
ABD	Veri yok	Veri yok	Veri yok	Veri yok
Arjantin	14.000	14.000	Veri yok	Veri yok
Brezilya	26.000	18.000	Veri yok	Veri yok
Çin	4.000.000	4.000.000	4.300.000	5.400.000
Almanya	45.000	45.000	50.000	80.000
İran	70.000	55.000	55.000	56.000
Kazakistan	Veri yok	88.000	77.000	77.000
Meksika	1.080.000	1.200.000	1.200.000	990.000
Moğolistan	605.000	670.000	720.000	800.000
Fas	65.000	100.000	88.000	80.000
G. Afrika	242.000	240.000	320.000	420.000
İspanya	145.000	140.000	140.000	130.000
Tayland	48.000	50.000	Veri yok	Veri yok
İngiltere	11.000	21.000	Veri yok	Veri yok
Vietnam	239.000	240.000	240.000	220.000
Diğer Ülkeler	40.000	41.000	110.000	110.000

Çizelge 2.14. Türkiye Florit üretim bilgileri (MAPEG)

YIL	ÜRETİM (t)
2011	4.524,00
2012	5.197,00
2013	3.874,00
2014	4.271,00
2015	6.238,00
2016	10.339,00
2017	20.150,00
2018	6.200,00
2019	14.400,00
2020	19.896,00
2021	10.374,00

2.2.3. Fluoritin kullanım alanları

Fluorit yoğun olarak demir-çelik sanayinde, kimya sanayinde, alüminyum sanayinde, seramik sanayinde kullanılmakla birlikte mobilya, cam ve çimento sanayi gibi değişik sanayi dallarında kullanılmaktadır. Kullanım alanlarına göre floritin belirli bir CaF_2 konsantrasyonuna sahip olması gerekir (Atakul vd, 2007).

Florit, yüksek fırınlarda demir ve elektrik fırınlarında çelik elde ederken cürufun akışkanlığını sağlamak üzere demir-çelik sanayiinde kullanılır. (Fluorit, 1979).

Fluorit, cam sanayiinde beyaz ve renkli opal cam imal etmek için kullanılırken seramik sanayiinde sır üretimi için, kullanılmaktadır. (Fluorit,1979).

Metalurji, kimya, seramik, cam, optik, çimento endüstrisi alanlarında yaygın olarak kullanılan fluorit aynı zamanda süs taşı olarak da takı ve hediyelik eşya üretiminde kullanılmaktadır (Şekil 2.5- Şekil 2.6 - Şekil 2.7).



Şekil 2.5. Takıda kullanılmak üzere işlenmiş florit örnekleri



Şekil 2.6. Floritin takıda kullanımı



Şekil 2.7. Floritin süs eşyası yapımında kullanımı

Floritin genel kullanım alanları şu şekildedir:

- ❖ Asit sanayiinde kullanılar (Asitspar ve astgrade)
- ❖ Seramik sanayiinde kullanılan (Seramikspar ve seramikgrade)
- ❖ Metalurji sanayiinde kullanılan (metspar)

- Asit üretimine uygun "asitspar veya asitgrade" florit en az %97 CaF_2, en fazla %1,5 $CaCO_3$, %1,0 SiO_2, %0.03-0.1 S, 10-12 ppm As, 100-550 ppm Pb içermektedir. Bu kalitedeki floritten hidroflorik asit üretilmektedir.

- Seramik üretimine uygun "seramikspar veya seramic grade" florit %85-96 CaF_2 ve en fazla %3,0 SiO_2 içermektedir. Bu kaliteli florit seramik, cam ve emaye üretiminde kullanılmaktadır.

- Metalürjide kullanıma uygun "metspar" cevherin %60-85 CaF_2 ve en fazla %15,0 SiO_2, %0,3 S ve %0,5 Pb içermesi gerekmektedir. Floritin başlıca kullanım yeri metalurjik alanlardır.

Çizelge 2.15'te değişik amaçlı kullanılan CaF_2'nin özellikleri gösterilmiştir.

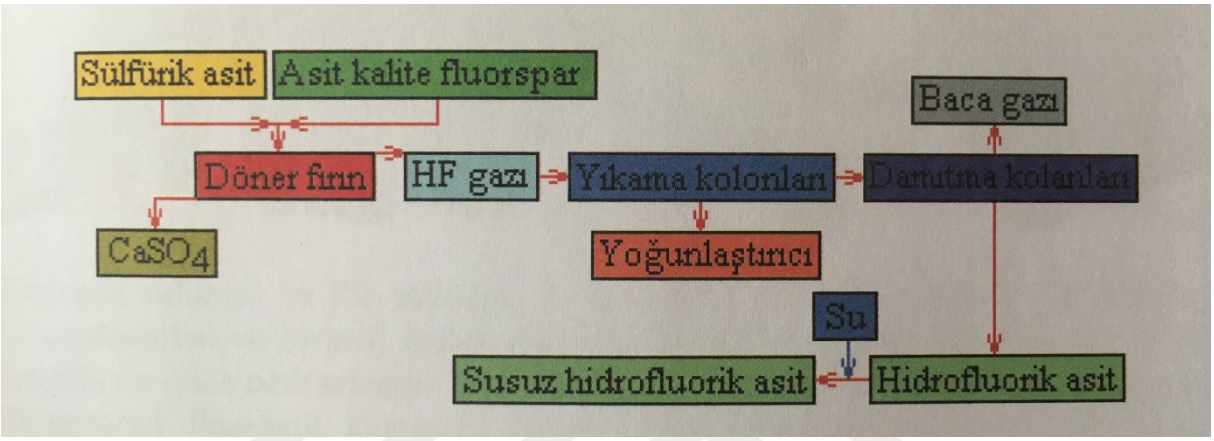
Çizelge 2.15. Değişik amaçlı kullanılan CaF_2'nin özellikleri

Özellikleri	Asit üretimi	Metalurji	Seramik ve cam
$CaF_{2,\%}$	>97	>60	>93-95
$SiO_{2,\%}$	<1,5	10,0	<3,0 seramik için
S, sülfürlü olarak, %	<0,1	S<0,30	<0,1
$CaCO_3$	<1,25	-	<1,5
P	<0,2	-	ΣR^2O^3+RS<0,5-0,25
Fe_2O_3,Al_2O_3, Σ%	<1,5	PbS=0,50	Fe_2O_3 % <0,12
$BaSO_4$, %	<0,5	0,20	-
Organik madde, Σ%	<0,25	ZnS=0,50	<0,3
Nem, %	<0,10	<15	<0,10
+75µm, %	<25	1 mm <%15	d <1 mm
Kızdırma kaybı	-	-	<1

Hidroflorik asit (HF) derişik sülfürik asitle karıştırılan floritin fırınlarda tepkimeye sokulmasıyla üretilmektedir. 1 ton HF üretimi için yaklaşık 2.2 ton CaF_2 gerekmektedir.

HF asidin camı aşındırıcı etkisi olduğundan cam şişelerde saklanmamaktadır. HF asitten sentetik kriyolit elde edilmektedir. Kriyolit de metal alüminyum elde edilme sürecinde elektrolit olarak kullanılmaktadır. HF asit uçak ve otomobiller için yüksek oktanlı benzin üretimi ve çelik parlatılması gibi değişik amaçlarla tüketilmektedir.

Şekil 2.8.'de hidroflorik asit üretim süreci gösterilmiştir.



Şekil 2.8. Hidroflorik asit üretim süreci

Fluorit demir-çelik sanayiinde, yüksek fırınlarda demir ve elektrik fırınlarında çelik üretiminde ergime sıcaklığını düşürmekte, cürufun akışkanlığını sağlayarak demirdeki kükürt ve fosforun cürufa karışmasını kolaylaştırmaktadır.

Florit seramik sanayiinde sır yapımında, cam sanayiinde beyaz ve renkli opal cam üretiminde, portland çimentosu üretiminde, soba, buzdolabı ve pişirme araçlarının çelik kısımlarının kaplanmasında, yapay kauçuk ve aerosol üretimi gibi birçok sanayi dalında ve elektrot kaplamalarında rutil yerine ikame madde olarak da kullanılmaktadır.

2.2.4. Fluoritin Türkiye ve Dünya'daki rezervi

Dünya görünür florit kaynakları, %100 CaF_2 bazında yaklaşık 500 milyon tondur. Buna ilave olarak fosfat kayaçlarında da çok büyük miktarlarda fluor kaynakları mevcuttur. Dünya fosfat rezervleri yaklaşık 70 milyar ton olup %100 CaF_2 bazında 5 milyar ton florit eşdeğeridir.

Dünya florit rezervleri Çizelge 2.16'da, Türkiye florit rezervleri Çizelge 2.17'de verilmiştir.

Çizelge 2.16. Dünya florit rezervleri (USGS, 2022)

Ülkeler	**Rezervler (t)**
ABD	4.000.000
Arjantin	Veri yok
Brezilya	1.400.000
Çin	42.000.000
Almanya	Veri yok
İran	3.400.000
Kazakistan	Veri yok
Kenya	5.000.000
Meksika	68.000.000
Moğolistan	22.000.000
Fas	320.000
G. Afrika	41.000.000
İspanya	10.000.000
Tayland	3.600.000
İngiltere	4.000.000
Vietnam	5.000.000
Diğer Ülkeler	120.000.000

Çizelge 2.17. Türkiye florit rezervleri (MTA Genel Müdürlüğü)

Yeri	Rezerv (t)	CaF_2 %
Eskişehir-Sivrihisar	11.368.000 (G+M)	37.40
Elazığ-Keban Nimri Köyü	156.360 (T)	40
Kütahya-Tavşanlı Ovacık Köyü	22.500 (T)	51.17
Yozgat-Yerköy-Şefaatli-Cangıllı Sahası	200,000 (T)	72.5
Sivas-Divriği Purunsur Köyü Sahası	36.000 (T)	---
Sivas-Yıldızeli-Kavik Sahası	38.000 (Mü)	51.00
Kırşehir-Çiçekdağı Merkez	200,000 (T)	80.00
Kırşehir-Kaman Avutkaya Köyü	5.700 (T)	---
Kırşehir-İsahocalı Köyü	42.000 (G+M)	20-67
Kırşehir-Hamitköy	11.500 (T)	20-70
Kırşehir-Toprakkaya Köyü	32.000 (M+Mü)	55
Kırşehir-Yeniyapan Köyü	18.000 (T)	75
Kırşehir-Alişarköy	124.300 (T)	20-70
Kırşehir-Bayındır Köyü	125.000 (G+M)	73
Kırşehir-Karakütük Köyü	175.000 (G+M)	64.30
Giresun-Şebinkarahisar	22.000 (T)	---

(G): Görünür, (M): Muhtemel, (Mü): Mümkün, (T): Toplam

Maden ve Petrol İşleri Genel Müdürlüğü verilerine göre Türkiye'de 2.538.000 ton (Görünür+ Muhtemel) florit rezevi bulunmaktadır.

2.2.5. Fluorit cevherinin zenginleştirilmesi

Fluoritin zenginleştirilmesinde uygulanacak yöntem veya yöntemlerin seçiminde rol oynayan en büyük faktörler, cevherin yapısı, gang mineralleri, tane serbestleşmesi, tane boyu, konsantrenin satış durumu, randımanı ve işin ekonomik yönüdür.

Kullanım yerinin isteğine göre, fluoritin zenginleştirilmesinde aşağıdaki yöntemler uygulanır.

2.2.5.1. Yıkama, dağıtma ve boyuta göre sınıflandırma ile zenginleştirme

Cevher içerisinde bulunan kil, kum, organik maddeler ve kurşunun cevherden atılması amacıyla, cevher oluk içerisinde veya döner tromel eleklerde yıkanır.

Ayrıca cevher boyut küçültme işlemine tabi tutulursa fluorit, kuvarsa göre daha yumuşak olduğundan daha çok ince boyuta geçme eğilimi gösterecektir. Bu durumda sınıflandırma yapılırsa fluorit ince boyutta zenginleşir.

Derbyshire fluoritleri, kurşun madeni içindedir ve metalurjik amaçlarla kullanılır. Bazı cevher bölümleri yalnız elle ayıklama ve kuru eleme, diğer bölümleri ise olukta yıkanarak konsantre edilir.

2.2.5.2. Gravite ile zenginleştirme

Jig, sallantılı masa ve ağır ortam ayırma yöntemleri, cevherden silikat ve sülfürlerin arındırılması ve metalurjik fluorit konsantresi elde etmek için kullanılır.

Genellikle iri boyutlara uygulanan ağır ortam ayırma işleminde koni, tambur, siklon ve Dynawhirpool prosesleri uygulanır. Ortam olarak ağır sıvılar ve galenitin veya ferrosilikonun sudaki süspansiyonu kullanılır.

Fluoritin yoğunluğu 3.18, kalsitin yoğunluğu 2.72, kuvarsın yoğunluğu 2.65 ve diğer minerallerin yoğunlukları da fluoritin yoğunluğundan daha fazla olduğu için, yüzdürme ve batırma işlemleri iki kademede yapılır. Birinci kademede fluorit, barit ve sülfitler bastırılır, kuvars ve kalsit yüzdürülerek artık olarak atılır. İkinci kademede fluorit yüzdürülür, diğerleri bastırılır.

Gravite yöntemleri, flotasyondan önce, besleme derecesini yükseltmek ve daha ekonomik flotasyon yapabilmek için de uygulanabilir.

Hlinois-Kentucky bölgesinde fluorit prosesinde, flotasyondan önce ağır ortam konsantrasyonu kullanılmaktadır (üç ağır ortam konisi, bir Dynawhirpool ve tambur).

%20-35 CaF_2 içerikli cevher ağır ortam tesisinde zenginleştirilerek %40-60 CaF_2 içerikli flotasyon beslemesi elde edilir. Flotasyon ile de %90 CaF_2'den daha yukarı derecelerde konsantreler üretilmektedir.

Cevherinde kurşun, fluorit, kalsit ve bazı sülfitler bulunan Durham "The Weardale Lead Company" nin uyguladığı zenginleştirme yöntemleri de ağır ortam ve flotasyondur. Yine Durham'da "West Blackdene Mine" nin metalurjik fluorit konsantresi elde etmek amacıyla uyguladığı yöntem, jig ve sallantılı masadır (Musson, 1977; Eddy vd., 1964; M.T.A., 1979; Gençtan, 1975).

2.2.5.3. Flotasyon ile Zenginleştirme

Asit dereceli fluorit üretimi için en önemli konsantrasyon prosesi flotasyondur. Flotasyon tuz tipi minerallerin ayrılmasında önemlidir ve teknikteki bu hızlı gelişmeye rağmen hala birçok cevherin seçimli flotasyonunda zorluklarla karşılaşılır.

Tuz tipi minerallerden olan fluorit ve kalsitin seçimli flotasyonunda da birçok problemler vardır. Çünkü bu iki mineralin de kristal yapılarında aynı Ca^{++} katyonunu bulundurmaları, yaklaşık olarak aynı kristal enerjiye sahip olmaları, flotasyonda aynı tip kollektöre karşı benzer özellikleri göstermelerini sağlar (Guadin, 1976; Tolun, 1980).

Flotasyon ile kalsitten floritin ayrılmasında en çok kullanılan kollektörler çeşitli yağ asitleri ve onların tuzlarıdır. Bunlar özellikle oleik asit ve onun tuzu olan sodyum oleattır. Bunların yanında sülfatlar, sülfonatlar ve aminler de kollektör olarak kullanılmışlardır.

Fluorit ve kalsit minerallerinin yüzey elektrik yükü ile ilgili çalışmalar, fluorit flotasyonunun yapıldığı alkali ortamlarda her iki mineralin de negatif yüzey elektrik yükü taşıdıklarını göstermiştir. Fluorit flotasyonunda genellikle yağ asitleri ve bunların tuzlan kullanıldığından, negatif işaretli bu iyonların mineral yüzeylerini kaplamaları elektrostatik etkilerle açıklanamamaktadır. Kalsiyumlu minerallerin yüzeyinde oleat adsorbsiyonunun kimyasal reaksiyon nedeni ile olduğu ve minerallerin yüzeyinde kalsiyum oleat bileşiğinin oluştuğu pek çok araştırmacı tarafından kabul edilmiştir (Hanna, 1976).

Fluorit flotasyonunda aminler çok az dikkate değer olmuşlardır. Amin adsorbsiyonunun esasını pozitif RNH iyonları ile, negatif yüklü mineral yüzeyi arasındaki elektrostatik çekim oluşturur. Üçüncül amin olan sapamin, kalsiti yüzdürmediği için fluoritin flotasyonunda iyi bir toplayıcıdır. Bunun yanında birincil aminler fluorit için mükemmel kollektörlerdir.

Katyonik reaktiflerin nötral molekülü (RNH_2), yüksek pH bölgesinde çökelir iken iyonik formlar RNH_3+ ve (RNH_3)ı++ asitlik pH bölgesinde hakimdirler (Sutherland, 1955).

Seçimli flotasyonun anahtarı yüzdürülecek mineralin seçimli hidrofobikliği ve artık minerallerin seçimli bastırılmasıdır. Kimyasal adsorblanan tip kollektörler ve bastırıcılar, genelde özel olarak düşünülürler.

Özellikle mineraller ortak katyon içeriyorlarsa, ayarlayıcılar seçimliliği sağlamak için istisnasız kullanılırlar.

Seçimliliği etkileyen faktörler: pH, reaktif konsantrasyonu, iyonik kuvvet, sıcaklık ve ayarlayıcı dozajıdır.

Kullanılan ayarlayıcı reaktifler:

a- İnorganik reaktifler: Silikatlar, karbonatlar, fosfatlar ve kromatlar
b- Organik reaktifler: Tannin, quebracho ve nişasta
c- Yüksek değerlikli katyonlar: Kalsiyum, demir, alüminyum vb.
d- pH ayarlayıcıları: HCl, H_2SO_4 ve NaOH.

İnorganik reaktiflerden olan sodyum silikat kuvarsı bastırmanın yanında, pülpdeki ince taneleri de dağıtma yönünde etki ettiği düşünülmektedir. Fuerstenau (1985), silikat konsantrasyonunun fonksiyonu olarak kalsit ve fluorit üzerine silikat ve oleatın adsorbsiyonunu açıklamıştır. Silikat fluorit yanında kalsit üzerine oleatın adsorbsiyonunda azalmaya neden olur. Kalsit üzerindeki silikat bastırıcısının etkisi daha çoktur.

Organik ayarlayıcı reaktifler, örneğin nişasta, tannin, quebracho ve dekstrin, fluorit flotasyonunda seçimliliği yükseltmek için yıllardır kullanılmaktadır. Bazı kısa zincir organik asitler hariç, bu reaktifler, yüksek molekül ağırlıklı ve bir takım kuvvetli hidratlanmış polar gruplar içerir. Örneğin, -OH, -COOH, $-NH_2$, $-SO_3H$, -COH gibi.

Organik ayarlayıcıların 4 tipi vardır:

a- Anyonik bileşikler örneğin, nişasta ve tanninler
b- Katyonik reaktifler örneğin, polyacrylamidler
c- Heterepolar bileşikler örneğin, proteinler ve
d- İyonik olmayan bileşikler örneğin, karbonhidratlar.

Kalsit, fluorit ve baritin seçimli flotasyonunda nişasta, kalsit, barit ve kuvarsı bastırır iken fluoritin yüzmesine izin verir. Tannin reaktifleri olan tannin ve quebracho da karbonat minerallerinin bastırılmasında kullanılmaktadır. Bu reaktifler, özellikle alkali ortamlarda kolayca hidrolize olan -OH ve sülfonat grupları ile yüksek moleküler ağırlıklı türdendirler. Tannin bileşikleri -OH grupları nedeniyle aktiftirler. Adsorbsiyon, yüklü mineral yüzeyi ve tannin türleri arasındaki elektrostatik etkileşimlerle olur.

İnorganik ve organik ayarlayıcı reaktifler beraber kullanıldığı zaman, bu reaktifler arasındaki etkileşimlerle flotasyonun daha etkili olacağı düşünülmektedir.

Flotasyonda organik reaktiflerle birlikte NaCl, NaF, Na_2SO_4, $CaCl_2$, $MgC1_2$, $AlCl_2$ ve $FeCl_2$ gibi inorganik iyonlar kullanıldığında bunların fluorit ve barit için etkileri farklıdır. Fluorit için Na_2SO_3 ve $MgCl_2$ aktivatör olarak ve $CaCl_2$ de bastırıcı olarak etki gösterirken, bu reaktifler barit için ters rol sergilerler (Hanna, 1976; Somasundaran, 1985; Fuerstenau, 1985; Atak, 1980).

Toplayıcıların etkisi kimyasal bünyeye bağlı olmakla birlikte, yüzdürme özelliği ayrıca toplayıcıların suda dağılabilme özelliğine de bağlıdır. Yani suda iyi bir dağılımın gerçekleştirilmesinde özellikle oleik asit ve türevleri için, pülpün ısırılması, reaktifin emulsifiye edilmesi gibi yollar bilinmektedir. Pahalı ve güç olmasına rağmen pülpün ısıtılması kullanılan bir yoldur (Tolun, 1980).

Gündüz ve Girgin (1994), alkil succinamont (R-845) + oleik asit karışımını kullanarak pH=6.4'de ve dört defa temizlemeden sonra %93,6 CaF_2 saflıkta fluorit konsantresini %71,5 verimi ile elde etmişlerdir.

Baldauf (1986), oleoilsarkosin ve sodyum silikat ile pH= 8,1 ile 8,5 arasında yaptıkları çalışmalarda, %96-98 CaF_2 konsantresini üç defa temizlemeden sonra, %1 $CaCO_3$'ün altında bir içerikle üretmişlerdir. Fakat verim yeterli olmamıştır. Özcan vd. (1988), yine aynı toplayıcıları kullanarak yaptıkları çalışmada, %98.02 CaF_2 içerikli konsantreyi %85 verimle elde etmişlerdir.

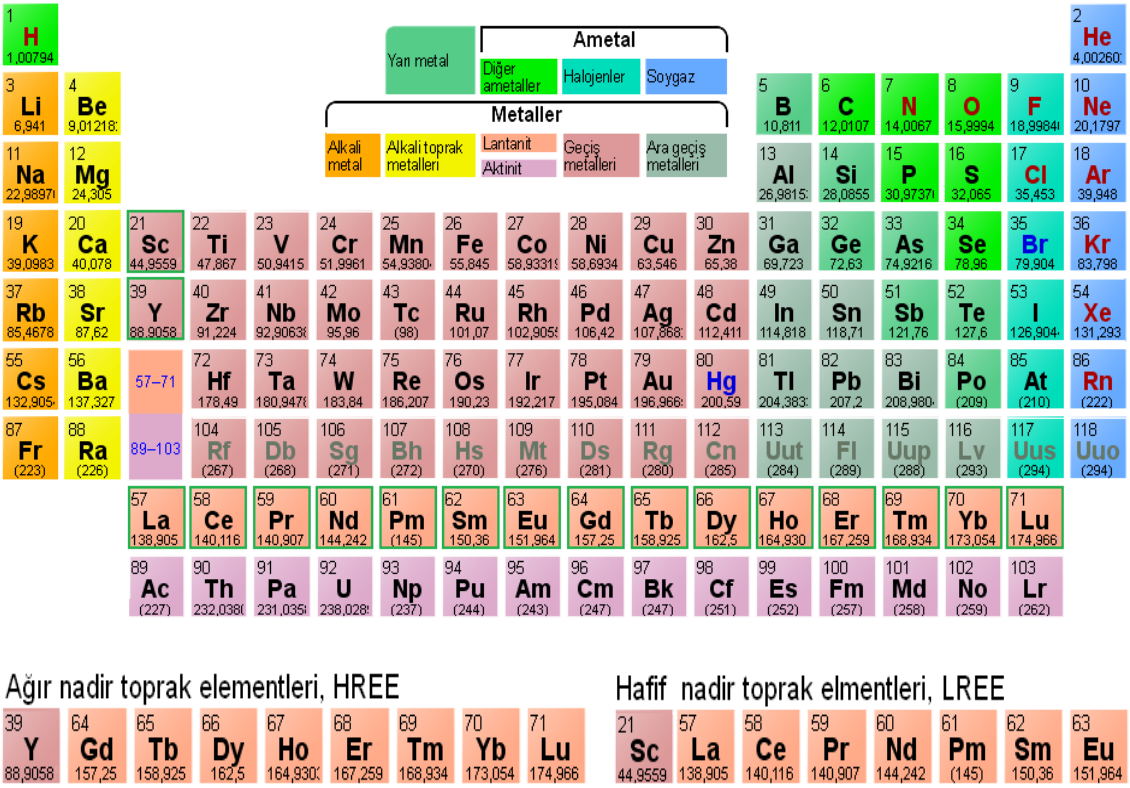
3. NADİR TOPRAK ELEMENTLERİ

Nadir Toprak Elementleri, kullanılan ürünlerin kararlı, yüksek sıcaklığa, aşınmaya, korozyona karşı dirençli olmalarını sağlamaktadır. Savunma sektöründe değişik amaçlı ileri teknoloji ürün üretiminde kullanılmaları nedeniyle NTE'ler yüzyılın stratejik ve vazgeçilmez elementleridir. 17.yüzyılda oksit bileşikleri şeklinde bulunduklarında gruplandırılamamış, oksitlerinin metale indirgenmesi çok zor olduğu ve doğada benzeri olaya sık rastlanmadığından bu elementler "nadir toprak elementleri, NTE, "rare earth elements, REE" olarak isimlendirilmiştir.

Nadir toprak elementi (NTE) itriyum, skandiyum ve lantanit serisinde yer alan ve kimyasal özellikleri birbirine benzer olan toplamda 17 adet metalik elementi içermektedir. Bu 17 elementten sadece Pm sembolü olan prometyum sentetik olarak üretilmekte olup geriye kalan 16 element doğada bulunmaktadır. Kimyasal olarak birbirlerine benzer özellikte olmalarından ötürü minerallerde ve cevher yataklarında birlikte bulunmaktadır (Gupta ve Krishnamurthy, 2015).

Nadir toprak elementleri temelde 2'ye ayrılmıştır. Bunlar; hafif olan nadir toprak elementleri (h-NTE) ve ağır olan nadir toprak elementleridir (a-NTE). H-NTE seryum grubu olarak bilinip lantandan başlayarak, europyuma kadar gitmektedir. A-NTE ise itriyum grubu olarak bilinip gadolinyumdan başlayarak, lütesyuma kadar olan elementleri içermektedir ve ek olarak itriyumu da içermektedir.

Atom numarası 39 olan itriyum ile atom numarası 21 olan skandiyum NTE içerisinde yer almalarının nedeni, NTE ile benzer çekirdek yapısı özelliklerini göstermesinden kaynaklanmaktadır. Nadir toprak elementlerinin (NTE) keşfedilmesi ile birlikte ticari, endüstriyel, tıbbi, uzay uygulamaları gibi birçok alanda kullanılmaya başlanmıştır. NTE'nin elektromanyetik, manyetik ve kimyasal özellikleri sayesinde bul alanlarda önemli bir yere sahip olmuştur (Jha, 2014). NTE'nin periyodik tablodaki yeri Şekil 3.1' de gösterilmektedir.



Şekil 3.1. Periyodik Tablo

NTE'ler Şekil 3.1'de verildiği gibi teknolojideki kullanım alanlarına göre ağır nadir toprak elementleri ve hafif nadir toprak elementleri olarak iki gruba ayrılmaktadır.

Bileşiminde %0,01'den fazla NTE bulunduran ve yaklaşık 200 adet nadir toprak minerali bilinmekle birlikte, bunlardan sadece üç tanesinin cevher minerali olarak önemi bulunmaktadır. Dünyadaki toplam Nadir Toprak Oksitlerin (NTO) %95'inden fazlasını içeren ve en çok bulunan bu mineraller;

- Bastnazit [(Ce, La)CO_3]F, (Mineral, genel olarak %73 NTO içerir.)
- Monazit ((Ce, La, Nd veya Y, Th)PO_4), (Mineral, genel olarak %71 NTO içerir.)
- Xenotim (YPO_4)'dir.

Dünya nadir toprak oksitlerinin üretimilerinin yaklaşık %80'i bastnazit, %4'ü monazit, ksenotim ve geriye kalanı diğer minerallerden yapılmaktadır.

Bilinen en büyük bastnazit yatağı, bastnazitin demir cevheri üretiminde monazit ile birlikte yan ürün olarak elde edildiği Bao Tou'dur (Çin). Cevherdeki başlıca nadir toprak mineralleri, bastnazit ve monazit olup cevherin ortalama tenörü %5-7 NTO ve %28,32 Fe'dir. Çin dışındaki ülkelerde Nadir Toprak Elementleri, genellikle monazitten üretilmekte ve ksenotim ise Malezya, Tayland ve Çin'deki kalay cevheri işletmelerinde yan ürün olarak elde edilmektedir.

Nadir toprak elementleri, yer kabuğunda yaygın olarak bulunmalarına karşın ekonomik olarak kazanılabilir konsantrasyonlarda az bulunmaktadır. Dünya rezervleri yaklaşık 120 milyon tondur. Çin, dünya nadir toprak elementleri rezervinin (oksit bazında) %40'ından fazla kısmına sahiptir. Tespit edilmemiş rezerv bakımından ise dünya rezervinin %50'sinden fazlasına sahip olduğu tahmin edilmektedir.

ABD, Avustralya, Brezilya, Kanada, Çin, Finlandiya, Grönland, Hindistan, Kırgızistan, Madagaskar, Malawi, Mozambik, Namibya, Güney Afrika, İsveç, Tanzanya, Türkiye ve Vietnam'da yeni sahalara yönelik arama ve geliştirme faaliyetleri devam etmektedir. (USGS, 2022)

Çin dışında üretim gerçekleştiren önemli firmalar Lynas Corp. ve Indian Rare Earths Ltd (IREL)'dir. Lynas Corporation firması, Avustralya'daki Mount Weld sahasında üretim yapmaktadır. Firma, üretilen cevheri konsantre ettikten sonra rafinasyon işlemlerini Malezya'daki tesisinde yapmaktadır.

Dünyanın önde gelen NTO tüketen ülkeleri başta Çin olmak üzere Japonya, ABD ve Almanya gibi ileri teknoloji ürünlerinin üretildiği ülkelerdir. Çin NT Endüstrisi Birliği, 2015 yılında 98.000 ton olan yıllık iç tüketimin (küresel tüketimin yaklaşık %68'i) 2020 yılında 149.000 ton olmasının beklendiğini belirtmiştir. Çin'de en büyük tüketim alanları mıknatıslar (tüketimin %35'i), aşındırıcılar (%18) ve katalistlerdir (%15) (USGS, 2022).

Nadir toprak elementleri doğada saf olarak bulunmazlar. NTE doğada metallerle bileşik halinde bulunmaktadırlar. Bir mineralin içinde birden fazla NTE beraber bulunabilmektedir. Bugüne kadar 250'den fazla NTE içeren mineral tespit edilmiştir. Bu minerallere rağmen en fazla 10-12 tane NTE içeren mineral değerli olarak görülmektedir.

Bu mineraller sırasıyla; bastnazit, monazit, ksenotim, foserit, parasit, fergusonit, gadolinit, eşinit, sintisit, samarskit, polikraz ve loparittir. Ancak bunlardan sadece ilk dördü endüstriyel olarak kullanılabilmektedir. Minerallerin kimyasal formülü ve nadir toprak oksit (NTO) yüzdesi Çizelge 3.1' de verilmektedir (Zhang, Zhao, Schreiner, 2016).

Çizelge 3.1. NTE minerallerinin kimyasal özellikleri ve NTO yüzdesi

Mineral	**Kimyasal formülü**	**NTO Ağırlık %**
Bastnazit	$((NT)CO_3)F$	74,8
Monazit	$((NT, Th)PO_4)$	65,1
Ksenotim	$Y(PO_4)$	62
Foserit	$(Ce,La)F_3$	83,4
Parasit	$NT_2Ca(CO_3)3F_2$	60,3
Fergusonit	$YNbO_4$	39,9
Gadolinit	$Y_2FeBe_2Si_2O_{10}$	48,3
Eşinit	$(Y,Ca,Fe)\ (Ti,Nb)_2\ (O,OH)_6$	24,6
Öksenit	$(Y, Ca, Ce)\ (Nb, Ta,\ Ti)_2O_6$	24,3
Sintisit	$Ca(Y,Ce)(CO_3)_2F$	49,6
Samarskit	$(Y,Fe,U)(Nb,Ta)_5O_4$	24,3
Polikraz	$(Y,Ca,Ce,U,Th)\ (Ti,Nb,Ta)_2O_6$	19,5
Loparit	$(Ce,Na,Ca)_2\ (T,Nb)_2O_6$	29,8

3.1. Nadir Toprak Elementinin Özellikleri

NTE'nin fiziksel, kimyasal ve termal özellikleri Çizelge 3.2'de sunulmaktadır.

Çizelge 3.2. Nadir toprak elementlerinin fiziksel, kimyasal ve termal özellikleri

Fiziksel ve Kimyasal Özellikler								
Element	Lantan	Seryum	Praseodim	Neodim	Samaryum	Evropiyum	Gadolinyum	Terbiyum
Atom No	57	58	59	60	62	63	64	65
Atom ağırlığı (g/mol)	138,91	140,12	140,91	144,24	150,36	151,97	157,25	158,92
Yoğunluk (g/cm^3)	6,146	8,16	6,773	7,008	7,520	5,244	7,901	8,230
Atom yarıçapı (pm)	187	182,5	182,4	181,4	180,4	185	180,4	177,3
İyonik yarıçap (pm)	106,1	103,4	101,3	99,5	96,4	95	93,8	092,3
Renk (oksit)	Beyaz	Kirli beyaz	Siyah	Soluk mavi	Krem	Beyaz	Beyaz	Kahverengi
Renk (çözelti)	Renksiz	+3: renksiz +4: turuncu-sarı	Yeşil-sarı	Gül rengi	+2: Koyu kırmızı +3: Sarı	+2:Soluk sarı +3: Renksiz	Renksiz	Soluk pembe
Termal Özellikler								
Ergime Noktası (metal- °C)	1918	798	931	1021	1074	822	1313	1356
Ergime Noktası (oksit- °C)	2315	Ce_2O_3: 2177 CeO_2: 2400	2183	2233	2335	2350	2420	2315
Kaynama Noktası (metal- °C)	3457	3426	3512	3068	1791	1597	3266	3223
Kaynama Noktası (oksit- °C)	4200	Ce_2O_3: 3730 CeO_2: 3500	3760	3760	4118	4118	Bilgi yok	4200

Çizelge 3.2. (devamı) Nadir toprak elementlerinin fiziksel, kimyasal ve termal özellikleri

Fiziksel ve Kimyasal Özellikler								
Element	Disprosyum	Holmiyum	Erbiyum	Tulyum	İterbiyum	Lütesyum	İtriyum	Skandiyum
Atom No	66	67	68	69	70	71	39	21
Atom ağırlığı (g/mol)	162,5	164,93	167,26	168,93	173,04	174,97	88,91	44,96
Yoğunluk (g/cm^3)	8,551	8,795	9,066	9,321	6,966	9,841	4,469	2,989
Atom yarıçapı (pm)	178,1	176,2	176,1	175,9	193,3	193,3	180	162
İyonik yarıçap (pm)	90,8	89,4	88,1	86,9	85,8	84,8	88	68
Renk (oksit)	Sarımsı beyaz	Sarımsı beyaz	Pembe	Beyaz, yeşilimtırak	Beyaz	Beyaz	Beyaz	Beyaz
Renk (çözelti)	Soluk sarı-yeşil	Sarı	Pembe	Yeşilimtırak	+2: Sarı +3: Renksiz	Renksiz	Renksiz	Renksiz
Termal Özellikler								
Ergime Noktası (metal - °C)	1412	1474	1529	1545	819	1663	1522	1541
Ergime Noktası (oksit - °C)	2408	2415	2344	2341	2355	2490	2425	2485
Kaynama Noktası (metal - °C)	2562	2695	2863	1947	1194	3395	3338	2831
Kaynama Noktası (oksit - °C)	3900	3900	3290	3945	4070	3980	4300	Bilgi Yok

3.2. Nadir Toprak Elementlerinin Doğada Bulunuşu ve Önemli Yataklar

Nadir toprak elementleri yerkabuğunda oldukça yaygın bir dağılım göstermekte ve temel kayaçları oluşturan minerallerin çoğunda genellikle çok düşük miktarlarda bulunmaktadırlar. Örneğin yaklaşık 200 dolayındaki mineralin içerdiği nadir toprak elementi miktarının %0,01 den fazla olduğu bilinmektedir. 70 dolayındaki mineralde ise nadir toprak elementleri çoğu kez yapıyı belirleyici bileşikler halinde bulunmakta ve bu tür kaynaklarda toplam nadir toprak elementi miktarı %10'un üzerine çıkabilmektedir.

Günümüzde, nadir toprak elementlerinin kazanımında bazı minerallerin değerlendirilmesi sırasında elde edilen artıklardan veya nadir toprak elementlerinin değerli mineral olarak bulunduğu cevherlerden yararlanılmaktadır. Birinci grup kaynaklara başlıca örnek olarak; apatit, brannerit, Bayer prosesi artığı kırmızı çamur ve bazı killer verilebilir (O' Driscoll, 1988). Bahsedildiği gibi nadir toprak elementi minerallerinin sayısı oldukça fazla olmakla birlikte ticari amaçla değerlendirilmekte olan minerallerin başlıcaları bastnazit, monazit ve ksenotimdir.

Bastnazit hekzagonal yapıda bir fluokarbonat bileşiği olup, seryum alt grubu nadir toprak elementlerini içermektedir. Bastnazitin nadir toprak oksitleri (NTO) içeriği %75 olmakla birlikte bu mineralin bulunduğu cevherlerde NTO miktarı %7-10 arasında değişmekte ve çok az miktarda (0.05) itriyum da bulunmaktadır. Açık sarı ile kahverengi arasındaki renklerde bulunan bastnazitin sertliği 4.5 ve özgül ağırlığı da 5'dir.

Ticari öneme sahip bastnazit yatakları; kompleks karbonat- silikat kayaçlarında damar halinde, mikalı şist ve kuvarsitleri kesen kuvars damarlarında, epitermal fluorit içeren damarlarda ve kumtaşlarında da breş dolgusu olarak bulunmaktadır. Bilinen en büyük oluşum Çin'deki Bayan Obo (Baotou) yatağı olup, bu yatakta bastnazit minerali demir mineralleri ile (hematit, manyetit, martit) birlikte bulunmaktadır. Bu yataktaki nadir toprak elementleri demir cevherlerinin zenginleştirilmesi sırasında yan ürün olarak kazanılmaktadır. Yaklaşık 36 milyon ton nadir toprak elementleri potansiyeline sahip olan bu yatakta bastnazit yanında monazit te bulunmaktadır. İkinci büyük ve en yüksek tenörlü bastnazit yatağı ise ABD'deki Mountain Pass (Kaliforniya) yatağıdır. Mountain Pass yatağındaki ana mineral bastnazittir ve tamamen NTE üretimine yönelik dünyada işletilen

tek yatak durumundadır. Ham cevherin NTO içeriği %3-10 arasında değişmektedir ve yaklaşık 3,6 milyon tonluk bir rezerv bulunduğu bilinmektedir.

Mono klinik yapıda bir fosfat bileşiği olan monazit sertlik ve özgül ağırlığı 5 olan bir mineraldir. Sarı, kırmızımsı-kahve renklerde bulunmakta ve seryum alt grubu elementlerini içermektedir. Jeolojik ortamda rastlanabilmekle birlikte önemli rezervler plaser yatakları halindedir. Plaser yataklarda diğer ağır minerallerle birlikte birikime uğramakta ve buna bağlı olarak ilmenit, rutil, kassiterit ve zirkon üretiminde yan ürün olarak kazanılmaktadır. Bu tür yataklardaki monazit tenörü %1-20 arasında değişme göstermektedir. En önemli yataklara sahip olan ülkeler Hindistan, Avustralya ve Brezilya'dır. Monazit içeren diğer plaser yataklar ise; Sri Lanka, Madagaskar, Güney Afrika, Malezya, Endonezya, Çin, Güney Kore, Uruguay ve Arjantin'de bulunmaktadır.

Ksenotim, tetragonal yapıda ve monazitle izodomorf bir mineraldir. Sarı ile kahverengimsi- yeşil arasındaki renklerde bulunmakta olup, sertlik ve özgül ağırlığı 4.5'tir. Ağır alt grubu NTE'leri ve itriyum yanında uranyum ile toryum da içermektedir. Ksenotim, volkanik ve metamorfik kayaçlar ile pegmatit ve plaserlerde bulunmaktadır. Malezya, Endonezya ve Tayland'da plaser yataklardan, özellikle kalay madenciliği sırasında, yan ürün olarak kazanılmaktadır.

Çizelge 3.3'de nadir toprak elementleri bakımından ticari öneme sahip bazı mineraller ile NTO içerikleri ve Çizelge 3.4'de de dünya NTE rezervleri ile 2019-2020 cevher üretimi değerleri verilmektedir (USGS, 2022).

Çizelge 3.3. Ticari Öneme Sahip Nadir Toprak Elementleri Mineralleri ve NTO (%) İçerikleri

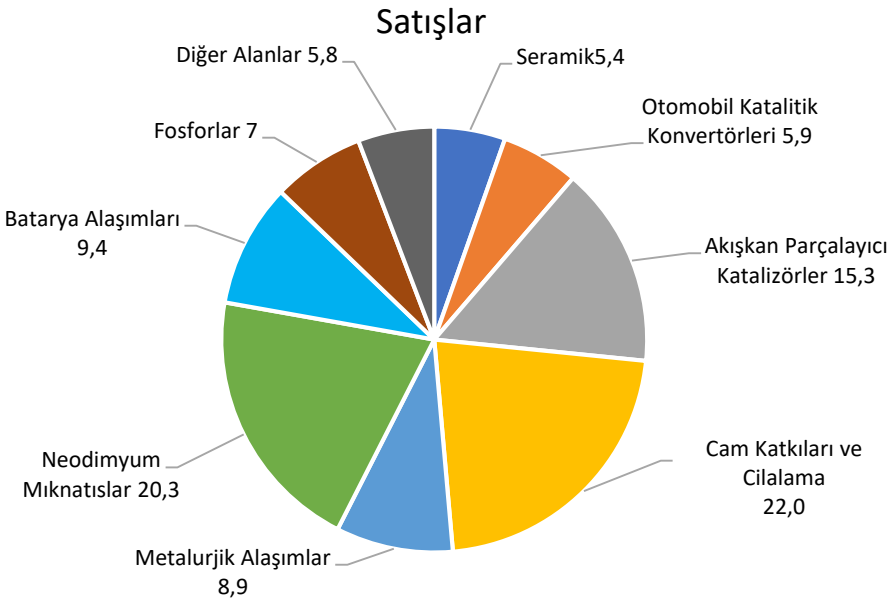
NTO	Bastnazit		Monazit		Ksenotim	
	Kaliforniya	Çin	Avustralya	Çin	Hindistan	Çin
La_2O_3	34.00	23.00	23.90	23.00	22.00	0.90
CeO_2	48.80	50.00	47.60	42.70	46.00	3.00
Pr_6O_{11}	4.20	6.20	5.16	4.10	5.50	0.60
Nd_2O_3	11.70	18.50	18.10	17.00	20.00	3.10
Sm_2O_3	0.79	0.80	2.44	3.00	2.50	2.10
Eu_2O_3	0.13	0.20	0.53	0.10	0.02	0.20
Gd_2O_3	0.21	0.70	1.09	2.00	1.20	5.00
Tb_4O_7	NA	0.10	0.09	0.70	0.06	1.20
Dy_2O_3	NA	0.10	0.25	0.80	0.18	9.10
Ho_2O_3	NA	NA	0.03	0.12	0.02	2.30
Er_2O_3	NA	NA	0.06	0.30	0.01	5.60
Tm_2O_3	NA	NA	0.01	NA	0	NA
Yb_2O_3	NA	NA	0.03	2.40	0	5.80
Lu_2O_3	NA	NA	NA	0.14	0	1.80
Y_2O_3	0.12	NA	0.71	2.40	0.45	59.30
TOPLAM	100	100	100	100	97.94	100

Çizelge 3.4. Dünya Nadir Toprak Elementleri Rezervleri ve Cevher Üretimi

ÜLKE	Üretim, Ton		Rezerv Ton (NTO)
	2019	2020	
A.B.D.	28 000	38 000	1 500 000
Avustralya	20 000	17 000	4 100 000
Brezilya	710	1 000	21 000 000
Burma	25 000	30 000	NA
Burundi	200	500	NA
Kanada	-	-	830 000
Çin	132 000	140 000	44 000 000
Grönland	-	-	1 500 000
Hindistan	2 900	3 000	6 900 000
Madagaskar	4 000	8 000	NA
Rusya	2 700	2 700	12 000 000
Güney Afrika	-	-	790 000
Tanzanya	-	-	890 000
Tayland	1 900	2 000	NA
Vietnam	1 300	1 000	22 000 000
Diğer ülkeler	66	100	310 000
TOPLAM	220 000	240 000	120 000 000

3.3. Nadir Toprak Elementlerinin Kullanım Alanları

Nadir Toprak Elementleri (NTE) benzersiz manyetik, fosforesan ve katalitik özellikleri sayesinde günümüzde büyük bir stratejik öneme sahiptir. Yeni nesil motorlar, manyetik ayırıcı, taşımacılık ve elektronik endüstrileri bu elementleri talep etmektedir. Ayrıca NTE, içerisinde bulundukları malzemeyi hafifletmekte ve yüksek sıcaklığa karşı direncini arttırmaktadır. Sc-AI, Sc-Mg, Y-AI, Y-Mg ve Nd-Mn gibi nadir toprak alaşımları, yüksek sıcaklıklarda korozyon direncini arttırmaları ve kuvvetli oksitlenmeyi önleyici rolleri sayesinde metalürjide ve birçok alanda yaygın olarak kullanılmaktadırlar. Örneğin bu elementler cep telefonları ve televizyonlar, LED ampuller ve rüzgâr türbinleri teknolojilerinde kritik öneme sahiptir (Balaram, 2019).



Şekil 3.2. NTE Kullanım alanları yüzdesi

Son otuz yıl boyunca, bilgisayar belleği, DVD'ler, şarj edilebilir piller, oto katalitik konvertörler, süper mıknatıslar, cep telefonları, LED aydınlatma, süper iletkenler, cam katkı maddeleri gibi çeşitli teknoloji cihazlarında; floresan malzemeleri, fosfat bağlama maddeleri, güneş panelleri ve manyetik rezonans görüntüleme (MRI) malzemelerin üretiminde NTE benzeri görülmemiş bir oranda kullanılmaktadır. Nadir toprak elementlerinin dolmamış 4f elektronik yapılarından kaynaklanan eşsiz fiziksel, kimyasal, manyetik ve parlaklık özellikleri nedeniyle, birçok teknolojik üretiminde avantaj sağlamaktadır.

Yıllık yaklaşık 100 bin ton üretim/kullanım miktarına sahip NTE, mıknatıs (yeni nesil otomobillerde), katalizör (araç emisyonları ve petrol parçalama), cam temizleme tozu (televizyon ekranları için), cam veri depolama sürücüleri, yeniden şarj edilebilir piller (özelikle hibrit araçlarda kullanılan) ve fotonikler (lüminesans, floresans ve ışık güçlendirici ekipmanlar) gibi kullanım alanlarına sahiptir (Lucas, Lucas, Mercier, Davenport, 2015).

Dünyanın 2012 yılında tükettiği nadir toprak elementi miktarı Çizelge 3.5'te gösterilmektedir. Seryum, lantan ve neodim, diğer NTE'lere göre daha fazla kullanılmıştır. Yüksek atom numarasına sahip a-NTE (holmiyum, erbiyum, tülyum, iterbiyum ve lütesyum) 1 kilotonun altında kullanılmıştır (Lucas vd., 2015).

Çizelge 3.5. 2012 yılında NTE'nin kullanım miktarları

Element (Sembol)	Atom Numarası	NTE tüketimi (kiloton)
Lantan (La)	57	22
Seryum (Ce)	58	39
Praseodim (Pr)	59	05
Neodim (Nd)	60	16
Samaryum (Sm)	62	2
Evropiyum (Eu)	63	<1
Gadolinyum (Gd)	64	1
Terbiyum (Tb)	65	<1
Disprosyum (Dy)	66	2
Holmiyum (Ho)	67	<1
Erbiyum (Er)	68	<1
Tülyum (Tm)	69	<1
İterbiyum (Yb)	70	<1
Lütesyum (Lu)	71	<1

NTE'nin kullanım alanları ve yüzdece dağılımları Çizelge 3.6'da verilmiştir. En yaygın olarak, mıknatıslar, katalizörler, parlatma tozları ve yeniden şarj edilebilir bataryalarda kullanılmaktadır. Diğer kullanım alanlarında tüketimleri az görünse de teknolojik olarak önemlidir (Lucas vd., 2015).

Çizelge 3.6. Nadir toprak elementlerinin kullanım alanları

Kullanım alanı	Yüzdesi
Kalıcı Mıknatıslar	20
Parlatma tozları	16
Katalizör	12
Yenilenebilir batarya elektrotu	10
Metalurji alanında (örneğin NTE-Mg alaşımı)	9
Fosfor	8
Otomobiller de gaz kirliğini azaltmak için katalizör olarak	7
Cam katkı maddeleri	6
Seramikler	5
Diğerler alanlar	7

NTE yaygın olarak kalıcı mıknatısların, bataryaların üretiminde, seramik ve camların üretiminde katkı malzemesi olarak kullanılmaktadır. Nadir toprak elementlerinin bazı kullanım alanlarında ne kadar kullanıldığı hakkında şöyle bir örnek verilebilir: Standart bir cep telefonunda 0,0005 kg NTE kullanılırken, bu kullanım bir klimada 0,12 kg'a kadar çıkmaktadır. Hibrit yakıtlı bir otomobilde (örnek: Toyota'nın Prius modeli) yaklaşık olarak 15 kg NTE kullanılırken, bir savaş uçağında (Lockhead-Martin F-35) yaklaşık olarak 416 kg NTE kullanılmaktadır. Navy Surface isimli savaş gemisinde ise yaklaşık olarak 1818 kg nadir toprak elementi kullanılmıştır. Elektronik cihazlarının kullanımın artmasıyla birlikte NTE'nin kullanım miktarları da artmaktadır (Ganguli ve Cook, 2018:5).

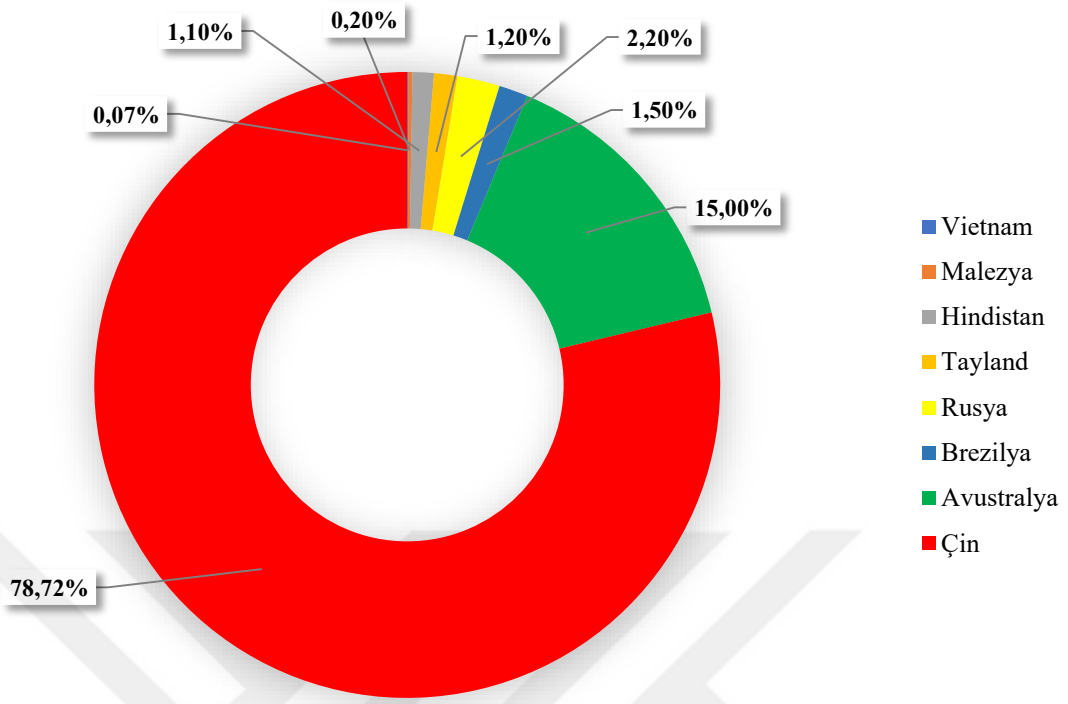
Nadir toprak elementleri, CO_2 ve diğer emisyonları azaltmaya yardımcı olan rüzgar türbinleri, elektrikli araba pilleri ve enerji tasarruflu ışıklar da dahil olmak üzere birçok gelişmiş enerji teknolojisinde kullanılır. Nadir toprak elementleri kompakt floresan aydınlatma, LED aydınlatma ve fiber optik için gereklidir. Nadir toprak mıknatıslarını kullanan yeni bir teknoloji olan manyetik soğutma, ev ve ticari kullanım için buzdolaplarının enerji verimliliğini potansiyel olarak artırabilir. Nadir toprak elementleri, yeni enerji teknolojilerimiz için kritik öneme sahiptir. Nadir toprak elementlerinin sektörlere göre ve elementlere göre olan kullanım alanı Çizelge 3.7'de sunulmaktadır.

Çizelge 3.7. Nadir toprak elementlerinin sektör bazda kullanım yerleri

Sektörler	Alt Sektörler	Y	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Ed	Gt	Tb	Dy	Ho	Eu	Tm	Yb	Lu	Sc
Katalizör	Gelişmiş su arıtımı		**X**	**X**													
	Emisyon kontrolü		**X**	**X**													
	Akışkan kırma katalizörü		**X**	**X**													
Seramikler	Alüminyum nitrit	**X**										**X**					
	Kondansatör	**X**	**X**	**X**	**X**	**X**	**X**		**X**		**X**		**X**				
	Oksijen sensörleri	**X**															
	Ptc termistör	**X**	**X**		**X**				**X**		**X**						
	Silikon nitrit	**X**															
	Sentetik taşlar	**X**		**X**	**X**	**X**				**X**			**X**				
	Termal kaplama														**X**		
	Zirkonyum nitrit	**X**		**X**							**X**		**X**		**X**		**X**
Elektronik	Global konumlandırma sistemi	**X**							**X**	**X**	**X**						**X**
	Havacılık teknolojisi	**X**		**X**	**X**	**X**			**X**				**X**	**X**			
	Rehberlik ve kontrol sistemleri									**X**	**X**		**X**				
	Sabit diskler					**X**											
	Tabletler	**X**	**X**	**X**	**X**	**X**	**X**			**X**							
	Nötron radyografisi		**X**				**X**		**X**								
	Gece görüş ekipmanı	**X**	**X**									**X**	**X**		**X**		
	Akıllı telefonlar			**X**	**X**	**X**	**X**				**X**						

Çizelge 3.7. (devamı) Nadir toprak elementlerinin sektörlere göre kullanım alanları (Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, 2017)

Sektörler	Alt Sektörler	Y	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Ed	Gt	Tb	Dy	Ho	Eu	Tm	Yb	Lu	Sc
Enerji	Yüksek sıcaklık süper iletkenleri	**X**	**X**			**X**	**X**	**X**	**X**		**X**		**X**	**X**	**X**	**X**	
	Hidrojen depolama alaşımı		**X**														
	Nükleer enerji	**X**						**X**	**X**		**X**						
	Katı oksit yakıt hücreleri	**X**	**X**														
	Rüzgar türbinleri			**X**	**X**	**X**	**X**			**X**	**X**						
Cam	Boyama			**X**	**X**	**X**							**X**				
	Ağartmak, soldurmak			**X**	**X**	**X**							**X**				
	Ekran	**X**	**X**	**X**				**X**		**X**							
	Cilalama			**X**													
Manyetizma	Manyetik optik diskler					**X**			**X**	**X**	**X**						
	Manyetostriktif güç çevirici	**X**							**X**								
	Daimi mıknatıslar			**X**	**X**	**X**	**X**			**X**	**X**	**X**					
İlaç	MR için kontrast madde								**X**								
	Tıbbi cihazlar								**X**					**X**			
	İlaçlar		**X**						**X**								
	X-ray CT için sintilatör	**X**			**X**			**X**	**X**					**X**			
Metalurji	Demir çelik için katkı		**X**	**X**													
	Hibrit araç		**X**	**X**													**X**
	Süper alaşım	**X**							**X**			**X**					**X**
Optik	El (elektro lüminesans)			**X**	**X**		**X**	**X**		**X**				**X**			
	Floresan lamba	**X**	**X**	**X**				**X**	**X**	**X**							
	Işık yayan diyotlar LED	**X**				**X**											
	Metal halide lamba					**X**					**X**			**X**			
	Optik lif	**X**	**X**			**X**							**X**	**X**	**X**	**X**	
	Optik lens	**X**	**X**											**X**	**X**	**X**	
	Katı lazer YAG	**X**				**X**											
	X ışını yoğunlaştırıcı ekranlar								**X**	**X**							



Şekil 3.3. Nadir toprak elementlerinin farklı ülkeler bazında kullanımı

Amerika Birleşik Devletleri'nde nadir toprak elementleri için baskın olan son kullanım alanı otomotiv sektörüdür. Katalizörler ve petrol rafineri katalizörlerinde, renkli televizyonda ve düz panel ekranlarda (cep telefonları, taşınabilir DVD'ler ve dizüstü bilgisayarlar), sabit mıknatıslar ve şarj edilebilir elektrikli araçlar için üretilen pillerde ve çok sayıda tıbbi cihazda kullanımlar mevcuttur. Jet motorları, füze güdüm sistemleri, füze karşı savunma sistemleri gibi önemli savuma uygulamaları ile uydu ve iletişim sistemlerinde de kullanımları vardır. Birçok elektrik ve elektronik bileşenlerinin neodimyum, gadolinyum, disprosyum ve terbiyum (NdFeB) içeren sürekli mıknatıslarında, rüzgar türbinleri için yeni nesil jeneratörlerde de kullanılmaktadır. NdFeB mıknatıs üretiminin %75'i Çin'de yoğunlaşmıştır. Diğer %22'si ise Japonya'da üretilmektedir (Humphries, 2010).

3.4. Nadir Toprak Elementlerinin Üretim Akış Şemaları

Dünyada NTE üretimi veya NTE maden üretimi yapan firmalar, işletme modelleri, üretim kapasiteleri ve çalıştıkları saha hakkındaki bilgiler Çizelge 3.8'de sunulmaktadır.

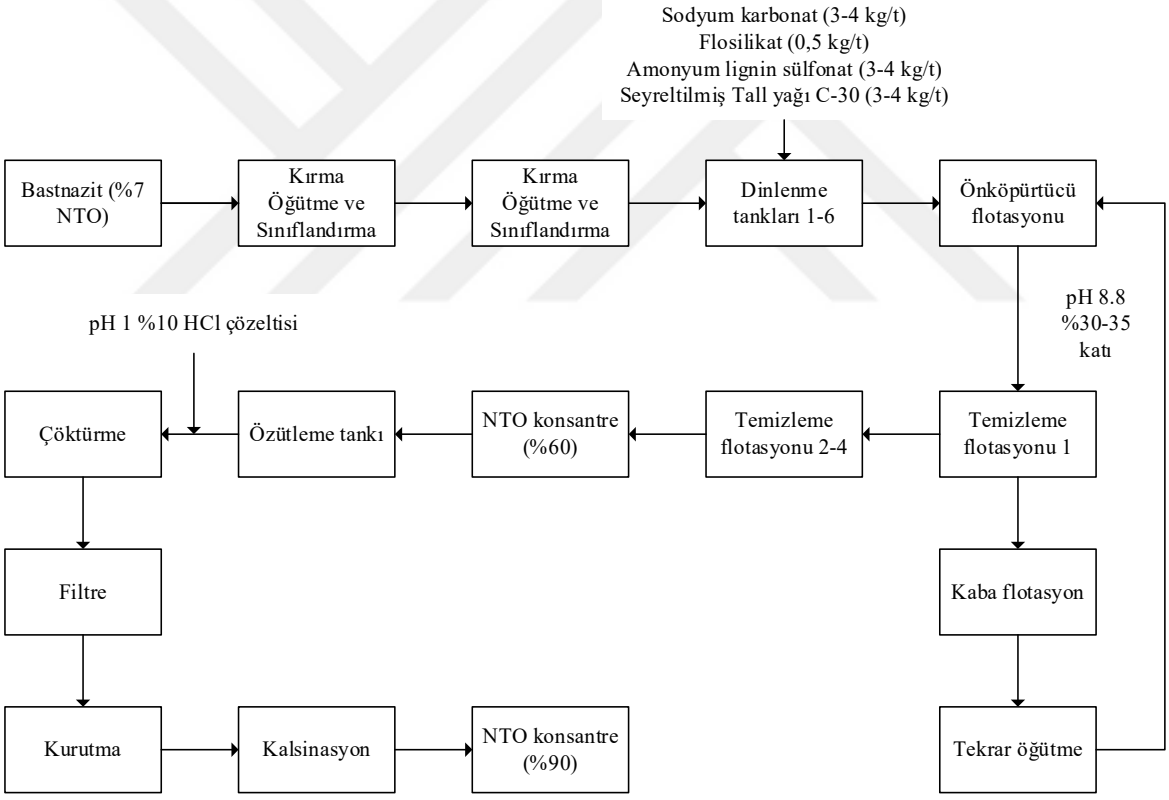
Çizelge 3.8. NTE üreten şirketler ve işletme modelleri

İşletme adı	Ülke	İşletme Modeli	Yıllık üretim kapasitesi (ton/yıl)	Ortalama Tenör (NTO)
Molycorp Minerals	Kaliforniya, ABD	Flotasyon/Özütleme/Çöktürme ile konsantre üretimi	3000	%8,9
Lovozersky Mining Company	Kola Yarımadası, Rusya	Flotasyon ile zenginleştirme	3000-4400	%1
Solikamsk Magnesium Works	Kola Yarımadası, Rusya	Gravite ve manyetik ayırma ile yan ürün olarak NTE maden üretimi	6500	%2- 3
Lynas Corp Mt Weld	Batı Avustralya	Flotasyon ile zenginleştirme	10500	%10- 12
Rareco/Great Western Mineral Group	Steenkramskaal, Güney Afrika	Gravite, manyetik ayırma, flotasyon, kostik parçalama, asit özütleme, solvent ekstraksiyon, çöktürme	3000	%1
Sumimoto/Kazatomprom	Kazakistan	Bilgi yok	3000	Bilgi yok
Toyota/Sojitz	Dong Pao, Vietnam	Bilgi yok	300	%5
Toyota/Indian Rare Earths	Orissa, Hindistan	Manyetik ayırma ile monazit üretimi	5000	%0,3476
Mitsubishi/Neo Material Technologies Pitinga	Brezilya	Manyetik ayırma ile monazit üretimi	500	%0,8
Alkane Resources	Dubbo, Avustralya	Manyetik ayırma ile monazit üretimi	2600	%0,89
China Minmetals Rare Earth Co	Jiangxi, Çin	Yerinde özütleme, solvent ekstraksiyon, çöktürme	45000	%0,5- 1
Inner Mongolia Baotou Steel	Bayan Obo, Çin	Manyetik ayırma, flotasyon, sallantılı masa. Sülfürik asit ile kavurma, su özütülmesi, çöktürme, HCl ile özütlemesi Solvent ekstraksiyon, karbonat ve oksalat çöktürmesi, kalsinasyona ergimiş tuz elektrolizi ile metal üretimi	55000	%6,9

3.4.1. Molycorp – Mountain Pass, Kaliforniya, ABD

Bayan Obo bölgesinde üretim başlayana kadar dünyadaki en fazla nadir toprak oksitleri (NTO) üretiminin yapıldığı yerdir. Bayan Obo bölgesindeki üretim miktarı arttıkça düşen satış fiyatları, bu bölgedeki üretimin işletilebilir olmamasına sebep olmuştur (Krishnamurthy ve Gupta, 2015).

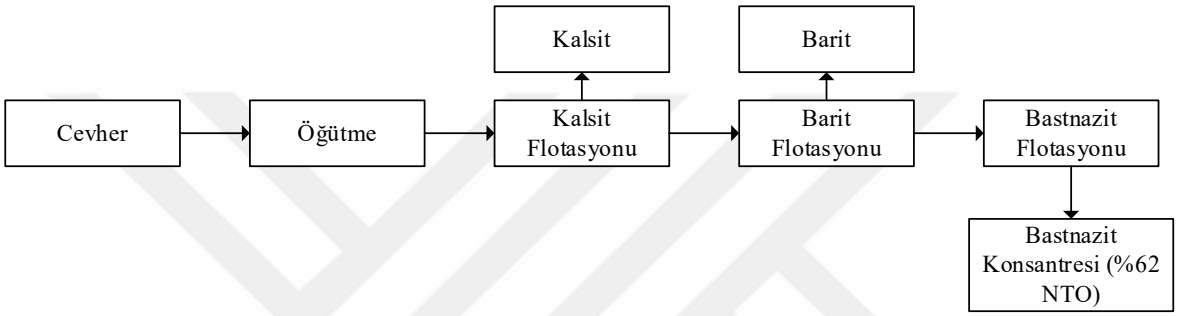
Güncel olarak üretim Molycorp firması tarafından yapılmaktadır. Tesis, konsantre bastnazit üretimi üzerine çalışmakta ve NTE ayırma işlemi yapmamaktadır. Üretim şeması Şekil 3.4.'te sunulmuştur (Krishnamurthy ve Gupta, 2015).



Şekil 3.4. Molycorp, Mountain Pass üretim şeması

3.4.2. Baotou, Bayan Obo, Çin

1995 yılından itibaren dünyanın öncü NTE üretim tesisi olan Bayan Obo tesisi, yıllık 55000 ton NTE üretimi yapmaktadır. Bu tesiste, saf metal üretimi ile çeşitli NTE bileşiklerinin üretimi de yapılmaktadır. Kaynaklardan edinilen bilgilere göre, Çin, duyurduğundan daha fazla NTE üretimi yapmakta ve stok oluşturmaktadır. Bu tesiste konsantre üretimine kadar olan süreç Şekil 3.5'te sunulmuştur (Krishnamurthy ve Gupta, 2015).



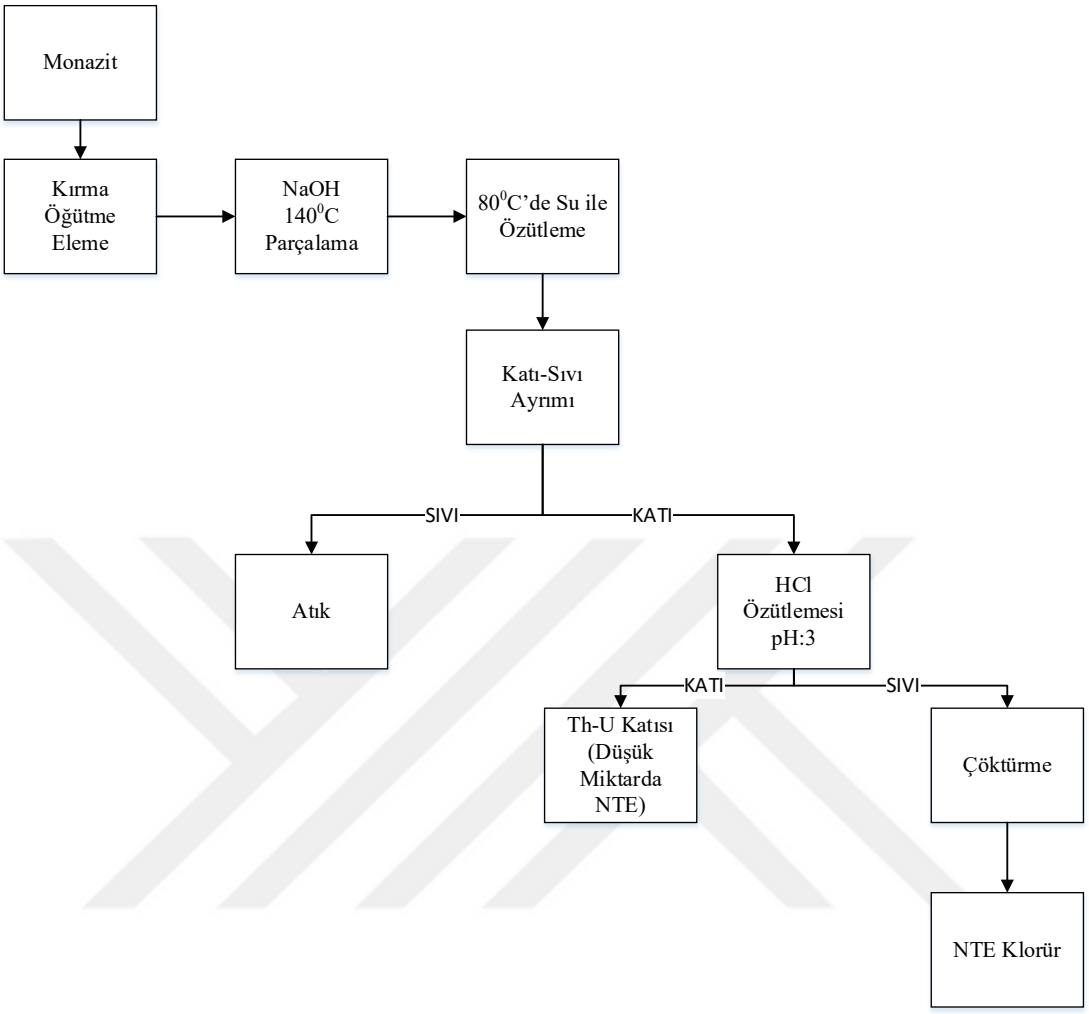
Şekil 3.5. Bayan Obo konsantre üretimi

3.4.3. Lynas, Mount Weld, Batı Avustralya

Mount Weld sahası, dünyadaki en zengin NTE üretim sahalarından biridir ve Çin dışındaki en büyük üretimin gerçekleştirildiği sahadır. Lynas şirketi, 2008 yılında bu sahada üretime başlamıştır. Açık ocak madenciliğini takiben flotasyon ile üretilen %40 NTO konsantresi, bu sahadan işlenmek için Malezya'daki Lynas tesislerine iletilmektedir. Bu tesislerde, NTE ayırma prosesleri uygulanmakta ve son ürün olarak NTO üretilmektedir (Krishnamurthy ve Gupta, 2015)

3.4.4. Indian Rare-Earth Limited

Toryum ve uranyum içeren monazit cevherinden Orissa sahasından monazit üretimi yapılmakta ve sonrasında monazitten NTE üretimi yapılmaktadır. Üretilen NTE bileşiği türü değişebilmektedir. Şekil 3.6'da Hindistan monazit cevherinden NTE üretimi akış şeması sunulmaktadır (Krishnamurthy ve Gupta, 2015).



Şekil 3.6. Indian Rare Earths şirketinin monazitten NTE üretim akış şeması

3.5. Nadir Toprak Elementleri ve Bileşikleri Eldesi Yöntemleri

NTE'leri monazit ve ksenotim gibi fosfatlı, bastnazit gibi karbonatlı kayaçlardan ekonomik olarak zenginleştirip kazanılmaktadır. NTE oluşumları alkali kayaç bileşikleri, karbonatitler ve plaserlere bağlıdır. Ayrıca NTE'ler ikincil pegmatitler ile değişim geçirmiş kayaçların yapılarında da yer almışlardır.

Bastnazit



Monazit



Ksenotim



Şekil 3.7. Nadir Toprak Elementleri

Bastnazit $(LaCe)FCO_3$), % 66-77 arasında NTO içeren karbonat, monazit (La,Ce, Nd,Th) PO_4, NTE içeren fosfat, ksenotim (YPO_4) yitriyum fosfat mineralleridir. Bunların yanı sıra NTE'ler uranyum ve apatit cevheri atıklarından da kazanılmaktadır. Yitriyum, skandiyum ve diğer NTE'ler yan ürün olarak da kazanılmaktadır. Boksitten alümina üretim sürecinde artık olarak çıkan kırmızı çamur skandiyum kaynağıdır.

NTE'lerin zenginleştirilmesi oluşumu gibi oldukça karmaşıktır. Öncelikle cevherdeki NTE'leri içeren mineraller toplu sonra da seçimli konsantre olarak birbirlerinden ayrılmaktadır. NTE konsantresi üretim sürecinde çok değişik yöntemler uygulanmaktadır. Dünyadaki nadir toprak minerallerin oluşumları birbirinden farklıdır. Oluşum itibarı ile benzer yataklarda, hatta aynı cevher yatağının değişik bölgeleri için farklı zenginleştirme yöntemleri uygulanması gerekmektedir. Bu nedenle NTE yataklarının zenginleştirilmesi tasarlanırken yatağın değişik yerlerinden alınan örnekler üzerinde ayrı ayrı ve harmanlanarak çalışılmasında yarar vardır. Ayrıca laboratuvarda elde edilen olumlu sonuçların her zaman endüstriyel boyutta uygulanır olamayacağı göz ardı edilmeden alınan sonuçların pilot boyutta hazırlanacak bir tesiste test edilmesi, tesis kurulduğunda hayal kırıklığına uğranılmaması açısından önemlidir.

Zenginleştirme yöntemleri üretilecek NTE'lerin kullanım amacına bağlıdır. Nadir toprak klorürleri, genelde mıknatıs üretimi için elektrolitik indirgemeyle metale dönüştürülmektedir. Nadir toprak florür ve oksitleri de elektrolitik ve ısıl işlemle indirgenerek metal üretilmektedir. Nadir toprak halojenürleri, sulu nadir toprak çözeltilerinin oksit veya karbonatlı bileşiklere dönüştürüldükten sonra uygun halojen asidi ile tepkimeye sokulmasıyla elde edilmektedir.

Diğer NTE'leri uranyum ve apatit zenginleştirme süreçlerinde atıklardan da üretilmektedir. Yitriyum ve skandiyum yan ürün olarak kazanılmaktadır. Boksitten alümina üretimindeki atık olarak alınan kırmızı çamur önemli bir skandiyum kaynağıdır.

NTE'lerin üretiminde öncelikle mineraller zenginleştirilerek konsantre üretilmektedir. Üretilen konsantre asidik veya bazik ortamda özütlenerek itriyum dışındaki elementlerden oluşan mischmetal (karışık metal) olarak isimlendirilen yüksek saflıkta metal ve alaşımlar elde edilmektedir. Süreçteki her aşama bir öncekine göre daha karmaşık ve teknoloji gerektirmektedir (Yıldız, 2014).

NTE'leri üretilen konsantrenin iyon değiştiricilerle ya da uygun sıralı ısıl işlemle birbirlerinden ayrılmaktadır. Saf nadir toprak oksitler de indirgenerek nadir toprak metalleri üretilmektedir. Samaryum ve evropiyum oksitler metalik lantanyum ve seryumla indirgenerek metal halinde getirilmektedir.

Nadir toprak elementlerinin kazanımında ilk adımı cevherin fiziksel yöntemlerle zenginleştirilmesi sonucu konsantre eldesi oluşturmaktadır. Fiziksel zenginleştirme yöntemleri ile elde edilen konsantrenin tenörü yeterince yüksek olmadığında (<%60 NTO) doğrudan veya kavurma işlemini takiben mineral asitleriyle (HCl, HNO_3 ve H_2SO_4) liç uygulaması yapılmakta ve %60-85 NTO tenörlü pazarlanabilir nitelikli konsantreler elde edilmektedir. Liç işleminden sonraki adımı ise nadir toprak elementlerinin solvent ekstraksiyonu veya iyon değişimi yoluyla birbirinden seçimli olarak ayrılması oluşturmaktadır. Söz konusu fiziksel ve kimyasal karakterli işlemler dizisini takiben nadir toprak elementleri elementel halde, saf bileşikleri halinde veya karışık elementel halde (mischmetal) elde edilebilmektedirler. Fiziksel ve/veya kimyasal karakterli işlemler dizisi cevherdeki nadir toprak elementlerinin cinsi ile elde edilmesi düşünülen son ürüne bağlı olarak farklılıklar göstermektedir.

3.5.1. Fiziksel Zenginleştirme Yöntemleri

Mountain Pass bastnazit yatağına ait %8 CeO_2, %10 diğer nadir toprak oksitli bastnazit, %20 barit, limonit, eser toryum, uranyum ve kuvars içeren cevher örneğinden boyutlandırma ve 2.92 özgül kütleli ağır ortam ayırması sonucu %13 CeO_2, %15 diğer nadir toprak oksitleri ve %26 $BaSO_4$ içeren konsantre üretilmektedir. Ayrı bir örnekten, boyutlandırma ve sallantılı masa ayırması ile %19 CeO_2, %21 diğer nadir toprak oksit tenörlü konsantre %60 CeO_2 verimiyle kazanılmıştır. Örneklerin -0.42+0.297 mm fraksiyonundan manyetik ayırma ile %20.80 CeO_2 tenörlü konsantre %96 verimle elde edilmiştir (Zadra vd., 1952).

Scrub Oaks demir yatağına ait kuvars, plajiyoklaz, feldspat, manyetit, zirkon, bastnazit ve ksenotim mineralleri içeren %2.32 nadir toprak oksit, %27.20 Fe ve %0.04 U tenörlü cevher numunesine uygulanan yaş manyetik ayırma, sallantılı masa ve yüksek alan şiddetli manyetik ayırma işlemleriyle %34.4 nadir toprak oksit tenörlü konsantre %45.8 verimle kazanılmıştır (Williams, 1967). Bir Amerikan patentinde, -7.5+0.65 mm boyutlu karbonatlı nadir toprak cevherinin, yaklaşık 1000°C'de kalsine edilmesi ve suda çözünen maddelerin ayrılmasından sonra, cevherdeki barit sallantılı masa ile uzaklaştırılarak nadir toprakların zenginleştirilebileceği ifade edilmektedir (Kasey, 1956).

3.5.2. Fiziko-Kimyasal Zenginleştirme Yöntemleri

Bastnazit, az çözünür tuz tipi mineraller grubundadır. Bu tür minerallerin yüzey özelliklerinin benzer olması ve sulu ortamda bir mineralden çözünen iyonların diğer mineral yüzeyinde adsorplanması nedeniyle birbirlerinden seçimli olarak ayrılmaları güçtür.

Mountain Pass cevher numuneleriyle, sodyum oleat, potasyum hidroksit ve amonyum lignin sülfonat ortamında yapılan bastnazit-barit flotasyonunda; bastnazitin eş elektrik noktası (pH 4.8) üzerinde oleatın kimyasal olarak bastnazit adsorplandığı, amonyum lignin sülfonatın her iki mineral yüzeyinde adsorplanmasına rağmen barit üzerine daha kolay ve kimyasal adsorplanarak onu bastırdığı belirtilmiştir (Gerdel ve Smith, 1989).

Fangji vd. (1989), sodyum silikat, kalsiyum karbonat ve değişik toplayıcılarla, pH 8.5-9.5 arasında Bayan Obo cevher örnekleri üzerinde yapılan bastnazit flotasyonunda H-205 toplayıcının, $C_{5.9}$ alkil hidroksamik asit ve naftanik hidroksamik asit toplayıcılarından daha seçici olduğunu ve H-205 toplayıcısının polar grubunun bastnazit iyonları ile dengeli bileşikler yaptığı ifade etmektedirler.

%80'i -0.15 mm olacak şekilde boyutu küçültülen malzemeye flotasyon öncesi altı farklı koşullandırma işlemi uygulanmaktadır. Bu işlemler sırasında soda külü (2.5-3.3 kg/t), sodyum fluosilikat (0.4 kg/t), amonyum lignosülfonat (2.5-3.3 kg/t), tall oil (0.3 kg/t) kullanılmaktadır. Daha sonra pH=8.8 de uygulanan flotasyon işleminde %30 NTO tenörlü kaba konsantre elde edilmektedir. Dört kademe yıkama işlemini takiben konsantre tenörü %60-63 NTO değerine ulaşmakta ve konsantre kazanma verimi de %65-70 dolaylarında olmaktadır (Pradip ve Fuerstenau, 1991).

Mountain Pass cevher örneklerinde bastnaziti yüzdürmek için değişik kollektör ve kontrol reaktifleriyle yapılan çalışmalarda, 40-45°C pülp sıcaklığı ve pH 10 ' da Westvaco L-5 (%5 reçine asidi+ yağ asidi) kollektörü, amonyum lignosülfonat, sodyum karbonat ve sodyum flüorür kontrol reaktifleri kombinasyonunun oldukça iyi sonuç verdiği anlaşılmıştır (Morrice ve Wong, 1982).

Bastnazit, monazit, fluorit, kalsit ve barit içeren cevher numunesinden sodyum dodesil sülfat, dodesil amonyum asetat, N-oleil sarkosin ve sodyum oktadesil sassinamat (Aero 845) kollektörleri ile bastnazitin yüzdürülmesi çalışmalarında en iyi sonuç N-oleil sarkosin ile elde edilmiştir (Tsunekawa vd., 1988).

Bayan Obo cevher numunelerinden bastnaziti kazanmak için yapılan flotasyon çalışmalarında, amonyum klorür ve sodyum silikat kontrol reaktifleriyle 802- ve 804-kenetli kollektörleri kullanılmıştır. Deneylerde optimum pH 4-5.5 olup zayıf asidik pülpte Al^{3+} iyonları önce monazitin, iyon konsantrasyonunun artışı ile de bastnazitin batmasına neden olmaktadır. 804 toplayıcısı monazit ve bastnazit, 802 ise bastnazit için seçimlilik sağlamaktadır (Xinmen ve Linsen, 1988).

Shufang ve Sheng (1988), Bayan Obo cevher numunelerinden seçimli olarak bastnazitin yüzdürülmesi deneylerinde 802 kenetli toplayıcının nötr ve zayıf alkali ortamda bastnaziti ve monaziti, zayıf asidik ortamda ise bastnaziti yüzdürdüğünü belirtmektedirler.

3.5.3. Kimyasal Zenginleştirme Yöntemleri

Bastnazit minerali H_2SO_4, H_3PO_4, HCl ve HNO_3 ile liç işlemine tabi tutularak nadir toprak elementlerinin sülfat, fosfat, klorür ve nitratlar halinde çözeltiye geçmeleri sağlanmaktadır (Eyring, 1964; Eisele ve Bauer, 1974; Xinmen ve Linsen, 1988; Aplan, 1989).

Barit, kalsit ve stronsiyum sülfat içeren %7.05 nadir toprak oksit tenörlü bastnazit cevherinden, %10'luk HCl çözeltisiyle liç yapılarak kalsit, geriye kalan çökeltiden derişik H_2SO_4 liçiyle baryum ve stronsiyum çözeltiye alınmakta ve takiben nadir topraklar çözünmeyen kısımlarda toplanarak kazanılmaktadır. (Eisele ve Bauer, 1974).

Gülovalı (1982) ile Tarhan vd. (1983) tarafından yapılan çalışmalar sonucunda, Eskişehir-Sivrihisar-Beylikahır cevher örneklerinden 75°C sıcaklıkta H_2SO_4 ve HNO_3 çözücüleri ile liç yapılarak nadir toprakları çözeltiye almada HNO_3'ün daha etkili bir çözücü olduğu anlaşılmıştır.

Bastnazit konsantresi, 500-600°C'de kalsine edilerek Ce^{3+} Ce^{4+}'e yükseltgenmekte ve HCl'de çözünmez duruma getirilerek liç çözeltisinden ayrılan katı kısımda birikmesi sağlanmaktadır (Mackey, 1986).

Nadir toprak minerali liç çözeltilerinden, hipoklorür, persülfat ve permanganatlarla Ce^{3+}, Ce^{4+}'e yükseltgenerek pH>2'de çöktürülmekte ve filtrasyon yoluyla ayrılarak kazanılmaktadır. Çözme-çöktürme işleminin birkaç defa tekrarlanmasıyla %99'un üzerinde saflıkta ürün alınabileceği ifade edilmektedir (Bauer ve Lindstrom, 1968).

Seryum grubu nadir toprak elementleri içeren H_2SO_4, HCl ve HNO_3 çözeltilerinden seryum ve lantan seçimli olarak ozon ile çöktürülebilmektedir. 25°C ve 85°C sıcaklıklarda, farklı pH 'larda yapılan ozon ile oksitlenme-seçimli çöktürme çalışmalarında 25°C sıcaklık

ve pH 4.5'te CeO_2 çöktürülerek kazanılmıştır. İki kademeli olarak yapılan çalışmada, pH 6.5 ve 85°C sıcaklıkta ozon oksitlenmesiyle lantan dışındaki nadir toprak oksitleri çöktürülerek çözeltiden lantan kazanılmakta, sonra çökeltideki nadir topraklar tekrar çözülerek 25°C Ce pH 4.5'te ozon oksitlemesiyle CeO_2 seçimli olarak çöktürülerek ayrılmaktadır. Oksitleyici olarak oksijen veya hava kullanılmasının, tüm nadir toprak oksitlerinin çökmesine neden olduğu ifade edilmektedir (Bauer ve Lindstrom, 1968).

Nadir toprakların, klorür çözeltilerinden iyon değiştirme yöntemiyle ayırımında etilen di-amin tetra asetik asit (EDTA), hidroksi etil etilen di-amin asetik asit (HEDTA) ve di-etilen tri-amin penta asetik asit (DTPA) türü yıkayıcılar ile Fe^{3+}, Ca^{2+}, Cu^{2+} ve H^{+} tutucu iyonları kullanılmaktadır (Spedding ve Powell,1954).

Solvent ekstraksiyon sistemi ile nadir toprakların ayırımı ve kazanılmasında başlıca ekstraktantlar; nitrat çözeltileri için tri-bütil fosfat (TBP), alkil fosforik asit, üçüncül amin (Aliquant 336, Adojen) ve alkoller, klorür sistemleri için fosforik asitler, asetil aseton, üçüncül karboksilik alifatik asitler (Versatic 911) ve sülfat sistemleri için de alkil fosforik asit ile birincil aminlerdir (Ritchey ve Ashbrook, 1979; Gasparini, 1991).

Solvent ekstraksiyonla sulu klorür çözeltilerindeki La^{3+} ve Ce^{3+} ayırımında, azot içeren alkil hidroksim (SME 529) ve alkil hidroksikinon (Kelex 100) ile yapılan çalışmalarda, alkil hidroksikinonun daha seçimli olduğu anlaşılmıştır. Birbirine komşu nadir topraklar için genellikle 1.5-2.5 olan ayırma faktörü, alkil hidroksikinon ile 200'den büyük olmaktadır (Abbruzzese vd., 1991).

Nadir toprakların, klorürlü sulu çözeltilerden 2-etil hekzil-fosforik asit mono-2-etil hekzil eşleriyle ayrılması ve kazanılmasında mixer-settler sisteminin her kademesinde 2 karıştırıcı kullanılması, çözeltinin sistemde kalma süresini kısaltarak %96-100 kademe randımanı ile yüksek ekstraksiyon sağlamaktadır (Li-Min ve Yu, 1987).

Kanada'daki endüstriyel uranyum tesisinde, iyon değiştirme metoduyla uranyum kazanılması sonucunda elde edilen çözeltide toplanan itriyumca zengin nadir toprak oksitleri di (2-etil hekzil) fosforik asitli organik faza alınıp HNO_3 çözeltisi ile sıyrılmış ve NH_3 gazı çöktürmesi sonucu itriyumca zengin %60-70 nadir toprak oksit tenörlü konsantre kazanılabilmiştir (Lucas ve Ritcey, 1975).

Bauer vd. (1968) tarafından yapılan çalışmada, solvent ekstraksiyon sistemi ile nadir toprak oksitli sülfürik asit çözeltisinden sulu fazdan, değişik oranlarda amin (Primene JMT) ve di-etilen tri-amin penta asetik asit içeren kerosenli organik faza seryum grubu lantanitlerin ekstraksiyonu incelenmiştir. Faz oranı "1" olan bir kademeli ekstraksiyonda ayırma faktörü La-Ce için 5.4, Ce-Pr'da 8.0, Pr-Nd'da 3.7 ve Nd-Sm'da 7.0 olmuştur. Çok kademeli çalışmalarda, pH 3'te, %96 verim ve %95 saflıkta lantan oksit kazanılmıştır.

Molybdenum Corp. tesislerinde %60 nadir toprak oksitli bastnazit konsantresi, kalsinasyonu takiben %30 HCl çözeltisi ile liç edilerek CeO_2 dışındaki nadir topraklar çözeltiye alınmakta ve çözünmeyen CeO_2 filtre edilerek ayrılmaktadır. Çözeltiden, solvent ekstraksiyon metodu ile diğer nadir topraklar ayrı ayrı oksitler halinde kazanılmaktadır.

Molycorp tesislerinde, %60 nadir toprak oksitli konsantre HCl çözeltisi ile liç ve takiben kalsine edilerek %85 nadir toprak oksit tenörüne yükseltilmektedir. Bu yüksek tenörlü konsantre, HCl veya HNO_3 çözeltilerine alınarak solvent ekstraksiyonu işlemi sonucunda oksitler ayrı ayrı elde edilmektedir.

İngiltere'deki The Thorium Ltd. tesislerinde, bastnazit HCl ile liç işlemine tabi tutulduktan sonra alkaliler kullanılarak flüorür bağı parçalanmakta ve nadir toprak hidroksitleri elde edilmektedir. Hidroksitler, HCl ile tekrar çözeltiye alınıp La, Pr, Nd'un topluca çöktürülmesi yoluna gidilmektedir. İtriyum oksit, Versatic 911 ekstraktantıyla %99,9 saflıkta ekstrakte edilmekte, çökelek HNO_3 ile tekrar çözülerek tri bütil fosfat (TBP)'la ekstraksiyon ve suyla sıyırma yapılmaktadır.

3.6. Nadir Toprak Elementi Flotasyonunda Kullanılan Reaktifler

3.6.1. Toplayıcılar

Nadir toprak elementleri genel olarak beraber bulundukları gang mineralleri ile benzer fiziksel ve kimyasal özellikler gösterirler. Bu nedenden ötürü, yüksek seçimli flotasyon reaktifleri gereklidir (Bulatovic, 2010; Ren vd. 2003). Nadir toprak elementleri flotasyonu, özellikle bastnazit ve monazit, tipik olarak hidroksamatlar, karboksilatlar ve fosforik asit esterleri gibi oksihidril toplayıcılarla yapılır (Bulatovic, 2010; Jordens, Cheng, Waters, 2013; Ren vd., 2003). Bu sınıftaki toplayıcılar; fonksiyonel grupları oksijen anyonu ve bir metal katyonunun bağlanacağı bir çift bağlı oksijenden oluşur, oksihidril toplayıcılar olarak anılırlar ki bu üç toplayıcı arasındaki esas farklılık oksijen atomlarının bağlı olduğu atomdur (nitrojen, karbon ve fosfor) (Bulatovic, 2007). Bu toplayıcılar, cevherin mineralojisine bağlı olarak birçok değişik bastırıcı ve aktifleştirici ile beraber kullanılabilir.

3.6.1.1. Hidroksamik Asitler

Hidroksamik asitler minerallerin yüzeyinde bulunan metal katyonlarıyla kompleksler oluşturan şelatlaştırıcı bir grup toplayıcılardır. Birçok araştırmacı, hidroksamat-metal kompleksinin, hidroksamik grubunun hidrojen atomunun, karbonik oksijen atomu aracılığıyla bir metal katyonu ve zincir reaksiyonu ile beraberliğinden meydana geldiğini ortaya atmışlardır (Li, Gao, Zhang, Duan, Ma, Huang, 2018), (Cao, Cao, Qu, Zhang, Mu, 2019), (Espiritu, da Silva, Azizi, Larachi, Waters, 2018), (Zhang, Honaker, Groppo, 2017), (Cui, Hope, Buckley, 2012), (Hope, Woods, Parker, Buckley, McLean, 2010), (Gao, Gao, Sun, Yin, Wang, Hu, 2018), (Pradip ve Fuerstenau, 1983).

Diğer araştırmacılar hidroksamik asit toplayıcıların seçimliliğinin adsorpsiyon kinetiğiyle daha yakından alakalı olduğuna inanmaktadırlar (Assis, Montenegro, Peres, 1996). Hidroksamik asit toplayıcılarının mineral yüzeyinde metal katyonlarıyla iki şekilde etkileşime girdiği varsayılmıştır: kemisorpsiyon ve yüzey reaksiyonları (Fuerstenau, 1983).

Kemisorpsiyon, mineral kafesinde sabitlenmiş yüzey metal katyonu ile şelatlaşma reaksiyonunu içerir. Yüzey reaksiyonları; katyon kafeslerinin hidrolizi, hidroksil

komplekslerinin solüsyonda oluşumu, mineral yüzeyinde yeniden adsorpsiyon (ya da çökelme) ile takip edilir, hidroksamik asit adsorpsiyonuna alan yaratır. Yüzey reaksiyonlarıyla adsorpsiyonun kemisorpsiyondan çok daha hızlı olduğuna inanılır ve bundan dolayı da toplayıcı selektivitesi mineral çözünürlüğüyle yakından alakalıdır (Assis, Montenegro, Peres, 1996).

Hidroksamik asitler ve sonra da tuzlar (toplu olarak hidroksamatlar olarak anılırlar) genellikle bastnazit ve monazit flotasyonundaki en etkili toplayıcılar olarak nitelendirilmektedir. Bayan Obo maden yatağı prosesinde kullanılmış, bastnazit ve monazit seçimliliğimi ve toplayıcılığını ispatlayan birçok çalışma bulunmaktadır (Zhang ve Edwards, 2012). Hidroksamik asit kullanılarak yapılmış nadir toprak elementi flotasyonu literatür özeti Çizelge 3.9-3.13.'de verilmiştir. Bu flotasyon için optimum flotasyon değeri genellikle 9 civarındadır. Bu genellikle hidroksamik asit toplayıcıların yaklaşık olarak pH'sıdır (Pope ve Sutton, 1973; Pradip ve Fuerstenau, 1983; Gupta, 2013). Fuerstenau ve Pradip bazı mineral sistemlerinde; hidroksamik asit toplayıcının pH'sında hidroksamat anyonun, nötr molekülün yanı sıra adsorbe edileceğini öne sürmüşlerdir. Bu pH değerinde, nadir toprak metalleri hidroksil türlerinin yükseltilmiş konsantrasyonları toplayıcı adsorpsiyonu için ideal koşulları sağlamaktadır.

Seryum, bastnazit ve monazite içindeki birincil nadir toprak elementi olduğu gibi, toplayıcı adsorpsiyon mekanizmasını anlamayı amaçlayan birçok çalışma çözünmüş seryum türlerinin toplayıcıları ile etkileşimi üzerine yoğunlaşmıştır. Bugüne değin yapılmış çalışmalar hidroksillenmiş seryum komplekslerinin, $Ce(OH)^{2+}$ ve $Ce(OH)_2^{+}$, mineral yüzeyinde hidroksamat toplayıcı için yüzey sağladığını öne sürmektedir (Sarvaramini, Azizi, Larachi, 2016).

Her ne kadar hidroksilli nadir toprak elementi komplekslerinin hem bastnazit hem de monazit için flotasyonda önemli olduğu anlaşılmış olsa da (Cheng, Holtham, Tran, 1993; Espiritu ve Waters, 2018), hidroksamatların her mineralle etkileşiminin farklı olduğuna inanılmaktadır. Tek katmanlı kaplamanın altında, bastnazitin endotermik yüzey çökelmesinde olduğu gibi, yarı çözünür minerallerin yüzeyinde hidroksamat adsorbe olunur (Pradip ve Fuerstenau, 1985; Pradip ve Fuerstenau, 1991; Zhang ve Honaker, 2017). Monazit gibi düşük çözünürlüklü minerallere adsorpsiyon ekzotermik kemisorpsiyon yoluyla gerçekleşir (Zhang ve Honaker, 2017). Toplayıcı konsantrasyonu tek tabakalı kaplamanın üzerine çıkarsa adsorpsiyon mekanizması ekzotermik kemisorpsiyondan endotermik yüzey çökelmesine değişir. Tüm bu reaksiyonlar entropiyle devam eden reaksiyonlardır (entropideki pozitif değişim), bundan dolayı, sıcaklıktaki artış adsorpsiyonda faydalı bir rol oynamaktadır. Isının arttığı her mineral için sonuç artan adsorpsiyon yoğunluğu ve flotasyon verimi olmuştur. Seçimlilikteki artış sıcaklığın artışının sonucu olduğu gösterilmiştir. Li ve diğ düşük sıcaklıklarda (35°C) naftil hidroksamik asitin bastnazit ve monazite adsorpsiyonun kararsız olduğu ve sıcaklık arttıkça (75°C) adsorpsiyon stabilitesinin arttığını göstermiştir. Pavez ve Peres artan sıcaklıkla (65°C'e kadar) zirkon ve rutile kıyasla monazit kazanımının daha da arttığını buldular ve Pradip ve Fuerstenau artan sıcaklıkların (61°C'e kadar) sırasıyla oktilhidroksamik asit (OHA) ve potasyum oktilhidroksamat (POH) kullanılarak bastnazit flotasyonunu kalsit ve baritten daha yeğlenir kılmaktadır. Pradip ve Fuerstenau oda sıcaklığında POH'un bastnazit, kalsit ve barite adsorbe edildiğini ama bu işlemin farklı adsorbsiyon enerjilerinde gerçekleştiğini; termodinamik olarak bastnazitin daha avantajlı olduğunu iddia etmişlerdir. Sıcaklığın artışıyla, üç mineralin toplayıcı adsorpsiyonu da artmıştır fakat bu artış orantısız bir artıştır: adsorpsiyonun serbest enerjisindeki farklılık arttığından seçiciliği de artmıştır. Genellikle sıcaklık artışıyla seçicilik ve nadir toprak minerali flotasyonu veriminin arttığı gösterilmiştir. Hidroksamat toplayıcıların artan sıcaklıkla nadir toprak minerali flotasyonuna zarar verdiği örnekler mevcuttur (Pavez ve Peres, 1993; Wang, Qiu, Hu, Li, Wang, Zou, 2012). Buna rağmen Pavez ve Peres sıcaklığın OHA kullanımında pozitif etkisini tespit ettiler. Pavez ve Peres ticari hidroksamat Flotinor V3759 kullanımında sıcaklık artışının monazit flotasyon verimini düşürürken, zirkon ve rutil verimlerini ise nispeten artırmıştır. Wang vd. Maoniuping bastnazit cevherini hidroksamat toplayıcıyla flote ettiğinizde, artan sıcaklığın (35°C'e kadar) tenör ve verimde nispi artışlara neden olduğunu bulmuşlardır. Buna rağmen

sıcaklığın bu değerlerin üzerinde artması bastnazit verimine zarar vermiş olup, 50°C'nin üzerinde ise tenör değeri düşmüştür.

Nadir toprak mineralleri flotasyonu için var olan çalışmalar hidroksamik asit tabanlı toplayıcıların nadir toprak minerali flotasyonu için başarısını gözler önüne sermektedir, ancak çok genişçe bir skaladaki değişik hidroksamat toplayıcıların flotasyondaki toplayıcı yapısına etkisini inceleyen çok az temel çalışma vardır. Bazı çalışmalar alkali hidroksamatların hidrokarbon zincir uzunluğunun etkisini incelemiş olup (Sreenivas ve Padmanabhan, 2002; Palmer, Gutierrez, Fuerstenau, 1973), daha uzun bir hidrokarbon zincir ile daha başarılı bir flotasyon performansının mümkün olduğu önerilmiştir. Öte yandan, diğer çalışmalar karbon zinciri C_9'dan daha uzun olan hidroksamatların daha düşük flotasyon performansına sahip olduğunu tespit etmişlerdir (Bulatovic, 2007). Günümüzde birçok laboratuvar çalışması hidroksamat toplayıcılarla yapılan mineral flotasyonunda alkali hidroksamatların kullanımına yoğunlaşmış olsalar da, modifiye olmuş bir naftil hidroksamat (H_{205} olarak bilinir) Çin'in bastnazit cevherlerinden nadir toprak oksitlerini (nadir toprak metalleri konsantrasyonu %50 tenör değeriyle) üretiminde bir hayli yaygın biçimde kullanılmaktadır (Jordens, Cheng, Waters, 2013; Zhang ve Edwars, 2012; Li, Wang, Zeng, 1988). Li vd. bu toplayıcıyı ticari bir C_5-C_9 alkali hidroksamat karışımıyla ve naftil hidroksamatla Bayan Obo cevheri flotasyonunda karşılaştırmışlardır. Her ne kadar yüksek dozajlı H_{205} kullanımı gerektirse de, sodyum florosilikat bastırıcısını çıkararak, hem verim hem de tenör değerleri artmıştır. Bu çalışma ayrıca, daha düşük verim değerleriyle de olsa; naftil toplayıcının alkali hidroksamattan daha büyük seçimlilik gösterdiğini ortaya atmaktadır. Yakın bir zaman önce, H_{205} kullanımı daha ucuza modifiye edilmiş, Dh ve L_{102} olarak bilinen, naftil hidroksamatlarla karşılaştırılmıştır (Jordens, Cheng, Waters, 2013; Che, Yu, Wang, Zhang, 2003). Bu toplayıcıların her ikisi de beklenen maliyet azalmalarıyla H_{205}'e benzer bir flotasyon performansı göstermişlerdir.

Devam etmekte olan tartışmadan da anlaşılacağı üzere, nadir toprak metalinin hidroksamik asit toplayıcılarına tepkisi sadece toplayıcı yapısına göre değil ama aynı zamanda mineral tipine göre de değişmektedir. Çalımalar karbonat, fosfat ve niyobat minerallerinin çok fazla zorluk çıkarmadan yüzmeye meyilli olduğunu ama silikat minerallerinin çok yüksek dozajlarda toplayıcı kullanımı ya da toplayıcı adsorpsiyonunu kolaylaştırıcı metal aktivitörleri kullanımı olmadan çok iyi sonuç vermediği görülmektedir.

Tek mineralli flotasyon deneylerinde incelenen karbonat nadir toprak metalleri bastnazit, parisit ve ansilit'tir. Çeşitli cevher yatakları üzerine yapılan diğer çalışmalar da bazı bilgiler sağlamıştır. Montviel maden yatağında (Kanada) bulunan sinçisit ve çeşitli baryum açısından zengin florokarbonat nadir toprak metallerinin flotasyonu hakkında bir fikir vermiştir. Bastnazit 'in başarılı flotasyonu, hem tek mineral hem de cevher flotasyonu deneylerinde çeşitli hidroksamat toplayıcılarla iyi bir şekilde belgelenmiştir. Diğer minerallerle yapılan çalışmalar sınırlı olsa da test edilen hidroksamatlara iyi sonuç verdiği gösterilmiştir (Cui ve Andersen 2017; Owens, Nash, Hadler, Fitzpatrick, Anderson, Wall, 2018; Cui ve Anderson, 2017; Deng ve Hill, 2014; Jordens, Marion, Grammatikopoulos, Hart, Waters, 2016). Parisit ve sinçisit, bastnazit ve röntgenit ile birlikte polisomatik bir dizi florokarbonat mineralinin bir parçasıdır. Bu nedenle, bu minerallerin hidroksamatlara benzer şekilde tepki vermesi beklenmektedir (ve diğer flotasyon reaktiflerine). Bu durum parisit ve bastnazitin ticari hidroksamat toplayıcılara aynı zeta potansiyel cevap verdiğini da ispatlamış olan Owens vd. tarafından yapılan zeta potansiyel ölçümleri sonucunda önerilmiştir. Aynı şekilde, Nechalocho maden yatağından bir gravite konsantresini BHA kullanarak yüzdürürken, sinçisit ve bastnazit arasında benzer bir flotasyon değerine ulaşan Jordens vd. tarafından aynı şekilde gerçek bir cevher sistemi içerisinde de gösterilmiştir. Minerallerin flotasyona tepkileri çok küçük olsa da Bastnazitin kinetik değerleri ve verimini sinçisitten daha büyük olduğu göz önünde bulundurulmalıdır. Bu sonucun nedeni sinçisitin bastnazite göre daha az nadir toprak içeriyor oluşuyla, toplayıcı adsorpsiyonu için daha az alan sağlamasından kaynaklanabilir. Diğer bir ihtimal ise sinçisitin ortalama tane boyutunun bastnazitten daha küçük olmasının serbestleşme ve yüzebilirliği azaltması olabilir. Cevher yataklarındaki sinçisitin tane boyu genellikle çok küçüktür ki bu da gerçek cevher sisteminde flotasyonunu zorlaştırmakta ve temel flotasyon çalışmalarıyla yeterli miktarda saf kristal kazanımını güçleştirmektedir. Deng ve Hill Kanada'dan bir sinçisit cevheri flotasyonu sırasında ticari SHA toplayıcının (TR047) çok seçimli olduğunu buldular ancak bunun düşük serbestleşme derecesiyle alakalı olduğuna yordu. Montviel cevher yatağının sahip olduğu nadir toprak metallerini tanımlamak zor olmakla beraber, farklı minerolojik çalışmalar farklı nadir toprak metallerini tanımlamıştır (Negeri ve Boisclair, 2016; Nadeau, Cayer, Pelletier, Stevenson, Jebrak, 2015). Tanımlanan en büyük nadir toprak metali, bastnazitle büyük yapısal benzerlikler içeren, baryumca zengin bir dizi florokarbonat mineralidir. Bundan

dolayı da benzer flotasyon tepkileri beklenmektedir. Montviel cevher yatağında flotasyon işlemi çok sınırlı olmakta ve bu yataktaki nadir toprak metalleri tanımlanmasının zor olduğundan, Aero 6493 (endüstriyel bir alkali hidroksamat) kullanımıyla yüksek nadir toprak metali kazanımı sağlansa da her mineralin hidroksamatlara tepkisini anlamak çok az mümkün olmaktadır. Literatürde yer alan son nadir toprak metali içeren karbonat minerali ise ansilit'tir. Tek mineral çalışmaları; temel nadir toprak metalleri kaynağı ansilit olan Bear Lodge (USA) cevher yatağının flotasyonuna da başarıyla uyarlanabilen, yüksek kazanım değerlerinin OHA kullanılarak sağlanabileceğini göstermiştir (Cui ve Anderson, 2017).

En çok araştırılan ikinci mineral sınıfı ise fosfat mineralleridir. Şu ana dek, hidroksamatlar sadece tek mineral sistemlerinde incelenen monazite ve ksenotim için denenmiştir. Monazit 'in temel nadir toprak metali olduğu az sayıda cevher flotasyonu çalışması vardır. Monazit nadir toprak metali yataklarında ikincil mineral olarak da bulunur ancak bu çalışmalar her nadir toprak metalinin tepkisi yerine genellikle nadir toprak elementleri ve nadir toprak oksitleri şeklinde raporlanmışlardır. Tüm bu mineraller hidroksamat kullanılarak yüzdürülebilse de Jordens vd. Nechalacho maden yatağının BHA kullanarak flotasyonunda monazitin, karbonat mineralleri olan bastnazit ve sinçisit gibi minerallere oranla çok daha düşük bir geri kazanım oranına sahip olduğunu olduğunu bulmuştur. Benzer bulgular; Bayan Obo cevherini natil hidroksamik asit toplayıcısında yüzdürürken, bastnazit 'in yüzdürülebilirliğinin monazitten daha büyük olduğunu bulan Li vd. tarafından da bulunmuştur. Bu Assis vd. hipotezini de destekleyen, mineral çözünürlüğündeki farklılıklarla alakalıdır. Bu etkiyi gösteren herhangi bir çalışma olmasa da ksenotim monazite oranla flotasyona daha yüksek bir tepki veriyor olabilir çünkü aynen bastnazit'te olduğu gibi, adsorpsiyon ölçümlerinin serbest enerjisinin gösterdiği gibi OHA'nın ksenotim yüzeyine adsorpsiyonu endotermik yüzey çökelmesi aracılığıyla olmaktadır. Apatit, ekonomik nadir toprak elementi konsantrasyonu içeren bir ikincil fosfat mineralidir. Nadir toprak elementi içeren apatit prosesinde hidroksamatların kullanımını araştıran çalışma yoktur, ancak Yu vd. alkilhidroksamat kullanımı ile apatit 'in dolomitten kolayca ayrılabileceğini göstermiştir. Hidroksamat adsorpsiyonunu açıklayan mekanizma kemisorpsiyon (mineral yüzeyindeki kalsiyuma bağlanma) olarak tanımlanmıştır (Yu, Ge, Hou, 2016).

Niyobatlar geleneksel olarak niyobyum içeriği için geri kazanılsa da, genellikle önemli konsantrasyonlarda nadir toprak elementi içerirler. Hidroksamatlarla flotasyon tepkileri incelenen minerallerle ilgili çalışmalar piroklor, kolumbit ve fergusonit için mevcuttur. En geniş çapta çalışılmış mineral piroklordur ki detaylı flotasyon çalışması Gibson vd. tarafından yapılmıştır. Hem BHA hem de alkil hidroksamatlar kullanılarak bu mineralin yüzdürme işlemi gerçekleştirilmiştir. Kolumbit ve fergusonit için çok kısıtlı detaylandırılmış flotasyon çalışması bulunmaktadır ancak bu mineraller farklı oranlarda çözünebilir olduklarından ve niyobyum ile nadir toprak elementleri (bazı durumlarda) içerdiklerinden ki bunlar da hidroksamik asit ile güçlü kompleksler oluştururlar, güçlü bir flotasyon etkileşimlerine sahip olmaları beklenir. Bu durum kolumbit ve fergusonit kazanımı ve kazanım oranı bastnazitle karşılaştırılabilir olan Nechalacho cevher yatağında BHA ile flotasyon sayesinde Jordens vd. ile kanıtlanmıştır (Gibson, Kelebek, Aghamirian, 2015).

Çizelge 3.9 Hidroksamat toplayıcılar kullanarak basnazit üzerinde yapılan flotasyon çalışmaları özeti

REM	Hikroksamat Toplayıcı	Gang Mineralleri	Diğer Yüzey Kimyasalları	pH	Referans
Basnazit	POH			9,3	Pavez vd.
		Barit, Kalsit	Sodyum Karbonat^{d,pH} Lignin sülfonat^{d}	8-9	Pradip ve Feurstenau
	OHA	Florite	Etilendiamintetraasetik asit^{d}	9	Caovd.
	C_5-C_9 alkali	Barit, Florit, Kalsit	Sodyum Karbonat^{pH} Sodyum Silikat Sodyum Florosilikat^{d}	9,3	Luo ve Chen
	Aero 6493 (C_6-C_{10} alkali)			7-9	Sarvaramini, vd.
		Kalsit, Dolomit, Kuvartz		9	Azizi vd.
	BHA	Kuvartz		9	Jordens vd.
		Dolomit		9	Espiritu vd.
		Dolomit		9	Espiritu vd.
	H_{205}	Barit, Kalsit		8-10	Yang vd.
	SHA	Barit Florit Kalsit	Strontiyum klorit hegzahidrat°	6,5-9	Cao vd.
	Modifiye edilmiş SHA			9	Ren vd.

Diğer yüzey kimyasalları şöyle gösterilmiştir: d bastırıcı, pH ise pH modifiye edici ve o ise öteki reaktifleri simgelemektedir.

Çizelge 3.10. Hidroksamat toplayıcı kullanarak monazit mineralinin tekli flotasyon çalışması özeti

REM	**Hikroksamat Toplayıcı**	**Gang Mineralleri**	**Diğer Yüzey Kimyasalları**	**pH**	**Referans**
Monazit	POH			9	Pavez vd.
		Zirkon Rutil	Sodyum Metasilikat[d]	10	Pavez ve Peres
	OHA	Kalsit		9	Zhang vd.
		Kalsit		9	Zhang vd.
				9	Zhang ve Honaker
		Kalsit	Sodyum Silikat[d]	9	Zhang ve Honaker
			Sodyum hegzametafosfat[d]		
			Sitrik asit[d]		
			Etilendiamintetraa setik asit[d]		
		Apatit		7-10	Nduwa-Mushidi ve Anderson
		İlmenit			
		Kuvartz			
		Rutil			
		Zirkon			
	C_5-C_9 alkali	Barit, Florit, Kalsit	Sodyum Karbonat[pH] Sodyum Silikat Sodyum Florosilikat[d]	9,3	Luo ve Chen
	Aero 6493 (C_6-C_{10} alkali)			7-9	Sarvaramini vd.
	BHA	Dolomit, Dolomit, Dolomit		7-9	Espiritu vd.
				7	Espiritu ve Walters
				9	Espiritu vd.
	Flotinor V3759	Zirkon	Sodyum Metasilikat[d]	9-10	Pavez ve peres
		Rutil			
	AEROFLOAT 6494	Hematit Quartz		7-9	Abaka-Wood vd.

Diğer yüzey kimyasalları şöyle gösterilmiştir: d bastırıcı, pH ise pH modifiye ediciyi simgelemektedir.

Çizelge 3.11. Hidroksamar toplayıcılar kullanarak, tek mineral nadir toprak metali flotasyonu çalışması özeti

REM	**Hikroksamat Toplayıcı**	**Gang Mineralleri**	**Diğer Yüzey Kimyasalları**	**pH**	**Referans**
Ksenotim	Flontier V3759	Zirkon	Lignin Sülfonat[d] Quebracho[d] Corn starch[d] Amilopectin[d] Dodyum metasilikat[d]	10	Pereira ve Peres
	OHA	İlmenit		9	Zhang ve Anderson
		Zirkon			
		Siyah turmalin (schorl)			
		Granatit			
		İlmenit	Sodyum silikat[d] Lignin Sülfonat[d]	5-9	Zhang ve Anderson
		Zirkon			
		Siyah Turmalin (Schorl)			
		Granitit			
Alanit	BHA	Kuvartz		Hiçbiri	Jordens vd.
		Kuvartz	Demir Klorit[a]	4	Jordens vd.
Ankilit	OHA	Kalsit		6-10	Cui ve Anderson
		Stronsiyanit			
Kolofan	Alkil	Dolomit		2-12	Yu vd.

Diğer yüzey kimyasalları şöyle gösterilmiştir: d bastırıcı, a ise aktive ediciyi simgelemektedir.

Çizelge 3.12. Hidroksimat toplayıcıları kullanılarak basnazit ve monazit flotasyonu özeti

Maden Yatağı	REM	Ana Gang Minerali	Hidroksamat toplayıcı	Diğer Yüzey Kimyasalları	pH	Referans
Bayan Obo	Bastnazit Monazit	Florit Demir Mineralleri Barit Apatit Kalsit Kuvartz	C_{5-9} alkali	Sodyum Silikat[d]	-	Li, vd., 1988
				Sodyum Karbonat[d] Sodyum Florosilikat[d]	9,3	Luo ve Chen 1984
			Naftil	Sodium Silikat[d] Sodyum Silikat[d] Sodyum Florosilikat[d]	-	Li, vd., 2018
				Sodyum Silikat[d]	8,5	Li, vd., 2018
			H_{205}	Sodyum Silikat[d] Sodyum Karbonat[d]	8,5 - 9	Li, vd., 1988
			Değiştirilmiş	Sodyum Silikat[d] H_{103}[d]	9	Ren, vd., 1997
Mountain Pass	Basnazit	Kalsit Barit Selestit	POH	Sodyum Karbonat[d] Lignin Sülfonat[d]	8-9	Pradip ve Fuerstenau, 1991
Maoniuping	Basnazit	Barit Florit Kalsit Kuvartz	Modifiye edilmiş	Sodyum Silikat[d] H_{103}[d]	9	Ren, vd., 1997
			Modifiye edilmiş	Sodyum Sİlikat[d]	-	Wang, vd., 2012
			C_{5-9} alkali	Sodyum Karbonat[d] Sodyum Silikat[d] Sodyum Florosilikat[d]	-	Chi vd., 2001
Weishan	Basnazit	Barit Florit Silikatlar	Modifiye edilmiş	Sodyum Silikat[d] H_{103}	9	Ren, vd., 1997
			L_{101}	Sodyum Silikat[d]		Chi vd., 2001
Niobec	Basnazit Monazit	Dolomit Kalsit	Aero-6493		9	Azizi, vd., 2016
			Florrea 7510	Sodyum Silikat[d] Guar zamkı[d]	8-9	Boulanger, vd., 2019
St Austell'deki Kaolin yatağı	Monazit	Kuvartz Mikalar Turmalin Feldspar Kaolinit	AC-3	Sodyum Poliakrilat[o]	10	Filippov, vd.,, 2016
Çin Zhijin Yatağı	Basnazit Monazit	Karbonat Demir Mineralleri	Florrea 8920	Sodyum Silikat[d]	8,5	Jordens, vd.,, 2016
Brezilya, Sao Goncalo do Sapucai maden yatağı	Monazit	İlmenit Kuvartz Zirkon Rutil	Flotinor V37759	Sodyum Metasilikat[d]	10	Pavez ve Peres, 1994

Diğer yüzey kimyasalları şöyle gösterilmiştir: d bastırıcı, a ise aktive ediciyi simgelemektedir

Çizelge 3.13. Hidroksimat toplayıcı kullanarak yapılan nadir toprak metali flotasyonu özeti

Maden Yatağı	**REM**	**Temel Gang Minerali**	**Hidroksamat Toplayıcı**	**Diğer Yüzey Kimyasalları**	**pH**	**Referans**
Nechalacho	Zirkon Basnazit Siklohekzil Alanit Monazir Fergusonit Kolumbit	Feldspars Kuvartz Demir Oksitler	POH	Sodyum Silikat[d]	8,5-9	Hart vd.
			BHA	Kurşun Klorit[a]	9	Jordens vd.
				Kurşun Nitrat[a]	9	Xia vd.
				Sodyum Silikat[d]	8,5-9	Xia vd.
			SHA	Sodyum Silikat[d]	8,5-9	Xia vd.
				Sodyum Silikat[d]	8,5-9	Hart vd.
			LF-P81	Kurşun Nitrat[a]	9	Xia vd.
			H_{205}	Sodyum Silikat[d]	8,5-9	Xia vd.
				Sodyum Silikat[d]	8,5-9	Hart vd.
			Siklohekzil	Sodyum Silikat[d]	8,5-9	Hart vd.
			Tetra-bütil benzil	Sodyum Silikat[d]	8,5-9	Hart vd.
Bear Lodge	Anklit	Kalsit Pirit Strontianit Feldspar	OHA	Sodyum Karbonat[d,pH] Sodyum nitrat[o]	9-10	Cui ve Anderson
Montviel	Huanghoite Cebaite 17 Trace REM	Ankerit Dolomit Siderit Kuvartz Kalsit	Aero 6493	Sodyum Silikat[d] Karboksimethil Selüloz[d]	10	Negeri ve Bisclair
Strange Lake	Gadolinit Zirkon Gittinsit Thorit Alanit Monazir Banazit	Kuartz Feldspar	Florrea 7510	Sodyum Silikat[d] Alkali Succimat[a] Fosfonik Asit[a] Sitrik asit[a,d] Aksalik asit[a]	8,5	Yu vd.
			Alkali	Sodyum Silikat[d]	10	Oyediran vd.,
İsimsiz Maden Yatağı	Zirkon Epidit Parisit Basnazit Synchysite Pirocklor	Feldspar Kuvartz	Aero 6494	Sodyum Silikat[d]	8,8-9,3	Yang vd.,
İsimsiz Maden Yatağı	Synchysite	Ankerit Dolomit	TR047	Sodyum Silikat[d]	8,2	Deng ve Hill, 2014

Diğer yüzey kimyasalları şöyle gösterilmiştir: d bastırıcı, pH ise pH modifiye ediciyi, a; aktive ediciyi ve o diğer reaktifleri simgelemektedir.

3.6.1.2. Karboksilatlar

Karboksilatlar, flotasyon toplayıcısı olan hidroksamatların geliştirilmesinden önce, geleneksel olarak NTE flotasyonu için tercih edilen ve endüstriyel uygulamada en çok kullanılan toplayıcılardır (Jordens, Cheng, Waters, 2013; Bulatovic, 2007). En yaygın olarak kullanılan oleik asit, sodyum oleat, uzun yağlar (oleik, linoleik, palmitik ve stearik asit karışımları) ve bazı oksitlenmiş petrol türevleri olan çeşitli karboksilatlar mevcuttur. Endüstriyel olarak Mountain Pass' da da ve Bayan Obo yatağının işletilmesi için birinci flotasyon aşamasında kullanılsalar bile bu toplayıcılar seçici değildir ve etkili olabilmesi için büyük miktarda bastırıcı ve yüksek sıcaklık gereklidir (Bulatovic, 2010; Jordens, Cheng, Waters, 2013; Houot, Cuif, Mottot, Samama, 1991; Zhang ve Edwards, 2012). Bu nedenle, NTE flotasyonuna odaklanılan son çalışmaların çoğunda hidroksamatlar kullanılmıştır ve bastnazit, monazit ve ksenotim dışında NTE flotasyonun inceleyen sınırlı çalışma vardır. Saf NTE ve çeşitli NTE yataklarının karboksilat flotasyonu üzerinde yapılan çalışmaların özeti Çizelge 3.14 ve Çizelge 3.16'da verilmiştir. Ayrıca, yüksek yağlı yağ asitlerinin de iyi sonuçlar verdiği öne sürülmüştür.

Sodyum oleatın bastnazit yüzeyinde ki adsorpsiyonuna dair sonuçlar literatürde mevcuttur. Bastnazit yüzeyindeki kemisorb maksimum adsorpsiyonu ve flotasyonu pH 9 da meydana geldiği gösterilmiştir. Ancak son çalışmalar, pH 4 den 8 e kadar maksimum bastnazit geri kazanımı meydana getirdiği göstermiştir. Sonrasında yapılan pH yükseltmesi, iyileşmede azalmaya neden olmuştur (Espiritu, da Silva, Azizi, Larachi, Waters, 2018).

Ama yazarlar kendi çalışmaları ve Pavez vd., çalışmaları arasındaki gözlem farkıyla ilgili hiçbir açıklama yapmamışlardır. Bu farklılıklar bastnazit örneğinin farklılıklarından ya da örneklerdeki küçük safsızlık farklı bir flotasyon tepkisine neden olduğu için meydana gelmiş olabilir. Hidroksamat flotasyonuna benzer şekilde, mineral yüzeyinde hidroksillenmiş NTE türlerinin toplayıcı adsorpsiyonu için alan sağladığı ileri sürülmektedir. Yağ asidi toplayıcılarının bastnazit de ki uygulaması sırasında çeşitli bastırıcıların, yükseltilmiş sıcaklığın ve uzun yağ asidinin, seçicilikte ki etkisi Mountain Pass yatağına göre tartışıldı. Yüksek sıcaklıktaki gelişmiş seçicilik, toplayıcının çözünürlüğünün artmasıyla açıklanmıştır. Bastnazit yüzeyinde ki çözünmüş NTE türlerinde bir artış ve

bastnazit yüzeyindeki arttırılmış toplayıcı adsorpsiyonu gang minareline bağlıdır (Jordens, Cheng, Waters, 2013).

Mountain Pass yatağı için, 75 ° C'nin üzerindeki sıcaklık artışları proses için yararlı değildir ve bu da artan gang iyileşmesine neden olmaktadır (Jordens, Cheng, Waters, 2013). Yüksek sıcaklıklarda gözlenen iyileşmeler için başka bir açıklama, sıcaklığın artması, adsorpsiyonun serbest enerjilerinde orantısız artışlara neden olur ve termodinamik olarak tercih edilen gang üzerinde yüzeyin adsorpsiyonu hidroksamik asitler için verilene benzer olabilir (Jordens, Cheng, Waters, 2013). Ancak, bu etkiyi gösteren yayınlanmış bir literatür yoktur. Bayan Obo yatağında, yağ asidi toplayıcısının seçiciliği eksikliği, başlangıçta seçici olmayan ancak daha sonraki etapta NTE için seçici olan bir hidroksamatın kullanılması ile aşıldı (Jordens, Cheng, Waters, 2013; Houot, Cuif, Mottot, Samama, 1991; Zhang ve Edwards, 2012). Gang minerali üzerindeki yağ asidinin kaldırılması daha seçici bir flotasyon aşamasından önce, NTE flotasyonunu kolaylaştırmak için zorunludur.

Çin'deki Weishan yatağında da yağ asitleri kullanılmıştır, %60 dan fazla NTE oksitlerini içeren bir konsantre üretmek için oleik asit tipi bir toplayıcı kullanılmıştır (Chi, Xu, Zhu, Xu, Qiu, 2001). Kullanılan yöntemde tüm prosesi detaylıca anlatan çok az bilgi vardır, ancak o zamandan beri daha seçici hidroksamat toplayıcıları kullanmaya geçmişlerdir (Chi, Xu, Zhu, Xu, Qiu, 2001).

Monazit ve ksenotim flotasyonu için yağ asidi toplayıcılarının kullanımı, özellikle ağır mineral kumları tortuları bağlamında iyi tanımlanmıştır. Bastnazit ile karşılaştırıldığında, sodyum oleatın (ve oleik asidin) her iki mineralin yüzeyine adsorpsiyonunun, daha geniş pH aralığında (pH 3-11) meydana geldiği gösterilmiştir. Maksimum monazit geri kazanımları genellikle pH 3'te ve pH 6-9 aralığında meydana geldiği raporlanmıştır (Cheng ve Holtham, 1993; Pavez, Brandao, Peres, 1996; Espiritu, Naseri, Waters, 2018; Pavez ve Peres 1993; Abeidu, 1972; Abaka-Wood, Addai-Mensah, Skinner, 2017).

Bu yazarların yaptığı adsorpsiyon çalışmasında pH aralığı için benzer eğilimler gözlenirken, flotasyon tepkisinde farklılıklar olduğu belirtilmektedir. Abeidu yaptığı çalışmada 4-10 pH aralığını test etti ve maksimum pH 7'de 5 ila 9 arasında yüksek geri kazanımlar gözlemledi. Cheng vd yaptığı çalışmada pH 3 ila 10 arasında yüksek geri kazanımlar gözlemlediler (Cheng, Holtham, Tran, 1993). Pavez vd. pH 3 ve 7'de maksimum iyileşme gözlemlediler, araştırılan pH 2-10'dur.

Abaka-Wood vd., pH 5-9'dan nispeten yüksek geri kazanım ve pH 3 ve 11'de sert bir düşüş ile birlikte pH 9'da maksimum bir artış gözlemlediler. Espiritu vd. 6-7 pH aralığında maksimum geri kazanım ve pH 4 ile pH 8-11 arasında düşük geri kazanım buldular. Yazarlar arasında ki bu farklılık farklı monazite işaret eder, sodyum oleat ve oleik asit kullanıldığında farklı flotasyon tepkisine sebep olur.

Maksimum ksenotime geri kazanma işleminin 7-9 pH aralığında meydana gelmektedir (Cheng ve Holtham, 1993; Zhang ve Anderson, 2017; Cheng, Partridge, Tran, Wong, 1994). Yağ asidinin yüzeyine adsorpsiyon mekanizması monazitin pH 3'te fiziksel adsorpsiyon ve 6-9 pH aralığında kemisorpsiyon olduğu bildirilmiştir (Pavez ve Peres, 1993). Ksenotim yüzeyine adsorpsiyon mekanizmasının kemisorpsiyon olduğu bildirilmektedir (Zhang ve Anderson, 2017; Cheng, Partridge, Tran, Wong, 1994). Bastnazit için tarif edildiği gibi, bu minerallerin yüzeyindeki hidroksillenmiş NTE türlerinin yağ asidi adsorpsiyonu için alanlar sağladığı öne sürülmüştür (Cheng, Holtham, Tran, 1993). Sıcaklık artışı her iki mineralin flotasyonuna da faydalı olduğu gösterilmiştir (Jordens, Cheng, Waters, 2013). Monazit ve/veya ksenotim içeren NTE yataklarına yağ asitleri uygulanmasının, genellikle bu yatakların farklı mineralojisinin bir sonucu olarak bastnazit de daha başarılı olduğu bildirilmektedir. Bazı yazarlar, yüksek oranda geri kazanımların ağır mineral kum birikintilerinden monazit ve ksenotimi geri kazanmak için bastırıcılarla kombinasyon halinde yağ asitleri kullanarak gidebileceğini bildirmişlerdir (Pavez ve Peres, 1994; Andrews, Collins, Hollick, 1990).

Yağ asitleri kullanımının nispeten basit bir Avustralya yatağından ksenotim flotasyonu için de başarılı olduğu gösterilmiştir (Hadley, Catovic, 2014). Bununla birlikte, daha karmaşık monazit ve / veya ksenotim taşıyan cevherler için genellikle etkisizdirler (Filippov, Dehaine, Filippova, 2016; Goode, Payne, Gao, Brown, 2014; Jeong ve Cho, 2014; Satur, Calabia, Hoshino, Morita, Seo, Kon, 2016). Bunun tek istinası Avustralya da bulunan Mount Weld yatağıdır burada yağ asitleri kullanan iki farklı flotasyon şeması önerilmiştir (Guy, Bruckard, Vaisey, 2000; Chan, 1992). İlk yöntem yağ asidinin karıştırılmış toplayıcı emülsiyonu kullanılır ve birlikte tipik olarak bir sodyum silikat, sodyum sülfür ve ikincil amino modifiye sülfonatlanmış yağ asidi bir emülgatör kullanılır. İkinci yöntemde benzer bastırıcılarla kombinasyon halinde isimsiz bir yağ asidi toplayıcısı kullanılır. Mount Weld yatağı şu anda faaliyette olmasına rağmen, flotasyon işlemlerinin detaylarını bildiren bir literatür yoktur (Guy, Bruckard, Vaisey, 2000).

Karboksilatlarla etkileşimlerini detaylandıran, az miktarda literatür bulunan diğer mineraller apatit, allanit, kolumbit, fergusonit, steenstruspine, cerite, zirkon ve elpidit'tir. NTE taşıyan apatitler için flotasyon işlemleri, fosfat endüstrisinde yağ asidi flotasyonu ile apatitin geri kazanılmasında kullanılanlara benzerdir (Harbi, Eldougdoug, El-Shahawi, 2011; Houot, 1982; Beer, Dawes, Brady, Bryson, Sehlotho, 2014).

Allanitlerin yağ asitleri kullanarak yapılan flotasyon işlemi Jordens vd. tarafından tarif edilmiştir. Yazarlar yüksek sodyum oleat dozajının pH 7'de maksimum geri kazanım meydana getireceğini buldular. Ancak yüksek dozaj (1 kg/t) gereklidir. Harada vd. tarafından sodyum oleat kullanılarak kolumbit flotasyonu sunulmuştur. Yazarlar kullanılan kolumbit örneğinin NTE içerip içermediğini not etmediler; bununla birlikte pH değeri 2-10 arasında yüksek geri kazanımlar meydana geldi, maksimum geri kazanım pH 2 ve 6-10'da gerçekleşmiştir.

Sodyum oleat kullanılan Fergusonit flotasyonu Fawzy tarafından rapor edilmiştir. Flotasyon pH 2 ve 10 arasında meydana geldi ve en yüksek geri kazanım pH 5 de meydana gelmiştir. Yazarlar fergusonitin flotasyon kapasitesini arttırmak için Span 80 kullanılmasını önermişlerdir (Harada, Owada, Takiuchi, Kurita, 1993).

Steenstruspin (ve monazit) 'in farklı karboksilat toplayıcıları kullanarak Grönland'daki Kvanefjeld yatağından yüzmesi Sorensen ve Lundgaard tarafından tanımlanmıştır (Sorensen ve Lundgaard, 1966). Ayrıca, sınırlı sonuç ile bir aktivatör olarak lantan iyonlarının kullanımını araştırdı.

Sodyum oleat kullanımının, öncelikle NTE taşıyan silikatları içeren karmaşık bir cevherin flotasyonu için bir hidroksamat ve bir fosforik asit esterden daha iyi performans gösterdiği gösterilmiştir. Bununla birlikte, sonuçlar sadece NTE taşıyan karbonatların iyi bir yüzdürme tepkisi gösterdiğini düşündürmektedir.

Çizelge 3.14. Karboksilat toplayıcıları kullanılarak tek bir mineral flotasyon çalışmalarının özeti

Mineral Toplayıcı	Toplayıcı	Diğer yüzey aktif maddeler	Gang Mineralleri	pH	Kaynak
Bastnazit	Sodyum oleat			9	Pavez vd.
			Dolomit	4-8	Espiritu vd.
			Kuvars	9	Jordens vd.
	Benzoik asit	Potasyum alüminyum sülfar		4-5	Ren vd.
Monazit	Sodyum oleat		Hematit kuvars	3, 8	Pavez vd.
			Dolomit	6-7	Espiritu vd.
			Dolomit	7	Espiritu ve Waters
			Zircon Rutil	3,7	Pavez ve Peres
				8-9	Cheng vd.
		Sodyum metasilikat Sodyum Sülfat	Zirkon Rutil	6-9	Pavez ve Peres
		Sodyum sülfat	Piroklor Zirkon	7	Zakharov vd.
	Oleik asit	Sodyum sülfat	Zirkon	6-9	Abeidu
				4-11	Hyung ve Ki
	Lineolik asit			4-9	Hyung ve Ki

Çizelge 3.14.(devamı) Karboksilat toplayıcıları kullanılarak tek bir mineral flotasyon çalışmalarının özeti

Ksenotim	Sodyum oleat			7	Cheng vd.
				7-8	Cheng vd.
	Sodyum oleat	Sodyum silikat Lignosulfonat	İlmenit Zircon Schorl Staurolite	7-9	Zhang ve Anderson
Kolumbit	Sodyum oleat			2, 6 – 10	Harada vd.
Alanit	Sodyum oleat		Kuvars	7.5	Jordens vd.
Fergusonit	Sodyum oleat	Span 80 Sodyum metasilikat Oksalik asit Sitrik asit	Zirkon Kuvars Feldspa	5	Fawzy

Çizelge 3.15. Karboksilat toplayıcıları kullanarak bastnazit, monazit ve ksenotim cevheri flotasyon çalışmalarının özeti

Maden Yatağı	**NTE**	**Gang Mineralleri**	**Toplayıcı**	**Diğer Yüzey Aktif Maddeler**	**pH**	**Kaynaklar**
Mountain Pass	Bastnazit	Kalsit Barit Selestit	Oleik asit Linoleik asit Linolenik asit Westvaco L-1 Westvaco L-5 Westvaco M-28B	Lignin sülfonatlar Sodyum florlu Sodyum florosilikatlı Sodyumkarbonatlı,	10	Morrice ve Wong
Bayan Obo	Bastnazit Monazit	Florit Demir mineralleri Barit Kalsit	Parafin sabunu	Sodyum karbonatlı Sodyum silikat	10.3	Luo ve Chen

Çizelge 3.15. (devamı) Karboksilat toplayıcıları kullanarak bastnazit, monazit ve ksenotim cevheri flotasyon çalışmalarının özeti

Mount Weld	Monazite Cheralite Cerianite Florencite Rhabdophane	Geotite Apatite Crandalite Dolomite Cryptomelane Jacobsite	Uzun yağ	Sodyum silikat	9.8	Wen Qi
			İsimsiz yağ asitleri	Sodyum sülfürlenmiş Sodyum silikat Starch	10.5	Guy vd.
			Yağ asidi toplayıcı karışımı	Sodyum sülfürlenmiş Sodyum silikat Starch	-	Chan
Weishan	Bastnazit	Barite Fluorite Silicates	Oleik asit	Sodyum silikat	8-8.5	Reported by Chi vd.
Sands deposit Horsham Avustralya	Monazit Xenotime	Zircon Rutile Leucoxene Quartz	Asintol FA2	Sodyum silikat Sodyum florosilikat	10	Andrews vd.
Deposit in Sao Goncalo do Sapucai, Brezilya	Monazit	Ilmenite Quartz Zircon Rutile	Sodyum oleat	Sodyum metasilikat	10	Pavez ve Peres
Wolverine	Ksenotim	Kuvars	Modified	Sodyum silikat	-	Hadley ve Catovic
Eco Ridge	Monazit Bastnazit Synchysite Alanit	Kuvars Pirit	LR19 Oleik asit	Sülfatlanmış petrol Kerosen		Goode vd.
Kaolin deposit in Saint Austel	Monazit	Kuvars Turmalin Feldispatlar Kaolinit	Sodyum oleat	Sodyum poliakrilat	10	Filippov vd.

Çizelge 3.16. Karboksilat toplayıcıları kullanan diğer REM cevheri flotasyon çalışmalarının özeti

Maden Yatağı	NTE	Gang Mineralleri	Toplayıcı	Diğer yüzey aktif maddeler	pH	Reference
Songwe	Apatit Senkisit	Ankerite Kalsit	Betacol CKF30B	Lignin sülfonat Sodyum karbonat Sodyum florosilikat	-	Beer vd.
Kola	Apatite Titanit	Nefelin Feldispat klinopiroksen	Yag aside	Sodyum silikat	-	Houot
Wadi Khamal Nelsonite	Apatit	İlmenit Manyetit	Oleik asit	Sodyum silikat	9.5	Harbi vd.
Kvanefjeld	Steenstrupine Monazit	Silikatlar	Oleik asit Sodyum oleat Linoeik asit	Sodyum silikat Lantan nitrat	8-9	Sorensen ve Lundgaard
Unnamed Deposit	Zirkon Elpidit Cerite Alanit Parisite Bastnazit Synchysite Piroklor	Feldspat Kuvars	Sodyum oleat	Sodyum silikat Strach	8.8 – 9.3	Yang vd.

3.6.1.3. Fosforik Asitler

Hidroksamatlar ve karboksilatlardan sonra, en çok incelenen toplayıcılar fosforik asit bazlı toplayıcılardır. NTE'ye uygulamalarını inceleyen çalışmalar Çizelge 3.17 ve Çizelge 3.18'de detaylandırılmıştır. Bu toplayıcıların, hidroksamatlar ve karboksilatlarla benzer şekilde, kemisorpsiyon yoluyla NTE ile etkileşime girdiğine inanılmaktadır (Rao, 2013). Bastnazit ve monazit flotasyonu geniş bir pH aralığında meydana gelmektedir (bastnazit için 4-9 ve monazit için 4-11) (Espiritu, Naseri, Waters, 2018). Bununla birlikte, bunlar genellikle hidroksamatlardan daha az seçicidir. Oksilhidril toplayıcıların seçiciliği, toplayıcı mineral etkileşimlerinde yer alan oksijen atomlarının polaritesi ile açıklanmıştır (Nagaraj, 2018).

Azot (hidroksamatlarda) en elektronegatiftir, ardından karbon (karboksilatlarda) ve sonra fosfor (fosforik asitler) gelir (Nagaraj, 2018). Bu nedenle, hidroksamatlarda bulunan tek bağlı oksijen, en zayıf elektron vericisi olabilir ve metal katyonları ile etkileşim için daha az uygun olacaktır oysaki fosforik asitlerdeki oksijen metal katyonları ile kompleks oluşumu için daha uygundur ve bu nedenle tipik olarak en az seçicidirler (Nagaraj, 2018). Bu toplayıcılar genellikle seçici olmadıklarından, NTE depozitlerine uygulamaları sınırlıdır. Bununla birlikte, etkili kullanımlarını gösteren bazı literatürler vardır. Andrews vd., ağır mineral kumları birikintisinden monazit ve ksenotim geri kazanımı için dört farklı fosforik asit toplayıcıyı test etmiş ve yağ asitleri üzerinde gelişmiş seçicilik bulmuşlardır. Ayrıca fosforik asit toplayıcıları kullanırken daha düşük alkali pH'da flotasyonun mümkün olduğunu belirtmişlerdir. Yu vd. Strange Lake yatağının flotasyonu için bir hidroksamat toplayıcı ile (fosfonik asit ilavesiyle) fosforik asit toplayıcıyı (sitrik ve oksalik asit ilavesiyle) karşılaştırdılar. Bu durumda her iki toplayıcı da benzer seçicilik sunmuştur, ama fosforik asit toplayıcı şeması zirkon ve gittensite gibi NTE taşıyan mineralleri geri kazanmada daha iyiydi. Fosforik asit esteri SM15'in ödialitin Norra Karr yatağından geri kazanılması için etkili bir toplayıcı olarak gösterilmiştir.

Çizelge 3.17. Fosforik asit bazlı toplayıcılar kullanılarak mineral flotasyon çalışmaları

NTE	Toplayıcı	Gang Mineralleri	pH	Kaynaklar
Bastnazit	Flotinor 1682	Dolomit	4-8	Espiritu vd.
	SM15	Kuvars	5-9	Jordens vd.
Monazit	Flotinor 1682	Dolomit	4-8	Espiritu vd.
		Dolomit	4-7	Espiritu ve Waters

Çizelge 3.18. Fosforik asit bazlı toplayıcılar kullanılarak REM cevher flotasyon çalışmaları

Cevher yatakları	NTE	Gang Mineralleri	Toplayıcılar	Diğer yüzey aktif maddeler	pH	Kaynaklar
Norra Karr	Eudialyte	Nefeline Feldspatlar Aegirine	SM15	Oksalik asit Sodyum hegzametafosfat	<4	Stark vd.
Strange Lake	Gadolinite Gerenite Kainosite Zirkon Gittinsite Thorite Allanit Monazit Bastnazit	Kuvars Feldspatları	Flot inor 1682	Oksalik asit Sitrik asit	8.5	Yu vd.
Sands deposit in Horsham, Australia	Monazit Xenotime	Zirkon Rutil Kuvars	Çeşitli fosforik asit esterleri	Sodyum silikat Sodyum florosilikat	8.5	Andrews vd.

3.6.1.4. Diğer Toplayıcılar

NTE flotasyonu açısından incelenen diğer toplayıcılar, alkil sülfatlar, sülfonatlar, aminler, iyonik sıvılar ve çeşitli benzersiz toplayıcı karışımlarıdır. Bunlar Çizelge 3.19 ve Çizelge 3.20'de özetlenmiştir. Alkil sülfatların monazit flotasyonu için toplayıcılar olduğu bildirilmiştir (Ferron, Bulatovic, Salter, 1991; Abeidu, 1972; Abaka-Wood, Addai-Mensah, Skinner, 2017; Choi ve Wang, 1963). Choi, Whang ve Abeidu izoelektrik noktasının (pH ≤ ~ 4) altındaki pH'da iyi monazit flotasyonunun olduğunu ileri sürdüler. Bunun sebebi elektrostatik etkileşimler yoluyla toplayıcı adsorpsiyonunun olduğu düşünülmektedir. Abaka-Wood vd. monazitin 3-11 pH aralığında iyi bir şekilde yüzdüğünü gösteren çelişkili sonuçlar bulmuşlardır (Abaka-Wood, Addai-Mensah, Skinner, 2017).

Bu, bir dereceye kadar kemisorpsiyon gibi görünmektedir; ancak, çalışma, monazitin izoelektrik noktasının üzerinde mineral geri kazanımı için herhangi bir temel açıklama sağlamamıştır. Sülfonatlar ayrıca asidik pH'ta bir monazit toplayıcı olarak kullanılmıştır (McEwen, Hansen, Lee, 1976). İzoelektrik noktasının üzerindeki pH'da, aminler, NTE 'i geri

kazanmak için fiziksel adsorpsiyon toplayıcıları kullanılmıştır. Choi, Whang ve Abeidu sırasıyla didesildimetilamonyum klorür ve dodesilamin kullanarak izoelektrik noktanın üzerinde monazit geri kazanımı buldular. Ferron vd. fergusoniti ve önceliği kompleks cevherlerden kurtarmak için ve eudialit için çift ters flotasyon şemasında kullandıklarını bildirmişlerdir.

Amin toplayıcılar allaniti ph 4-10 aralığında kazanmışlardır (Jordens, Marion, Kuzmina, Waters, 2014). Bununla birlikte allanitin geri kazanılması için yüksek dozajlara ihtiyaç duyulmaktaydı, bu da ters flotasyon ile ayrılma potansiyeli olduğunu düşündürmektedir (Jordens, Marion, Kuzmina, Waters, 2014). Bu toplayıcılardan herhangi birini kullanarak yapılan flotasyon işlemi, herhangi bir endüstriyel ortamda kapsamlı bir şekilde uygulanmamış veya test edilmemiştir. Gang mineralleri tipik olarak NTE ile benzer yüzey özelliklerine ve yüke sahip olduğundan, esas olarak fizisorpsiyona dayanan toplayıcıların uygulanması zor olabilir.

İyonik sıvılar olarak bilinen yeni toplayıcılar, NTE ekstraksiyonu ve ayrılmasındaki etkisi nedeniyle NTE flotasyonu için son zamanlarda test edilmiştir (Sun ve Waters, 2014; Baba, Kubota, Kamiya, Goto, 2010; Binnemans, 2007; Sun, Ji, Chen, Ma, 2009; Sun, Luo, Dai, 2012). Tetrabutilamonyum bis (2-etilheksil) -fosfat veya [N4444] [DEHP] 'nin, bir alkil hidroksamat toplayıcısına kıyasla Niobec birikintisindeki monazit ve bastnazit için gelişmiş seçicilik ve kolektivite sağladığı bulunmuştur (Azizi, Larachi, Latifi, 2016).

Bununla birlikte, her iki toplayıcıda da önemli miktarlarda kalsit ve dolomit geri kazandığından bu gelişmeler göz ardı edilebilir. Benzer şekilde, Li, bastnazit için bir toplayıcı olarak tetraetilamonyum mono- (2-etilheksil) 2-etilheksil fosfonat veya [N2222] [EHEHP] test etti. Bastnazitin pH 5'te geri kazanılabileceği bulundu; bununla birlikte, toplayıcının hematite karşı daha yüksek bir elektron ilgisi vardır. NTE'nin flotasyonu için toplayıcı karışımları ve emülsiyonları eklenmiştir. Bunlar, bastnazit flotasyonu için ikincil aminle modifiye edilmiş sülfonatlanmış yağ asidini içermektedir (Li, 2018; Bulatovic, 1988).

Çizelge 3.19 ile Çizelge 3.20'den de anlaşılacağı gibi, NTE'nin gangdan başarılı bir şekilde ayrılması için tipik olarak diğer modifiye edici etkenlerin kullanılması gerekmektedir. NTE flotasyonu genellikle içinde bulundukları suyun iyonik bileşimi ve sertliğinden etkilenir. Çoğu durumda, yarı çözünür NTE'den ve/veya eşlik eden yarı çözünebilir nitelikteki gangdan çözelti içinde çözünmüş türlerin varlığı, flotasyon üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Örneğin, kalsit, florit, dolomit ve selestit gibi yarı çözünür gang minerallerinden çözelti içindeki fazla kalsiyum, magnezyum veya stronsiyum katyonlarının toplayıcıyı tükettiği ve önemli ölçüde daha düşük konsantre kaliteleri ve NTE geri kazanımları ile sonuçlandığı gösterilmiştir (Espiritu, da Silva, Azizi, Larachi, Waters, 2018; Cao, Cao, Liao, Ma, 2018; Zhang ve Honaker, 2017; Li, Wang, Zeng, 1988). Yaygın olarak kullanılan bazı modifiye ediciler sodyum silikatlar, sodyum karbonat, lignosülfonatlar, sodyum florosilikatlar, sodyum florür, nişastalar, sodyum sülfür ve sodyum oksalattır.

Çizelge 3.19. Diğer toplayıcılar kullanılarak yapılan mineral flotasyon çalışmalarının özeti

NTE	Toplayici	Gang Minerali	pH	Kaynaklar
Bastnazit	İyonik Sıvı : [N2222][EHEHP]	Kuvars Hematit	5	Li
Monazit	Sodyum dodesil sülfat	Zirkon	1.5-4.5	Abeidu
			1.5-3	Hyung ve Ki
		Kuvars Hematit	9	Abaka-Wood vd.
	Armac T	Ortoklaz Rutil Plajiyoklaz İlmenit Lal Taşı	2.5	McEwen vd.
	Reagent 308	Ortoklaz Rutil Plajiyoklaz İlmenit Lal Taşı	2.5	McEwen vd.
	Didesildimonium klorür		8-11	Hyung ve Ki
	Dodesilamin	Zirkon	8-10	Abeidu
Allanit	Dodesilamin	Kuvars	4 – 10	Jordens vd.

Çizelge 3.20. Diğer toplayıcıları kullanan NTE cevheri flotasyon çalışmalarının özeti

Cevher Yatağı	NTE	Gang Mineralleri	Toplayıcılar	Diğer yüzey aktif maddeler	pH	Kaynaklar
Bunbury	Ksenotim Monazit	İlmenit Zirkon Granat Turmalin Diger silikatlar	F74286 (Tanımlanmamış amfoterik toplayıcı)	Sodyum silikat	10	Ozeren ve Hutchinson
Niobec	Monazit Bastnazit	Kalsit Dolomit Kuvars	İyonik Sıvı: [N4444] [EHEHP]	Sodyum Silikat	9	Azizi vd.
Rosetta sands deposit	Monazit	Rutil İlmenit Zirkon	Sülfonat 231 Aeropromoter 710 R260 R376 R276R	Sodyum Silikat	-	Bulatovic

3.6.2. Pülp/ Yüzey Modifiye Edici Faktörler

3.6.2.1. Sodyum Karbonat

Sodyum karbonat, çözeltideki karbonat iyonlarının tedariğini sağlamak için bastnazit flotasyonunda yaygın olarak kullanılır (Jordens, Cheng, Waters, 2013; Houot, Cuif, Mottot, Samama, 1991; Pradip ve Fuerstenau, 1985). Karbonat iyonları hem çözelti pH'ını hem de bastnazit, kalsit ve barit gibi gang minerallerinin yüzey özelliklerini etkiler (karbonat anyonları bu mineraller için potansiyel belirleyici iyonlardır). Pradip ve Fuerstenau sodyum karbonat ilavesiyle kalsit ve barit yüzey yükünün pH 9'da pozitifken, bastnazit de negatif olduğunu ileri sürmüşlerdir. Bu, kalsit ve barit yüzeyine adsorbe olan ve hidroksamik aside bastnazitin yüzeyine daha büyük miktarlarda adsorbe etmek için kullanılan yağ asidi moleküllerine izin veren lignosülfonat gibi negatif yüklü bir bastırıcı yardımcı olur. Aşırı sodyum karbonat ilavesi bastnazit flotasyonunu bastıracaktır.

3.6.2.2. Sitrik Asit

Sitrik asidin monazit flotasyonuna yardımcı olduğu gösterilmiştir (Zhang ve Honaker, 2018). Sitrik asidin, kalsiyum iyonlarını çıkarak ve kenetlenerek monazit yüzeyi için bir temizleme etkisi sağladığı önerilmiştir. Sitrik asit, Strange Lake cevherinin yüzdürülmesi için bir reaktif olarak test edilmiştir (Yu, Oyediran, Robart, 2016). Florrea 7510, Flotinor 1682 ve KBX3 kullanılarak REM geri kazanımının artması ile sonuçlandığı gösterilmiştir. Yazarlar, en iyi flotasyon sonuçlarının oksalik asit ve sitrik asit kombinasyondaki Flotinor 1682 ile ortaya çıktığını öne sürmüşlerdir. Sodyum metasilikat ile karıştırılan sitrik asidin, fergusonit flotasyonunda zirkon, kuvars ve feldspatın bastırılmasında etkili olabileceği önerilmiştir (Fawzy, 2018).

3.6.2.3. Etilen Diamin Tetra Asetik Asit (EDTA)

EDTA, monazit yüzeyinden kalsiyum iyonlarını temizlemek için kullanılmıştır (Zhang ve Honaker, 2018). Edta, en uygun dozda daha fazla monazit geri dönüşümünü sağlayarak ve yüksek dozajlarda monazit üzerinde daha düşük baskılayıcı etkiye sahip olarak sitrik asit üzerindeki iyileşmeleri sunmuştur (Zhang ve Honaker, 2018). Aynı zamanda bastnazit flotasyonunda florit için etkili bir bastırıcı olarak önerilmiştir (Cao, Wang, Cao, 2018). Yazarlar EDTA'nın; çözünmüş kalsiyum EDTA komplekslerinin oluşumu yoluyla adsorbe edilmiş hidroksamatı florit yüzeyinden çıkarabileceğini önermişlerdir. Bastnazit seçimli flotasyonda etkilenmeyen sonuç olarak kalmıştır (Cao, Wang, Cao, 2018).

3.6.2.4. Sodyum Poliakrilat

Filippov vd., kaolin mikalı atıklarından monazitin geri kazanımı için dağıtıcı sodyum poliakrilatın kullanımı üzerine çalışmıştır. Dispersiyon olmadan yüzdürme ile karşılaştırıldığında önemli gelişmeler sağladığı ve bunun sonucunda, %50'lik bir iyileşme artışı ve yaklaşık olarak 1,6 kat iyileşme sağlandığı görülmüştür (Filippov, Dehaine, Filippova, 2016).

3.6.3. Bastırıcılar

3.6.3.1. Sodyum Silikat

Sodyum silikatlar (su merceği olarak da bilinir); plaser yataklarında (zirkon, rutil, şörl ve stavrolit), silikat gang, tuz mineralleri (florit, barit, kalsit ve dolomit), demir mineralleri, monazit ile ilişkili mineraller ve ksenotim bastırılması için REM flotasyonunun içeriğinde kullanılır. Bunlar hem bastnazit hem de monaziti bastırmak için gang üzerinde daha büyük bir etkileri olmalarına rağmen gösterilmişlerdir. Sodyum silikat, başarılı bir Bayan Obo cevheri flotasyonu için en önemli reaktiflerden biri olarak tanımlanmıştır. Tüm minerallerin flotasyonunu bastırmak için daha büyük dozlar eklenir ve daha sonra sadece REM'i seçimli olarak yüzdürmek için az miktarda hidroksamik asit eklenir. Fazla sodyum silikat gereksinimi ya şap ya da karboksimetil selüloz (CMC) ile birlikte kullanılarak azaltılabilir (Jordens, Cheng, Waters, 2013). Bayan Obo cevherindeki florit, barit ve kalsitin bastırılma mekanizması, mineraller yüzeyindeki baryum hidroksillenmiş kompleksler ve pozitif kalsiyumu adsorbe eden (mineral yüzeylerden yüksek alkali çözeltiye aktarılan kalsiyum ve baryum iyonlarından oluşan) negatif yüklü kolloidal parçacıkları olarak tanımlanır. Sodyum silikatın çözeltideki fazla kalsiyum ve magnezyum iyonlarını çıkararak daha fazla fayda sağladığı ileri sürülmüştür ki buda çökeltilerin oluşumu yoluyla toplayıcıyı azaltır. Reaktifin pH üzerindeki etkisini, REM flotasyonu üzerindeki etkisi üzerinde değerlendirirken bir başka önemli husustur (Marion, Li, Water, 2019).

3.6.3.2. Lignin Sülfonat

Lignin sülfonat, REM flotasyonunda barit için seçici bir bastırıcı olarak kullanılır. Barit, kalsit ve bastnazit yüzeyine adsorbe etmek için gösterilmiştir. Bununla birlikte, barit için daha yüksek bir benzerlik sergiler ve bu nedenle Mountain Pass cevheri içindeki tek mineraldir. Yüksek sıcaklıkların, barit veya kalsitin lignin sülfonat ile bastırılma seçiciliği üzerinde bir etkisi olmadığına inanılmaktadır. Bu bastırıcının aşırı dozu bastnazit flotasyonu için zararlıdır (Pradip ve Fuerstenau, 1991).

3.6.3.3. Sodyum Florosilikat

Sodyum florosilikat, Bayan Obo ve Mountain Pass cevherlerinde barit, kalsit ve florit için genel bir bastırıcı olarak kullanılmıştır. REM flotasyonu için canlandırıcı görevi gördüğü gibi, Bayan Obo'da gangları bastırmak için kullanılan sodyum florosilikat, daha seçici H205 hidroksamik asit toplayıcının kullanılması nedeniyle artık gerekli değildir. Mountain Pass cevheri için sodyum florosilikat, aşırı sodyum karbonat ilavesi ile dengelenmesi gereken pH'ı büyük ölçüde düşürerek sodyum florürden daha az etkili hale getirmektedir. Sodyum florosilikat da silikatlar için bir bastırıcıdır (Morrice ve Wong, 1982; Bulatovic, 2007).

3.6.3.4. Sodyum Florür

Sodyum florür, özellikle sülfür içermeyen minerallerin flotasyonda kullanılan önemli bir bastırıcıdır. Silikat ve oksit mineralleri için bastırıcı olduğuna inanılmasına rağmen, çalışmalar bunlara baskı yapmadığını, diğer bastırıcılarla birlikte kullanıldığında bastırmayı iyileştirdiğini göstermiştir. Sodyum florürün pH üzerinde çok daha az etkiye sahip olması nedeniyle sodyum florosilikat ile karşılaştırıldığında, Mountain Pass cevherinde REM flotasyonu için iyileştirmeler sağladığı görülmüştür (Morrice ve Wong, 1982; Bulatovic, 2007).

3.6.3.5. Sodyum Sülfid

Sodyum sülfit, bir yağ asidi toplayıcısı olarak kullandığında monazit için bir canlandırıcı ve zirkon için bir bastırıcı olduğu raporlanmıştır. Bununla birlikte zirkonun çökmesi dozaja bağlıdır. Düşük dozajlarda sodyum sülfürün monazit, zirkon ve pirokloru canlandırdığı gösterilmiştir. Doz arttıkça piroklor ve zirkon bastırılır ve monazit etkilenmez. Zakharov vd. yüzeydeki S^{2-} ve SH iyonlarının adsorpsiyonuyla, zirkon ve pirokloın toplayıcı adsorpsiyonunu önleyerek bastırdığını tanımlamıştır. Monazitin canlandırılması, SH- iyonlarının eksikliği, yüzeydeki toplayıcı adsorpsiyon için oksitlenmiş forma kükürde eklenmesiyle ile açıklanır. Alternatif bir açıklama, sodyum oleatın mineral yüzeylerden seçici desorpsiyonudur. Polkin vd. monazit desorbsiyonunun yüzmesine izin verecek şekilde tamamlanmamışken, toplayıcının zirkon ve piroklordan neredeyse tamamen çıkarıldığını

bulmuştur. Üçüncü bir açıklama Abeidu'dan gelmiştir; Monazit yüzeyindeki bazı fosfat sahaların, oleat iyonlarının adsorbe edilmiş aktivasyon bölgelerine eklenmesiyle S^{2-} ve SH- iyonları tarafından yer değiştirdiği öne sürmüştür (Zakharov, Ilie, Polkin, Solnyshkin, 1967; Polkin, Ilie, Solnyshkin, Zakharov, 1967).

3.6.3.6. Sodyum Heksametafosfat

Sodyum heksametafosfatın monazitin kalsitten ayrılmasında bir bastırıcı olarak önerilmiştir. Bununla birlikte, kalsiyum iyonlarının monazit yüzeyinden çıkarılması (sitrik asit veya EDTA kullanılarak) çok önemlidir veya ayrıca önemli ölçüde azalma olacaktır. Sodyum heksametafosfat ayrıca oksalik asit kombinasyonunda piroksenleri ve Norra Karr yatağından eudialit yüzeyinde nefelin feldspatları bastırmak için kullanılır (Zhang ve Honaker, 2018).

3.6.3.7. Nişastalar

Nişastalar, toplayıcı adsorpsiyonunu önlemek için mineral yüzeylerini seçici olarak kaplayan bir grup organik polimerdir. Bunlar ksenotim flotasyonunda ve rutil, ilmenit ve zirkon için bastırıcı olarak rol oynayan mineral kum birikintileri monazitinde yüzdürülmesinde kullanılan önemli bastırıcılardır. Ayrıca Mount Well yatağı için önerilen yüzdürme şemalarında da kullanılmıştır (Bulatovic, 1999).

3.6.3.8. Amilopektin

Amilopektin, nişastanın iki ana bileşeninden biridir (diğeri amilozdur). Ksenotim flotasyonunda zirkonu bastırmak için test edilmiştir. Zirkon bastırılırken, amilopektin ayrıca ksenotim üzerinde küçük bir baskılayıcı etkiye sahiptir ve bastırıcı olarak sodyum silikat veya nişasta kullanıldığı kadar etkili değildir (Pereira ve Peres, 1997).

3.6.3.9. Quebracho

Quebracho Shinopsis balansae ve Shinopsis lorentzii ağaçlarının öz odundan elde edilen organik bir polimerdir. Hem ksenotim hem de zirkonu bastırmak için ağır mineral kum yataklarının yüzdürülmesi için bastırıcı olarak test edilmiştir. Ksenotim ve zirkon bastırıcısına neden olan mekanizma tam olarak tarif edilmemiştir, ancak diğer mineral sistemlerinin çoğunda, quebracho'nun bastırma etkisinin mineral yüzeyinden toplayıcının yer değişmesinin bir sonucu olduğuna inanılmaktadır (Bulatovic, 2007).

3.6.3.10. Guar Gam

Guar gam, iki bitkinin tohumundan üretilen organik polimerlerdir: Cyamopsis tetragonalobus ve Cyamopsis psoraloid. Bunlar hidrofobik gang (talk) ve silikatlarının doğal olarak bastırılması için etkilidirler. REM flotasyonunda Guar gam bir bastırıcı olarak uygulanması Boulanger vd. tarafından test edilmiştir (Boulanger, Bazin, Turgeon, 2019; Bulatovic, 2007).

Niobec cevherinin yüzdürmesi için kullanımı incelenmiştir ve daha yüksek bastnazit ve monazit geri kazanımlarına neden olmasına rağmen aynı zamanda gang iyileşmesini desteklemiş ve etkisiz kabul edildiğini bulmuşlardır. Yazarlar seçici olmayan sürüklenme yoluyla gang geri kazanımını desteklediği için guar gamın daha viskoz görünen bir bulamaçta görüldüğünü belirtmişlerdir (Bulatovic, 2007).

3.6.3.11. Silika Jel

Silika jel, Çin nadir toprak yatağının yüzdürülmesinde gang mineralleri barit, florit ve kalsit için iyi bir bastırıcı olduğu gösterilmiştir. Bastırma eylemi, gang minerallerini adsorbe eden ve hidrofilik hale getiren aktif silisli bir kolloid olarak açıklanır. Yazarlar, silika jeli sodyum silikattan daha uygun bir bastırıcı olduğunu ancak dozaj kontrolünün önemli olduğunu belirtmişlerdir. Fazla eklendiğinde, silika jel ayrıca bastnazit ve monaziti de bastırır (Che, Yu, Wang, Zhang, 2003).

3.6.4. Canlandırıcılar

3.6.4.1. Metal Canlandırıcılar

NTE yüzeyine hidroksamat adsorpsiyonunu arttırmak için çeşitli metal canlandırıcılar test edilmiştir. Xia vd., Nechalacho yatağının yüzdürülmesi sırasında bir canlandırıcı olarak kurşun nitratın kullanımını araştırmışlardır. Yazarlar, sadece hidroksamat flotasyonuna kıyasla hem NTE tenörü hem de veriminde iyileşme bulmuşlardır. Benzer şekilde Jordens vd. aynı cevherin yüzdürülmesi için kurşun klorür kullanımını test ettiler. Bu durumda, BHA kullanılarak bir başlangıç flotasyon aşamasında geri kazanılmayan NTE'yi canlandırmak için kurşun iyonları kullanılmıştır. Her iki durumda da kurşun ilavesinin faydalı olduğu öne sürülmekle birlikte, kurşun iyonlarının gang minerallerini de canlandırdığı gösterilmiştir (Jordens, Marion, Grammatikopoulos, Hart, Waters, 2016; Xia, Hart, Loshusan, 2015). Her ne kadar NTE flotasyonu için etkili olduğu gösterilmiş olsa da, potansiyel çevresel kaygılar not edilmelidir. Az miktarda kurşunun halk sağlığı ve çevre üzerindeki potansiyel tehlikeyi vurgulayan çok sayıda literatür bulunmaktadır (Harrison ve Laxen, 1981; Dudka ve Adriano, 1997; Förstner ve Wittmann, 2012; Duruibe, Ogwuegbu, Egwurugwu, 2007). Bir tesisin atık akışında bulunan kurşun çevre ile ilgili sorun oluşturacaktır ve bu tür bir flotasyon şeması kullanan herhangi bir tesis bunu önlemelidir.

Bir aktivatör olarak kurşun kullanımına alternatif olarak Anderson kobalt nitratın bastnaziti etkin bir şekilde aktive edebildiğini gösterdi. Bu, yüzdürme için optimum pH'da pH 9'dan pH 7'ye değişimi ile sonuçlanmıştır; $CoOH^+$ iyonlarının en çok bulunduğu pH'dır (Anderson, 2015). Optimum pH'da benzer bir değişim Jordens vd., allanit flotasyonu için canlandırıcı olarak ferrik klorür ve demir klorürün etkisini test ederken gözlemişlerdir. Allanitin daha önce BHA varlığında yüzmediği gösterilmiştir; ancak, demir klorür ilave edildikten sonra allanit, pH 4'te maksimum verim göstermiştir. Bunun, toplayıcı adsorpsiyon yerleri sağlayan ferrik demir türlerinin (demir iyonlarının en azından kısmen ferrik formlarına oksitlendiği) monohidroksi formunun bir sonucu olduğu varsayılmıştır. Ferrik klorür ilavesinin incelenen pH'da etkili olmadığı kaydedilmiştir. Yazarlar bunun kesin nedenini belirleyememişlerdir; bununla birlikte, demir içeren klorür ilavesiyle hem iki değerlikli hem de üç değerlikli demir iyonlarının rol oynayabileceği öne sürülmüştür. Ayrıca pH 4'te ferrik klorür kullanıldığında aşırı ferrik hidroksit oluşumunun olabileceğini ve pH

3'te daha olumlu sonuçların mümkün olabileceğini belirtmişlerdir. Son olarak, monohidroksi türleri BHA'nın pK_a yakınındaki bir pH'da bulunan bir metal canlandırıcı kullanılarak iyileştirilmiş sonuçların mümkün olabileceği kaydedilmiştir (Jordens, McCarthy, Waters, 2014).

3.6.4.2. Sodyum Oksalat/ Oksalik Asit

Sodyum oksalat, sülfonat toplayıcıları kullanıldığında monazit flotasyonu için bir canlandırıcı olarak çalışılmıştır (Houot, Ciuf, Mottot, Samama, 1991;Bulatovic, 2010). Spesifik sülfonat toplayıcısı ve koşullandırma süresinin yüzdürme üzerinde önemli bir etkisi vardır. Oksalik asit, hidroksamat toplayıcı Florrea 7510, fosforik asit Flotinor 1682 ve toplayıcı karışımı KBX3 kullanılarak Strange Lake yatağının yüzdürülmesinde bir canlandırıcı olarak incelenmiştir. Her durumda oksalik asit, iyileşmiş NTE verimi ile sonuçlanmıştır. Oksalik asit ayrıca, eudialit flotasyonunda piroksenler ve nefelin feldspatlar için bir bastırıcı ve fergusonit flotasyonunda zirkon, kuvars ve feldspat için bir bastırıcı olarak çalışılmıştır (Fawzy, 2018).

3.7. Cevher Yatağı Hakkında Genel Bilgiler

Hukuku ETİ Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü'ne ait kompleks cevher sahası, Eskişehir ili Beylikova ilçesinin güneydoğusunda Kızılcaören, Karkın ve Okçu köyleri arasında yer almakta ve 1.758,46 hektarlık bir alanı kapsamaktadır. Saha, Ankara-Eskişehir devlet karayoluna 35 km, demiryoluna ise 12 km uzaklıktadır.

Saha, MTA'nın 1959 yılında havadan yaptığı gama ışını spektrometre ölçümleri sonucunda toryum varlığına ilişkin bulgularla tespit edilmiştir. MTA tarafından 1974-1977 arasında yapılan çalışmalar sonucunda 1977 yılında hazırlanan Radyoaktif Mineral Raporunda, sahada 286.424 ton görünür, 93.717 ton muhtemel olmak üzere toplam 380.141 ton ThO_2 rezervi bulunduğu belirtilmiştir.

Yine MTA tarafından 1980 ve 1984 arasında barit, fluorit ve nadir toprak elementlerine yönelik olarak gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda yürütülen arama çalışmaları sonucunda 7 sektöre ayrılan sahada, ortalama %37,44 Florit (CaF_2), %31,04 Barit ($BaSO_4$) ve %3,14 Nadir Toprak Oksitleri (La+Ce+Nd oksitler) ve %0,2 ThO_2 tenörlü 30.358.268 ton tüvenan kompleks cevher rezervi (görünür+muhtemel) tespit edilmiştir.

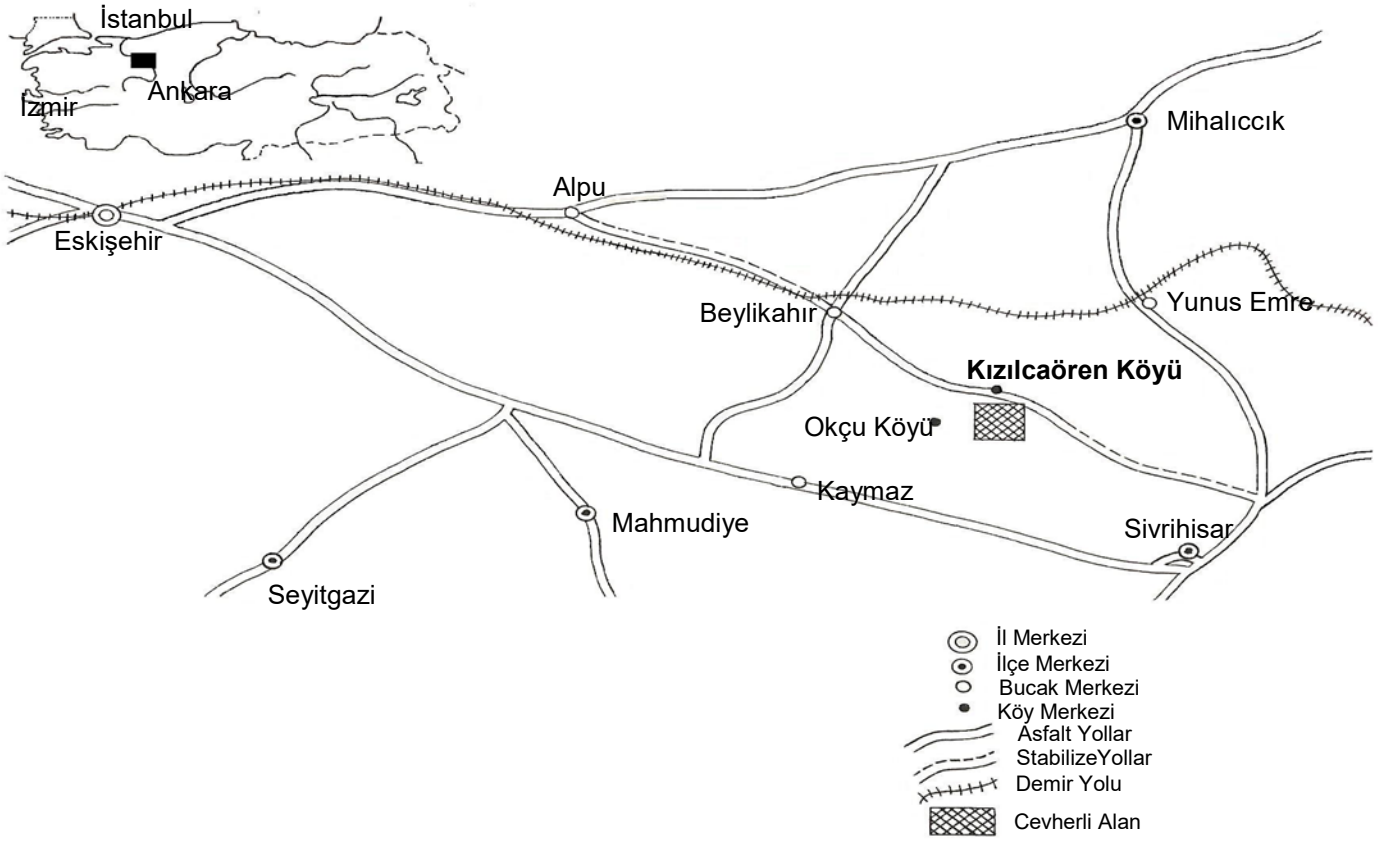
Yatağın cevher içeriği, ortalama tenörler bazında;
11.368.075 ton Fluorit,
9.424.424 ton Barit,
953.587 ton NTE (CeO_2+La_2O_3+Nd_2O_3),
8.612.182 ton gang mineralleri olarak belirlenmiştir.

Belirlenen rezervin yaklaşık %67,62'si Devebağırtan Tepe ve Küçük Höyüklü Tepe sektörlerinde bulunmaktadır. Devebağırtan Tepe Sektörünün %39,23 florit, %28,92 barit ve %3,67 Ce-La-Nd oksitler; Küçük Höyüklü Tepe sektörünün ise %41,75 florit, %35,37 barit ve %3,27 Ce-La-Nd oksitler içerdiği belirlenmiştir. MTA tarafından yapılan çalışmalar sonucunda Devebağırtan Tepe ve Küçük Höyüklü Tepe sahalarının ortalama tenörlerinin genel yatak ortalamasına yakın olduğu anlaşılmış (Kayabalı, 1985), cevherin incelenmesi ve değerlendirilmesine yönelik olarak da çeşitli çalışmalar yapılmıştır (Gülovalı, 1982; Tarhan vd. , 1983; Gündüz, 1995)

Cevherdeki ana bileşenler fluorit (CaF_2), barit ($BaSO_4$) ve bastnazit ($REECO_3F$) tir. Ayrıca az miktarda brokit ($CaTh(PO_4)_2$) ve monazit ($REEPO_4$) minerali bulunmaktadır. Cevher minerallerine pirit, hematit, götit gibi demirli mineraller eşlik etmektedir. Cevher, NTE içeriğinin yaklaşık olarak 1/10'u oranında toryum içermesine rağmen sahada bağımsız bir toryum minerali gözlenmemiştir. Toryum, bastnazitin kristal yapısı içinde bulunmaktadır. Gang minerallerini kuvars, kalsit ve ankerit oluşturur. Bunlar cevher minerallerini ve yan kayacı ince damarcıklar halinde keserler.

Nadir Toprak Elementi mineralleri her sektörde ve her derinlikteki karbonatit örneklerinde gözlenmektedir. Hem oksitlenmiş hem de oksitlenmemiş karbonatit örnekleri NTE mineralleri içermektedir. Karbonatitlerin yanı sıra karbonatit damar ve sillerinin yakın çevresindeki polijenik breşler ve breşleşmiş yankayaçlar içinde de NTE mineralleri gözlenmektedir. NTE minerallerinin tane büyüklükleri 1-2 mikronla 30 mikron arasında değişmektedir.

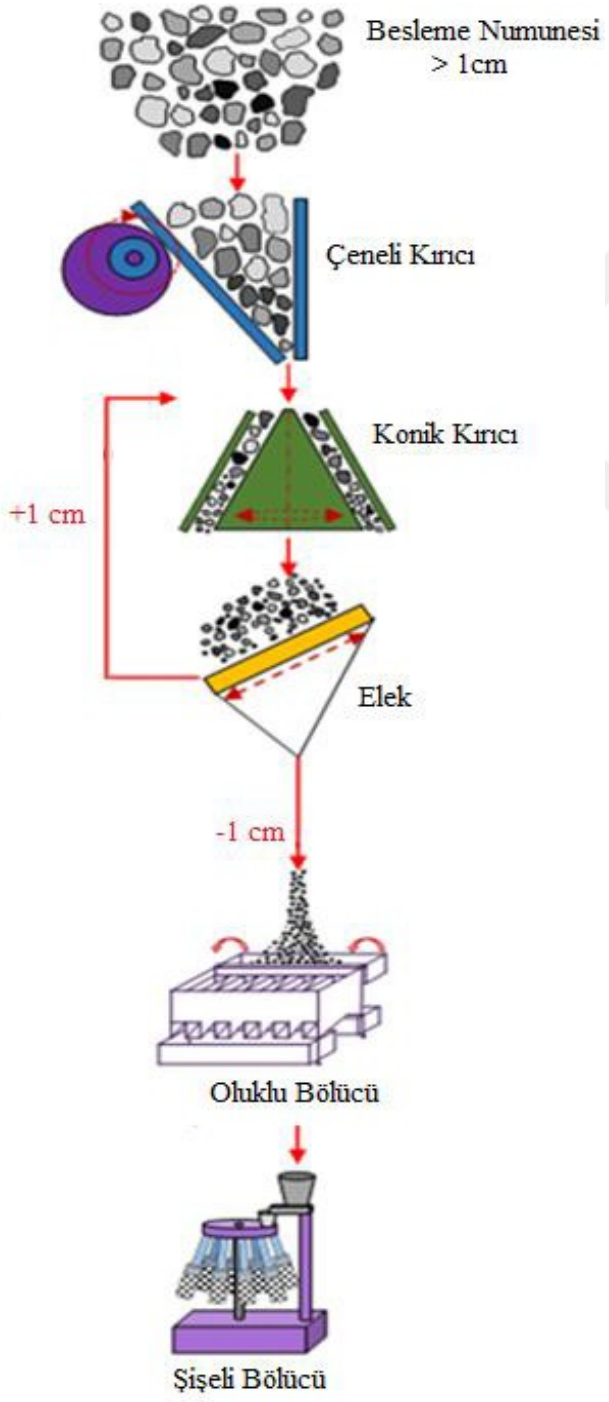
NTE minerallerinin birlikte bulunduğu mineraller başta fluorit ve kalsedon / kuvars/ opal olmak üzere, kalsit, dolomit, ankerit ve siderittir. Ayrıca oksitlenmiş örneklerde ve derinlerde gözlenen mikro boşluklarda NTE mineralleri demir ve mangan oksitlerle birlikte gözlenmektedir. Saçınımlar şeklinde gözlenen NTE mineralleri ise kalsit, dolomit gibi mineraller içinde ve karbonatlaşmış trakitik-fonolitik klastları içinde gözlenmektedir.



Şekil 3.8. Beylikahır kompleks cevher yatağı çalışma mevkii haritası Ölçek: 1/ 500 000

4. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışmada uygulanacak olan deneysel süreçlerin akım şeması gösterimi Şekil 4.1'de gösterilmektedir. Akım şemasında gösterilen aşamalar, bu bölümde detaylı bir şekilde açıklanıp gösterilecektir.



Şekil 4.1. Teknolojik çalışmalar için numune hazırlama akım şeması

4.1. Materyal

Bu tez çalışmasında, Eskişehir Sivrihisar Kızılcaören Köyü bölgesi Devebağırtan mevkiinden alınan cevher örneği kullanılmıştır. Zenginleştirme çalışmaları için Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Maden Analizleri ve Teknolojisi Dairesi Başkanlığı, Teknoloji Koordinatörlüğü, Cevher Zenginleştirme Birimi Laboratuvarlarına getirilmiştir. Çalışılacak numune tartılarak yaklaşık 120 kg olduğu tespit edilmiştir (Şekil 4.2).



Şekil 4.2. Sahadan getirilen cevher numunesi

4.1.1. Numune Hazırlama

Temin edilen örnekler çeneli kırıcı ve konik kırıcı yardımıyla kırılarak tamamı 1 cm'nin altına elenmiş ve homojen olacak şekilde karıştırılmıştır (Şekil 4.3 - 4.4).



Şekil 4.3. Orjinal boyutta elek analizi çalışmaları



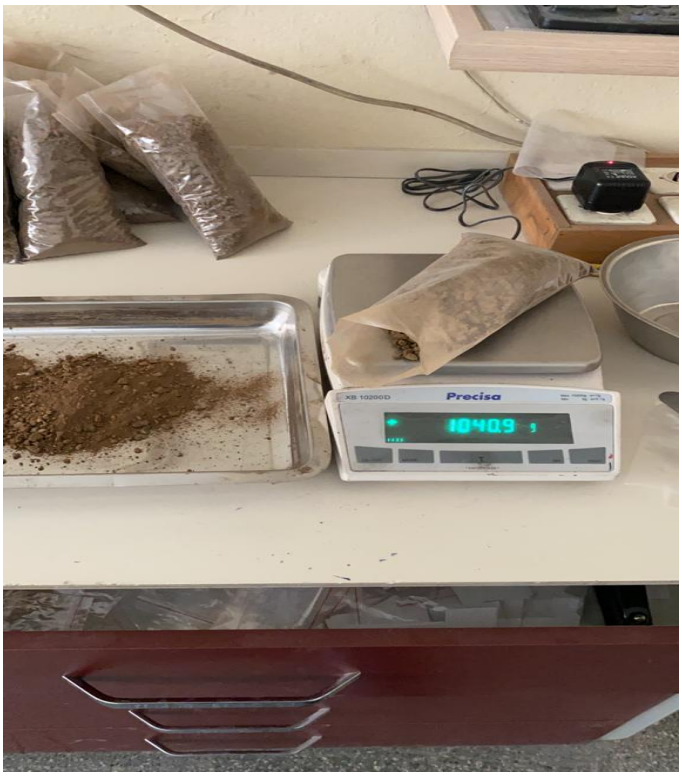
Şekil 4.4. Kırma karıştırma ve eleme çalışmaları

Homojen olarak numuneler karıştırıldıktan sonra oluklu bölücü ile bölünmüştür (Şekil 4.5)



Şekil 4.5. Numune bölme çalışmaları

Daha sonra uygun numune azaltma yöntemleri kullanılarak 1 kg'lık miktarlara azaltılıp, torbalanmıştır ve olası oksitlenmenin önlenmesi amacıyla uygun bir şekilde muhafaza edilmiştir (Şekil 4.6)



Şekil 4.6. Flotasyon için hazırlanmış numuneler

Bu numunelerden ayrıca kimyasal analiz ve elek analizi yapılmak üzere numuneler alınmıştır. Elek analizi Tyler marka elekler kullanılarak yaş olarak yapılmıştır (Çizelge 4.1).

Çizelge 4.1. Konik kırıcı çıkışı yaş elek analizi

Boyut		**Ağırlık (g)**	**% Ağırlık**	**Kümülatif % Elek Altı**
µm	**#**			
8000	2,5	3,93	0,39	100,00
-8000+5600	3,5	168,34	16,83	99,61
-5600+2800	7	244,76	24,48	82,77
-2800+850	20	217,86	21,79	58,30
-850+710	24	26,28	2,63	36,51
-710+500	32	42,34	4,23	33,88
-500+355	42	37,7	3,77	29,65
-355+212	65	35,9	3,59	25,88
-212+150	100	13,54	1,35	22,29
-150+106	150	33,23	3,32	20,94
-106+75	200	25,09	2,51	17,61
-75+53	270	23,8	2,38	15,10
-53+38	400	23,53	2,35	12,72
-38	-400	103,7	10,37	10,37
Toplam		1000	100	

4.1.2. Kimyasal analizler

Hazırlanan örnekler kimyasal bileşimlerinin belirlenmesi amacıyla, MTA Genel Müdürlüğü Analiz Laboratuvarları Koordinatörlüğüne gönderilerek kimyasal analizlerinin gerçekleştirilmesi sağlanmıştır. Giriş numunesinin kimyasal analizi, temsili numuneler üzerinde yapılmış ve Çizelge 4.2'de verilmiştir.

Eskişehir-Beylikova bölgesinden temin edilmiş olan cevherin kimyasal analiz sonucunda bileşiminin ağırlıkça %27,24 $BaSO_4$, %28,05 CaF_2, %1,31 CeO_2, %0,87 La_2O_3, %0,21 Nd_2O_3, %0,084 ThO_2 ve %0,001 U_3O_8'den oluştuğu bulunmuştur.

Çizelge 4.2. Giriş numunesi kimyasal analiz ve satmagan sonuçları

Küpelasyon+ICP Analizleri	
İçerik	**g/t (ppm)**
Au	**0,1**
Ag	**<1**
Rh	<0,30
Ru	<0,30
Ir	<0,30
Pd	<0,30
Pt	<0,05
Yaş Analizler	
İçerik	**%**
Fe	3,35
Fe^{+2}	<0,2
Fe^{+3}	3,35

XRF Analizleri	
İçerik	**%**
SiO_2	17,8
Al_2O_3	6,28
Fe_2O_3	5,2
MgO	1,25
Na_2O	0,4
K_2O	3,7
TiO_2	0,3
P_2O_5	0,35
MnO	1,5
BaO	18,2
$BaSO_4$	27,24
F	13,25
A.Z.	5,3

ICP Analizleri *Üçlü asitte çözme işlemi veya Dörtlü asitte çözme işlemi ve ICP-MS Cihazı ile analiz	
İçerik	**ppm**
La	7407,30
Ba	9189,40
Nd	1806,80
Pr	816,00
Th	739,00
Ce	10667,80
U	7,00
Nb	108,40
Tb	14,20
Sn	9,80
Mn	8845,00
W	7,10
Be	38,70
Bi	1,30
Cd	1,40
Ge	6,70
In	<0,1
Ni	15,30
Tl	9,20
Hf	1,70
V	364,90
Rb	112,10
Dy	37,10
Er	25,90
Eu	29,70
Gd	45,70

ICP Analizleri *Üçlü asitte çözme işlemi veya Dörtlü asitte çözme işlemi ve ICP-MS Cihazı ile analiz	
İçerik	**ppm**
Ho	5,5
Lu	3,6
Sc	14,3
Sm	183,9
Tm	5,1
Y	244,5
Yb	21,7
Co	7,3
Cu	26,6
Ta	9,5
Te	<10
Li	117,9
B	18,9
As	98,5
Ga	29,5
Mo	232,5
Sb	15,2
Pb	186,7
Sr	1481,3
Zr	24,9
Cs	1,1
Cr	99,2
Zn	457,5

ICP Analizleri *Dörtlü asitte çözme işlemi ve ICP-OES Cihazı ile analiz	
İçerik	**ppm**
As	123
Cd	<10
Co	<10
Cu	<10
Mn	10019
Zn	505
Pb	272
Se	<10
Mo	115
Ni	13
Sb	30
Bi	<5
V	340

İçerik	**%**
CeO_2	1,31
La_2O_3	0,87
Nd_2O_3	0,21
ThO_2	0,084
U_3O_8	0,001

Satmagan Analizi
Manyetit (%)
1,72

4.1.3. Minerolojik analizler

Fraksiyonlara ayrılmış toz numuneler, ilk olarak mikro çeyrekleyici (rotary riffler) cihazı kullanılarak çeyreklenmiştir. Çeyreklenen temsili numuneler ile soğuk kalıplama reçinesi (4 br reçine + 1 br sertleştirici), 30 milimetrelik kalıplara dökülerek karıştırılmış ve oda sıcaklığında katılaşması beklenmiştir. Tamamen katılaşmış numuneler kalıplardan çıkarılarak, otomatik aşındırma-parlatma makinesi kullanılarak yaklaşık 8 aşamada yüzeyleri parlatılmış ve MLA cihazına yerleştirilmeden önce parlatılmış numunelerin yüzeyleri karbon ile kaplanarak analize uygun hale getirilmiştir. Numuneler cihaza yerleştirilip gerekli kontrolü ve kalibrasyonu yapıldıktan sonra, cihaz okumaya bırakılmış, bu aşamada tüm fraksiyonlardaki parçacıklardan (minerallerden) otomatik olarak BSE (Back Scattered Electron) görüntüleri alınarak, her parçacık üzerindeki farklı bileşime sahip noktaların kimyasal analiz (EDS) verileri toplanmıştır. Cihaz tarafından otomatik olarak verilerin toplanmasından sonra tüm fraksiyonlarda kullanıcı tarafından sırasıyla; mineral tanımlama, gruplandırma, sınıflandırma, tanımlanamayan parçacıkların (Unknown, Low-Counts, No-Xray) tanımlanması, suni kenetli parçacıkların ayrılması işlemlerine geçilmiştir. Son aşamada da mineral referans, modal mineraloji, hesaplanmış teorik elementel içerik, elementel dağılım, mineral serbestleşme ve diğer veriler üretilmiştir.

MLA analiz sonuçları değerlendirilirken modal mineralojik bileşim, hesaplanmış teorik elementel içerik, elementel dağılım ve ilgi konusu (Nadir Toprak Elementleri, Barit, Fluorit) mineraller için oluşturulan mineral serbestleşme derecesi tabloları dikkate alınmıştır.

Modal mineralojik analiz tablolarına bakıldığında; tüm numunelerde Fluorit, Barit ve Th-Parisit minerallerinin baskın mineraller olduğu dikkati çekmektedir. Diğer mineralleri, numunelere göre değişen miktarlarda NTE ve iz element içeren Ce-Allanit, monazit, rutil-Nb, Fe-U piroklor, sinçisit, ilmenit-Nb, brokit ile gang mineralleri oluşturmaktadır.

Hesaplanmış teorik elementel içerik tablolarına bakıldığında; tüm numunelerdeki elementel NTE miktarı değişimlerinin, bunları içeren minerallerinin toplam modal miktarlarındaki değişime paralellik gösterdiği dikkati çekmektedir.

Numunelerdeki Ce değeri %1,53-6,27, La değeri %0,58-2,25, Nd değeri %0,01-0,07 aralığında değişmektedir. İz elementerden Th değeri %0,06-0,28, U değeri %0,00-0,01, Nb değeri %0,01-0,08 aralığında değişmektedir.

Elementel dağılım tablolarına bakıldığında; tüm numunelerde, toplam elementel Ce değerinin büyük bir kısmının Th-Parisit, daha az bir kısmının Ce-Allanit, çok az bir kısmının da Monazit, Sinçisit ve Brokit; La değerinin büyük bir kısmının Th-Parisit, çok az bir kısmının da Sinçisit ve Monazit; Nd değerinin büyük bir kısmının Monazit, az bir kısmımın da Sinçisit; Th değerinin büyük bir kısmının Th-Parisit, az bir kısmının da Brokit; U değerinin tamamının Fe-U Piroklor; Nb değerinin büyük bir kısmının Fe-U Piroklor, az bir kısmının Ce-Allanit, çok az bir kısmının da İlmenit-Nb ve Rutil-Nb mineral kaynaklı olduğu görülmektedir. Bu nedenle numuneler içerisinde mevcut en önemli NTE mineralini Th-Parisit minerali oluşturmaktadır. Th-Parisit mineralinin toplam elementel Ce değerine katkısı %88,16 ile %94,46, La değerine katkısı %96,22 ile %98,58 arasında değişmektedir. Th-Parisit mineralinin toplam elementel Th değerine katkısı %86,02 ile %99,40 arasında değişmektedir.

Çizelge 4.3. Kompleks cevher içerisinde saptanan mineraller

Sıra No	Mineral	Yoğ. g/cm^3	Formül
1	Barit	4,48	$Ba(SO_4)$
2	İllit	2,75	$(K,H_3O)(Al,Mg,Fe)_2(Si,Al)_4O_{10}(OH)_2,(H_2O)$
3	Kuvars	2,63	(SiO_2)
4	Fluorit	3,13	CaF_2
5	K-feldspat	2,56	$KAlSi_3O_8$
6	Götit	3,80	$Fe_3+O(OH)$
7	Albit	2,62	$NaAlSi_3O_8$
8	Rutil_Nb	4,25	$(Ti,Nb,Fe)O_2$
9	Biotit	3,10	$K(Mg,Fe)_3(Al,Fe)Si_3O_{10}(OH,Cl)_2$
10	Fe-oksit	5,30	Fe_3+2O_3
11	Ce-Allanit	4,26	$(Ce,Ca,Nb)_2(Al,Fe)_3(SiO4)_3(OH)$
12	Monazit	5,15	$(Ce,La,Nd)(PO_4)$
13	Turmalin	3,17	$Na(Mg,Fe_2+)3Al_6(BO_3)3Si_6O_{18}(OH)_4$
14	Apatit	3,19	$Ca_5(PO_4)(F,Cl,OH)$
15	Klorit	2,95	$(Mg,Fe)_3(Si,Al)_4O_{10}(OH)_2\cdot(Mg,Fe)_3(OH)_6$
16	Kaolinit	2,60	$Al_2Si_2O_5(OH)_4$
17	Pirit	5,01	Fe_2+S_2
18	Plajiyoklaz	2,69	$Na0.5Ca0.5Si_3AlO_8$
19	Fe-U-Piroklor	4,70	$(Ca,U,Na)_2(Nb,Ta,Fe,Ti)_2O_6(O,OH)$
20	Nefelin	2,60	$Na0.75K0.25Al(SiO_4)$
21	Talk	2,75	$Mg_3Si_4O_{10}(OH)_2$
22	Piroksen	3,40	$(Ca,Na)(Fe,Mg,Mn)(Si,Al)SiO_6$
23	Spinel-kromit	4,55	$(Fe_2+,Mg)Cr_2O_4$
24	Enstantit (Piroksen)	3,40	$(Ca,Na)(Mg,Fe,\ Mn)(Si)_2O_6$
25	Titanit	3,48	$CaTiSiO_5$
26	Synchysite-(Ce)	4,03	$(Ce,La)Ca(CO_3)2F$
27	Kalsit	2,71	$Ca(CO_3)$
28	Sfalerit	4,00	ZnS
29	Dolomit	2,85	$CaMg(CO_3)_2$
30	Muskovit	2,83	$KAl_3Si_3O_{10}(OH)_2$
31	Kliniklor	2,65	$(Mg,Fe^{+2})5AlSi_3Al_2O_{10}(OH)_8$
32	Baritokalsit	3,65	$BaCa(CO_3)_2$
33	Zoisit	3,30	$Ca_2Al_3Si_3O_{12}(OH)$
34	Aegirine-augit	3,50	$(Ca,Na)(Fe)(Si_2O_6)$
35	Karbosernait	1,00	$(Ca,Na)(Sr,Ce,Ba)(CO_3)_2$
36	Magnetit	5,15	Fe_3O_4
37	Anhidrit/Alçı taşı	2,97	$Ca(SO_4)$
38	Ankerit	3,05	$Ca(Fe,Mg,Mn)(CO_3)_2$
39	Pb-Mn Oksit	5,53	$PbMn_8O_{16}$
40	Ba-Fe-Mn Oksit	5,05	$BaFeMn_8O_{16}$
41	Th-Parisit	4,34	$Ca(Ce,La)_2(Th)(CO_3)F_2$
42	İlmenit_Nb	4,79	$(Nb)FeTiO_3$
43	Mn-Fe Oksit	4,92	$MnFeO$
44	Al-Sr Fosfat	3,24	$SrAl_3(PO_4)_2$
45	Ba-Mn Oxide	5,05	$BaMn_8O_{16}$
46	Brokit	3,90	$(Ca,Th,Ce)(PO_4)(H_2O)$
47	Ankerit	3,05	$Ca(Fe,Mg,Mn)(CO_3)_2$

Çizelge 4.4.+500 µm fraksiyonu mineral-element birlikteliği

Mineral	Ba (%)	Ce (%)	F (%)	Fe (%)	La (%)	Mn (%)	Nd (%)	Pr (%)	Si (%)	Sm (%)	Th (%)	U (%)
Barit	**95,79**	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
İllit	0,00	0,00	0,00	1,57	0,00	0,00	0,00	0,00	**16,49**	0,00	0,00	0,00
Fluorit	0,00	0,00	**99,01**	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
K-feldspat	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	**70,92**	0,00	0,00	0,00
Götit	0,00	0,00	0,00	**34,69**	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Biotit	0,00	0,00	0,00	**3,56**	0,00	0,00	0,00	0,00	1,29	0,00	0,00	0,00
Fe-oksit	0,00	0,00	0,00	**16,39**	0,00	0,11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ce-Allanit	0,00	**4,07**	0,00	0,58	0,00	0,00	0,00	0,00	0,34	0,00	0,00	0,00
Monazit	0,00	**1,76**	0,00	0,13	**1,92**	0,00	**88,36**	**100,00**	0,00	**100,00**	0,00	0,00
Fe-U-Piroklor	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	**100,00**
Piroksen	0,00	0,00	0,00	2,58	0,00	0,11	0,00	0,00	2,01	0,00	0,00	0,00
Synchysite-(Ce)	0,00	0,22	0,00	0,03	0,32	0,00	**11,64**	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Pb-Mn Oksit	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	**27,12**	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ba-Fe-Mn Oksit	1,15	0,00	0,00	**13,11**	0,00	**18,27**	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Th-Parisit	0,00	**93,94**	0,97	0,00	**97,76**	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	**99,40**	0,00

Baryum elementinin %95,79'unun Barit, Fluor elementinin %99,01'inin Florit, Ce, La ve Th elementlerinin sırasıyla %93,94; %97,76 ve %99,40'ının Th-Parisit mineralinden kaynaklandığı tespit edilmiştir. Pr ve Sr elementleri %100 Monazit mineralinden kaynaklanırken, Nd elementinin %88,36'sının Monazitten, %11,64'ünün ise Synchysite-Ce mineralinden kaynaklandığı bulunmuştur.

Çizelge 4.5.-500+350 µm fraksiyonu mineral-element birlikteliği

Mineral	Ba (%)	Ce (%)	F (%)	Fe (%)	La (%)	Mn (%)	Nd (%)	Pr (%)	Si (%)	Sm (%)	Th (%)	U (%)
Barite	96,83	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Illite	0,00	0,00	0,00	1,48	0,00	0,00	0,00	0,00	17,86	0,00	0,00	0,00
Fluorite	0,00	0,00	98,78	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
K-feldspar	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	71,37	0,00	0,00	0,00
Goethite	0,00	0,00	0,00	38,74	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Biotite	0,00	0,00	0,00	4,56	0,00	0,00	0,00	0,00	1,91	0,00	0,00	0,00
Fe-oxide	0,00	0,00	0,00	16,64	0,00	0,15	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ce_Allanite	0,00	3,95	0,00	0,76	0,00	0,00	0,00	0,00	0,51	0,00	0,00	0,00
Monazite	0,00	1,33	0,00	0,13	1,45	0,00	84,45	100,00	0,00	100,00	0,00	0,00
Fe-U-Pyrochlore	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,0
Synchysite-(Ce)	0,00	0,23	0,00	0,04	0,34	0,00	15,55	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Pb_Mn Oxide	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	23,90	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ba_Fe_Mn Oxide	0,85	0,00	0,00	12,66	0,00	22,55	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Th_Parisite	0,00	94,46	1,21	0,00	98,21	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	96,75	0,00
Mn_Fe Oxide	0,00	0,00	0,00	17,45	0,00	7,87	0,00	0,00	0,28	0,00	0,00	0,00
Al_Sr Phosphate	0,00	0,00	0,00	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ba_Fe_Mn Oxid	1,47	0,00	0,00	2,56	0,00	45,15	0,00	0,00	0,16	0,00	0,00	0,00
Brockite	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,25	0,00

Çizelge 4.6. -350+150 µm fraksiyonu mineral-element birlikteliği

Mineral	Ba (%)	Ce (%)	F (%)	Fe (%)	La (%)	Mn (%)	Nd (%)	Pr (%)	Si (%)	Sm (%)	Th (%)	U (%)
Barite	98,44	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Illite	0,00	0,00	0,00	1,23	0,00	0,00	0,00	0,00	17,70	0,00	0,00	0,00
Quartz	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	4,96	0,00	0,00	0,00
Fluorite	0,00	0,00	98,36	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
K-feldspar	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	64,80	0,00	0,00	0,00
Goethite	0,00	0,00	0,00	46,21	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Biotite	0,00	0,00	0,00	7,42	0,00	0,00	0,00	0,00	3,71	0,00	0,00	0,00
Fe-oxide	0,00	0,00	0,00	17,19	0,00	0,23	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ce_Allanite	0,00	4,92	0,00	0,88	0,00	0,00	0,00	0,00	0,70	0,00	0,00	0,00
Monazite	0,00	1,08	0,00	0,10	1,19	0,00	86,87	100,00	0,00	100,00	0,00	0,00
Fe-U-Pyrochlore	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,0
Pyroxene	0,00	0,00	0,00	2,24	0,00	0,19	0,00	0,00	2,40	0,00	0,00	0,00
Spinel-chromite	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Synchysite-(Ce)	0,00	0,15	0,00	0,02	0,23	0,00	13,13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ankerite	0,00	0,00	0,00	1,49	0,00	0,28	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Pb_Mn Oxide	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	26,60	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ba_Fe_Mn Oxide	0,35	0,00	0,00	6,71	0,00	18,39	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Th_Parisite	0,00	93,79	1,61	0,00	98,58	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	94,66	0,00
Mn_Fe Oxide	0,00	0,00	0,00	14,13	0,00	9,80	0,00	0,00	0,27	0,00	0,00	0,00
Ba_Fe_Mn Oxide	0,72	0,00	0,00	1,64	0,00	44,49	0,00	0,00	0,12	0,00	0,00	0,00
Brockite	0,00	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	5,34	0,00

Çizelge 4.7. -150+75 µm fraksiyonu mineral-element birlikteliği

Mineral	Ba (%)	Ce (%)	F (%)	Fe (%)	La (%)	Mn (%)	Nd (%)	Pr (%)	Si (%)	Sm (%)	Th (%)	U (%)
Barite	99,09	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Illite	0,00	0,00	0,00	1,18	0,00	0,00	0,00	0,00	19,96	0,00	0,00	0,00
Quartz	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	6,77	0,00	0,00	0,00
Fluorite	0,00	0,00	97,35	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
K-feldspar	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	54,99	0,00	0,00	0,00
Goethite	0,00	0,00	0,00	43,26	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Biotite	0,00	0,00	0,00	8,22	0,00	0,00	0,00	0,00	4,79	0,00	0,00	0,00
Fe-oxide	0,00	0,00	0,00	23,37	0,00	0,56	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ce_Allanite	0,00	6,52	0,00	1,11	0,00	0,00	0,00	0,00	1,04	0,00	0,00	0,00
Monazite	0,00	1,53	0,00	0,13	1,71	0,00	80,17	100,00	0,00	100,00	0,00	0,00
Fe-U-Pyrochlore	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,0
Synchysite-(Ce)	0,00	0,35	0,01	0,05	0,54	0,00	19,83	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ankerite	0,00	0,00	0,00	1,45	0,00	0,48	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Pb_Mn Oxide	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	26,58	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ba_Fe_Mn Oxide	0,22	0,00	0,00	5,29	0,00	25,76	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Th_Parisite	0,00	91,54	2,63	0,00	97,76	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	93,59	0,00
Mn_Fe Oxide	0,00	0,00	0,00	10,66	0,00	13,16	0,00	0,00	0,24	0,00	0,00	0,00
Ba_Fe_Mn Oxide	0,24	0,00	0,00	0,68	0,00	32,79	0,00	0,00	0,06	0,00	0,00	0,00
Brockite	0,00	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	6,41	0,00

Çizelge 4.8. -75+38 µm fraksiyonu mineral-element birlikteliği

Mineral	Ba (%)	Ce (%)	F (%)	Fe (%)	La (%)	Mn (%)	Nd (%)	Pr (%)	Si (%)	Sm (%)	Th (%)	U (%)
Barite	99,37	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Illite	0,00	0,00	0,00	2,70	0,00	0,00	0,00	0,00	38,34	0,00	0,00	0,00
Quartz	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	11,86	0,00	0,00	0,00
Fluorite	0,00	0,00	95,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
K-feldspar	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	30,30	0,00	0,00	0,00
Goethite	0,00	0,00	0,00	36,81	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Biotite	0,00	0,00	0,00	7,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,44	0,00	0,00	0,00
Fe-oxide	0,00	0,00	0,00	31,07	0,00	1,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ce_Allanite	0,00	6,87	0,00	1,56	0,00	0,00	0,00	0,00	1,22	0,00	0,00	0,00
Monazite	0,00	1,81	0,00	0,21	2,03	0,00	90,02	100,00	0,00	100,00	0,00	0,00
Fe-U-Pyrochlore	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,0
Pyroxene	0,00	0,00	0,00	4,24	0,00	0,93	0,00	0,00	4,47	0,00	0,00	0,00
Synchysite-(Ce)	0,00	0,19	0,01	0,04	0,29	0,00	9,98	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Barytocalcite	0,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ankerite	0,00	0,00	0,00	1,60	0,00	0,76	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Pb_Mn Oxide	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	27,44	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ba_Fe_Mn Oxide	0,13	0,00	0,00	4,26	0,00	29,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Th_Parisite	0,00	91,08	4,91	0,00	97,69	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	93,86	0,00
Mn_Fe Oxide	0,00	0,00	0,00	8,26	0,00	14,48	0,00	0,00	0,15	0,00	0,00	0,00
Ba_Fe_Mn Oxide	0,10	0,00	0,00	0,37	0,00	25,56	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00
Brockite	0,00	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	6,14	0,00

Çizelge 4.9. -38+20 µm fraksiyonu mineral-element birlikteliği

Mineral	Ba (%)	Ce (%)	F (%)	Fe (%)	La (%)	Mn (%)	Nd (%)	Pr (%)	Si (%)	Sm (%)	Th (%)	U (%)
Barite	98,53	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Illite	0,00	0,00	0,00	1,29	0,00	0,00	0,00	0,00	26,83	0,00	0,00	0,00
Quartz	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	17,08	0,00	0,00	0,00
Fluorite	0,00	0,00	93,52	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
K-feldspar	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	29,19	0,00	0,00	0,00
Goethite	0,00	0,00	0,00	28,71	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Albite	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,45	0,00	0,00	0,00
Biotite	0,00	0,00	0,00	5,93	0,00	0,00	0,00	0,00	4,28	0,00	0,00	0,00
Fe-oxide	0,00	0,00	0,00	43,42	0,00	1,61	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ce_Allanite	0,00	6,74	0,00	1,10	0,00	0,00	0,00	0,00	1,27	0,00	0,00	0,00
Monazite	0,00	1,64	0,00	0,13	1,83	0,00	87,82	100,00	0,00	100,00	0,00	0,00
Fe-U-Pyrochlore	0,00	0,00	0,00	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,0
Pyroxene	0,00	0,00	0,00	3,31	0,00	0,79	0,00	0,00	5,13	0,00	0,00	0,00
Synchysite-(Ce)	0,00	0,21	0,02	0,03	0,32	0,00	12,18	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ankerite	0,00	0,00	0,00	1,35	0,00	0,70	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Pb_Mn Oxide	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	12,69	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ba_Fe_Mn Oxide	0,87	0,00	0,00	8,22	0,00	61,55	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Th_Parisite	0,00	91,36	6,43	0,00	97,84	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	93,87	0,00
Mn_Fe Oxide	0,00	0,00	0,00	4,67	0,00	8,86	0,00	0,00	0,13	0,00	0,00	0,00
Ba_Fe_Mn Oxide	0,17	0,00	0,00	0,18	0,00	13,61	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00
Brockite	0,00	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	6,13	0,00

Çizelge 4.10. -20+10 µm fraksiyonu mineral-element birlikteliği

Mineral	Ba (%)	Ce (%)	F (%)	Fe (%)	La (%)	Mn (%)	Nd (%)	Pr (%)	Si (%)	Sm (%)	Th (%)	U (%)
Barite	98,66	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Illite	0,00	0,00	0,00	2,39	0,00	0,00	0,00	0,00	39,36	0,00	0,00	0,00
Quartz	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	15,80	0,00	0,00	0,00
Fluorite	0,00	0,00	94,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
K-feldspar	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	22,43	0,00	0,00	0,00
Goethite	0,00	0,00	0,00	32,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Biotite	0,00	0,00	0,00	6,29	0,00	0,00	0,00	0,00	3,59	0,00	0,00	0,00
Fe-oxide	0,00	0,00	0,00	41,37	0,00	2,51	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ce_Allanite	0,00	7,10	0,00	1,31	0,00	0,00	0,00	0,00	1,20	0,00	0,00	0,00
Monazite	0,00	1,42	0,00	0,13	1,60	0,00	83,00	100,00	0,00	100,00	0,00	0,00
Fe-U-Pyrochlore	0,00	0,00	0,00	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,0
Pyroxene	0,00	0,00	0,00	4,00	0,00	1,56	0,00	0,00	4,90	0,00	0,00	0,00
Synchysite-(Ce)	0,00	0,27	0,02	0,04	0,42	0,00	17,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Dolomite	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Barytocalcite	0,52	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Zoisite	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,69	0,00	0,00	0,00
Ankerite	0,00	0,00	0,00	1,45	0,00	1,22	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Pb_Mn Oxide	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	18,72	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ba_Fe_Mn Oxide	0,60	0,00	0,00	3,59	0,00	43,98	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Th_Parisite	0,00	91,07	5,68	0,00	97,98	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	86,02	0,00
Mn_Fe Oxide	0,00	0,00	0,00	4,06	0,00	12,62	0,00	0,00	0,09	0,00	0,00	0,00
Ba_Mn Oxide	0,22	0,00	0,00	0,16	0,00	18,89	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00
Brockite	0,00	0,13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	13,98	0,00

Çizelge 4.11. -10 µm fraksiyonu mineral-element birlikteliği

Mineral	Ba (%)	Ce (%)	F (%)	Fe (%)	La (%)	Mn (%)	Nd (%)	Pr (%)	Si (%)	Sm (%)	Th (%)	U (%)
Barite	96,45	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Illite	0,00	0,00	0,00	2,85	0,00	0,00	0,00	0,00	49,49	0,00	0,00	0,00
Quartz	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	11,64	0,00	0,00	0,00
Fluorite	0,00	0,00	94,59	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
K-feldspar	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	15,38	0,00	0,00	0,00
Goethite	0,00	0,00	0,00	23,77	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Biotite	0,00	0,00	0,00	3,44	0,00	0,00	0,00	0,00	2,06	0,00	0,00	0,00
Fe-oxide	0,00	0,00	0,00	50,29	0,00	3,35	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ce_Allanite	0,00	8,78	0,00	2,20	0,00	0,00	0,00	0,00	2,12	0,00	0,00	0,00
Monazite	0,00	1,94	0,00	0,24	2,21	0,00	64,29	100,00	0,00	100,00	0,00	0,00
Fe-U-Pyrochlore	0,00	0,00	0,00	0,09	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,0
Pyroxene	0,00	0,00	0,00	5,47	0,00	2,34	0,00	0,00	7,05	0,00	0,00	0,00
Synchysite-(Ce)	0,00	1,00	0,07	0,21	1,56	0,00	35,71	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00
Barytocalcite	2,16	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ankerite	0,00	0,00	0,00	2,83	0,00	2,62	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Pb_Mn Oxide	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	18,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ba_Fe_Mn Oxide	1,13	0,00	0,00	3,85	0,00	51,85	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Th_Parisite	0,00	88,16	5,33	0,00	96,22	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	87,13	0,00
Mn_Fe Oxide	0,00	0,00	0,00	2,21	0,00	7,54	0,00	0,00	0,05	0,00	0,00	0,00
Ba_Mn Oxide	0,25	0,00	0,00	0,10	0,00	13,43	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00
Brockite	0,00	0,12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	12,87	0,00

Çizelge 4.12. Giriş cevheri serbestleşme tane boyutu aralıkları

Tane Boyutu, µm	Fluorit	Barit	Th-Parisit	Brockite	Ce-Allanite	Monazit	Synchysite	Carbocernaite	Fe U Pyrochlore	Ilmenite Nb	Rutile Nb
+500	24,57	7,33	0,91	0,00	6,45	7,83	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
-500+350	35,17	11,21	1,43	0,00	4,36	0,48	0,00	0,00	0,21	0,00	0,00
-350+150	41,4	34,05	2,24	1,23	3,31	1,25	1,86	0,00	11,81	2,17	0,00
-150+75	49,32	57,2	7,38	3,94	4,26	7,82	0,30	0,00	5,85	20,39	0,28
-75+38	50,76	67,25	16,78	1,01	3,50	10,14	0,67	0,46	2,07	10,92	0,34
-38+20	54,08	77,05	48,19	17,39	2,72	21,16	4,82	15,57	45,98	17,88	1,91
-20+10	64,83	84,09	68,53	52,37	17,97	36,66	10,31	16,93	42,3	26,49	40,51
-10	64,99	87,68	73,32	74,25	45,25	84,4	26,75	43,4	68,67	56,99	56,77

Çizelge 4.13. Fluorit minerali ikili bağlı mineral durumu

Tane Boyutu, µm	Fluorit (Serbest)	İkili Bağlı	Barite	Illite	Th_Parisite	K-feldspar	Fe-oxide	Biotite	Ce_Allanite	Pyroxene	Synchysite-(Ce)	Barytocalcite	Zoisite	Ankerite	Ba_Fe_Mn Oxide	Al_Sr Phosphate
+500	24,57	**49,01**	44,93	1,46	0,80	0,67	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,00	0,01	0,02	0,00
-500+350	35,17	**42,71**	37,09	1,04	1,67	0,48	0,34	0,00	0,00	0,00	0,00	0,18	0,02	0,06	0,47	0,01
-350+150	41,40	**42,23**	35,71	1,28	1,97	0,25	0,30	0,38	0,31	0,02	0,00	0,03	0,35	0,34	0,25	0,06
-150+75	49,32	**35,36**	23,89	2,39	3,77	0,65	0,55	0,30	0,72	0,17	0,00	0,20	0,44	0,56	0,27	0,27
-75+38	50,76	**33,95**	16,96	4,85	4,75	0,43	0,40	0,40	0,84	0,15	0,06	0,12	2,07	1,06	0,20	0,25
-38+20	54,08	**26,97**	5,41	1,76	5,32	0,58	1,04	0,00	1,25	0,53	0,07	0,29	4,96	2,21	1,07	0,79
-20+10	64,83	**22,30**	1,72	5,50	4,34	0,00	0,00	0,00	1,00	0,22	0,21	0,24	3,26	2,40	0,00	0,94
-10	64,99	**21,59**	1,75	4,67	4,59	0,00	0,00	0,00	0,73	0,24	0,61	0,57	2,29	2,23	0,00	1,51

Çizelge 4.14. Fluorit minerali üçlü bağlı mineral durumu

Tane Boyutu, µm	Fluorit (Serbest)	Üçlü Bağlı	Barite	Illite	Th_Parisite	K-feldspar	Fe-oxide	Biotite	Ce_Allanite	Pyroxene	Synchysite-(Ce)	Barytocalcite	Zoisite	Ankerite	Ba_Fe_Mn Oxide	Ba_Mn Oxide (Hollandite?)
+500	24,57	**26,42**	15,34	0,36	2,83	0,53	0,22	0,28	0,03	0,31	0,00	0,35	0,00	0,00	0,20	2,94
-500+350	35,17	**22,12**	13,36	1,00	3,01	0,06	0,23	0,25	0,00	0,00	0,00	0,54	0,00	0,00	0,45	0,97
-350+150	41,40	**16,37**	8,53	0,86	2,32	0,45	0,26	0,29	0,00	0,00	0,00	0,27	0,00	0,00	0,27	1,10
-150+75	49,32	**13,88**	5,81	1,05	2,20	0,33	0,50	0,25	0,41	0,38	0,00	0,18	0,00	0,00	0,44	0,39
-75+38	50,76	**16,73**	5,10	3,21	2,35	0,46	0,62	0,15	0,72	0,33	0,00	0,18	0,00	0,00	0,30	0,28
-38+20	54,08	**18,95**	2,20	2,55	2,18	0,71	1,71	0,29	1,17	0,45	0,10	0,22	2,59	1,08	1,53	0,16
-20+10	64,83	**12,87**	0,90	4,02	1,14	0,50	0,77	0,14	0,69	0,37	0,08	0,17	1,36	0,88	0,22	0,08
-10	64,99	**13,41**	0,82	3,84	1,71	0,48	0,62	0,09	0,49	0,34	0,33	0,29	1,46	0,91	0,21	0,01

Çizelge 4.15. Barit minerali ikili bağlı mineral durumu

Tane Boyutu, µm	Barit (Serbest)	İkili Bağlı	Fluorite	Illite	Th_Parisite	K-feldspar	Fe-oxide	Biotite	Ce_Allanite	Pyroxene	Pb_Mn Oxide	Barytocalcite	Zoisite	Ankerite	Ba_Fe_Mn Oxide	Monazite
+500	7,33	47,57	25,98	1,35	16,70	0,54	0,82	0,00	0,02	0,04	0,00	0,01	0,00	0,03	0,06	1,52
-500+350	11,21	51,11	27,31	1,60	19,01	0,36	0,29	0,06	0,23	0,03	0,18	0,06	0,00	0,02	0,46	0,00
-350+150	34,05	48,31	20,71	2,50	21,87	0,22	0,58	0,31	0,13	0,46	0,23	0,07	0,05	0,15	0,40	0,02
-150+75	57,20	35,23	14,65	2,88	14,06	0,20	0,67	0,23	0,52	0,35	0,22	0,21	0,12	0,16	0,36	0,09
-75+38	67,25	27,44	7,70	4,98	11,29	0,08	0,52	0,15	0,53	0,45	0,00	0,56	0,20	0,00	0,28	0,14
-38+20	77,05	18,58	4,64	0,95	7,97	0,09	0,63	0,14	0,44	0,00	0,00	0,95	0,33	0,10	1,09	0,16
-20+10	84,09	12,27	2,17	2,62	3,73	0,23	0,12	0,00	0,00	0,45	0,00	1,42	0,14	0,00	0,19	0,00
-10	87,68	8,85	1,81	1,63	2,49	0,17	0,20	0,00	0,22	0,40	0,00	1,22	0,07	0,03	0,15	1,51

Çizelge 4.16. Barit minerali üçlü bağlı mineral durumu

Tane Boyutu, µm	Barit (Serbest)	Üçlü Bağlı	Fluorite	Illite	Th_Parisite	K-feldspar	Fe-oxide	Goethite	Biotite	Ce_Allanite	Pyroxene	Synchysite-(Ce)	Barytocalcite	Zoisite	Ankerite	Ba_Fe_Mn Oxide	Pb_Mn Oxide	Monazite
+500	7,33	45,10	21,37	1,96	9,42	0,46	0,21	0,35	0,53	0,06	0,41	0,00	0,14	0,01	0,26	1,31	3,92	0,00
-500+350	11,21	37,67	16,00	2,03	11,26	0,24	0,69	0,67	0,65	0,12	0,20	0,00	0,25	0,18	0,26	1,05	1,39	0,40
-350+150	34,05	17,64	6,46	1,61	5,51	0,20	0,36	0,34	0,37	0,15	0,25	0,00	0,08	0,06	0,19	0,42	0,67	0,05
-150+75	57,20	7,57	2,27	0,76	2,41	0,08	0,30	0,08	0,11	0,17	0,22	0,02	0,08	0,05	0,10	0,21	0,21	0,08
-75+38	67,25	5,32	1,21	1,06	1,43	0,06	0,27	0,16	0,06	0,17	0,22	0,01	0,13	0,08	0,06	0,12	0,10	0,06
-38+20	77,05	4,37	0,97	0,41	0,82	0,07	0,33	0,05	0,04	0,23	0,21	0,02	0,21	0,19	0,08	0,42	0,06	0,07
-20+10	84,09	3,64	0,74	0,96	0,45	0,09	0,17	0,07	0,04	0,13	0,20	0,00	0,25	0,13	0,03	0,11	0,02	0,02
-10	87,68	3,47	0,85	0,79	0,45	0,10	0,16	0,06	0,02	0,12	0,17	0,03	0,22	0,14	0,05	0,08	0,03	0,01

Çizelge 4.17. Th Parisit minerali ikili bağlı mineral durumu

Tane Boyutu, µm	Th Parisit (Serbest)	İkili Bağlı	Barite	Illite	Fluorite	K-feldspar	Goethite	Biotite	Fe-oxide	Ce_Allanite	Monazite	Pyroxene	Synchysite-(Ce)	Barytocalcite	Zoisite	Ankerite	Pb_Mn Oxide	Ba_Fe_Mn Oxide
+500	0,91	24,14	21,97	0,06	1,31	0,01	0,11	0,00	0,01	0,11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,51	0,00
-500+350	1,43	29,69	27,00	0,06	2,54	0,02	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,02	0,00
-350+150	2,24	50,15	45,67	1,18	2,71	0,02	0,00	0,11	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,10	0,00	0,00	0,20	0,00
-150+75	7,38	55,87	44,66	3,54	5,61	0,05	0,07	0,15	0,69	0,00	0,02	0,32	0,00	0,07	0,04	0,19	0,12	0,09
-75+38	16,78	56,62	37,94	8,26	7,05	0,14	0,06	0,25	0,59	0,00	0,75	0,35	0,00	0,03	0,00	0,17	0,27	0,23
-38+20	48,19	34,98	14,83	2,78	9,13	0,29	0,30	0,32	1,79	0,01	1,39	0,71	0,00	0,00	0,51	0,24	0,25	1,55
-20+10	68,53	21,77	4,03	6,64	5,87	0,21	0,03	0,28	0,60	0,08	1,03	0,79	0,10	0,00	0,20	0,23	0,41	0,33
-10	73,32	17,43	3,86	4,11	5,12	0,23	0,22	0,00	0,44	0,03	0,59	0,42	0,19	0,25	0,25	0,31	0,23	0,39

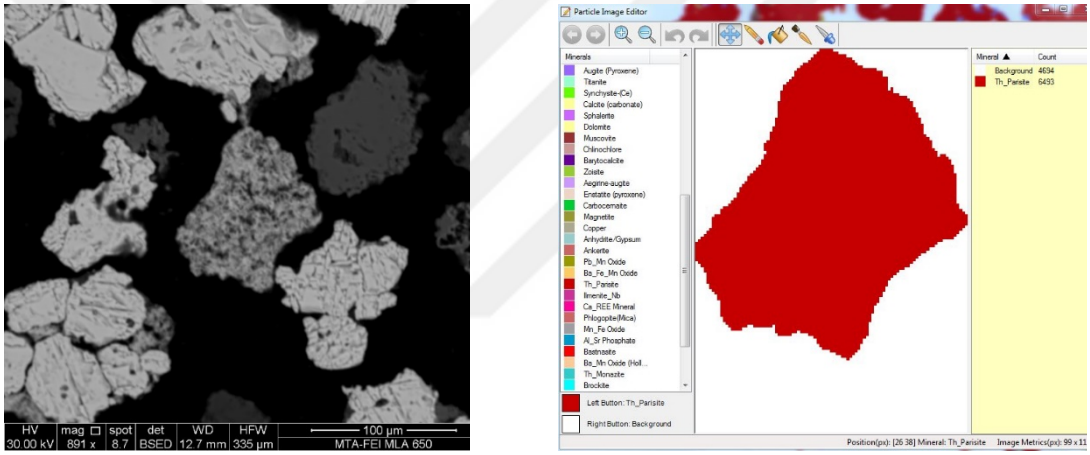
Çizelge 4.18. Th Parisit minerali üçlü bağlı mineral durumu

Tane Boyutu, µm	Th Parisit (Serbest)	Üçlü Bağlı	Barite	Illite	Fluorite	K-feldspar	Goethite	Biotite	Fe-oxide	Ce_Allanite	Monazite	Pyroxene	Synchysite-(Ce)	Zoisite	Ankerite	Pb_Mn Oxide	Ba_Fe_Mn Oxide
+500	1,43	74,43	39,12	2,11	25,68	0,11	0,88	0,20	0,52	0,24	0,00	0,00	0,00	0,00	0,13	2,42	0,41
-500+350	0,91	69,39	40,78	2,43	19,32	0,25	0,89	0,30	0,44	0,03	0,13	0,04	0,01	0,42	0,04	0,24	1,98
-350+150	2,24	47,61	27,71	2,33	11,84	0,20	0,00	0,54	0,28	0,00	0,32	0,00	0,00	0,14	0,18	1,40	0,56
-150+75	7,38	36,75	18,47	3,91	6,65	0,19	0,48	0,86	1,23	0,20	0,37	0,54	0,14	0,14	0,22	1,50	0,68
-75+38	16,78	26,62	10,77	4,74	4,69	0,22	0,37	0,30	1,04	0,18	0,77	0,55	0,00	0,00	0,19	0,84	0,56
-38+20	48,19	16,83	2,60	1,82	3,69	0,31	0,30	0,24	1,92	0,27	0,33	0,73	0,00	0,84	0,33	0,60	1,72
-20+10	68,53	9,69	0,87	2,94	1,87	0,25	0,26	0,11	0,79	0,15	0,10	0,44	0,10	0,43	0,18	0,28	0,31
-10	73,32	9,25	0,71	2,49	2,58	0,31	0,20	0,10	0,53	0,13	0,02	0,28	0,17	0,51	0,29	0,10	0,19

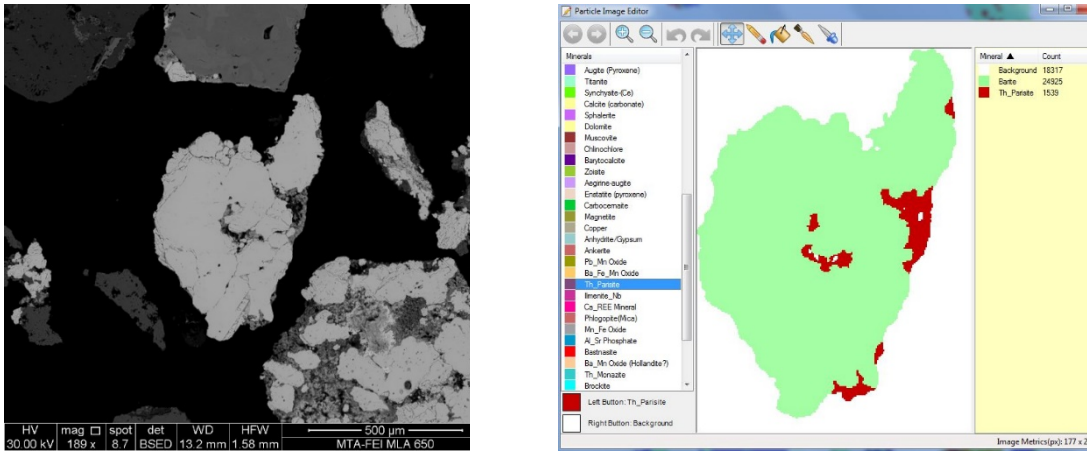
Mineral serbestleşme derecesi tablolarına bakıldığında;

Th-Parisit mineralinin, +500 µm fraksiyon boyutunda serbestleşme derecesi %0,91, -500+350 µm fraksiyon aralığında serbestleşme derecesi %1,43, -350+150 µm fraksiyon aralığında serbestleşme derecesi %2,24, -150+75 µm fraksiyon aralığında serbestleşme derecesi %7,38, -75+38 µm fraksiyon aralığında serbestleşme derecesi %16,78, -38+20 µm fraksiyon aralığında serbestleşme derecesi %48,19, -20+10 µm fraksiyon aralığında serbestleşme derecesi %68,53, -10 µm fraksiyon boyutunda serbestleşme derecesi %73,32 olarak belirlenmiştir. Mineral ikili veya üçlü kenetlenmeleri başlıca Barit, Fluorit ve İllit, değişen daha az oranlarda Monazit, Fe-oksit, Ba-Fe-Mn oksit, Pb-Mn oksit, Ba-Mn oksit (Hollandit?) ve diğer gang mineralleri ile yapmaktadır (Şekil 4.7).

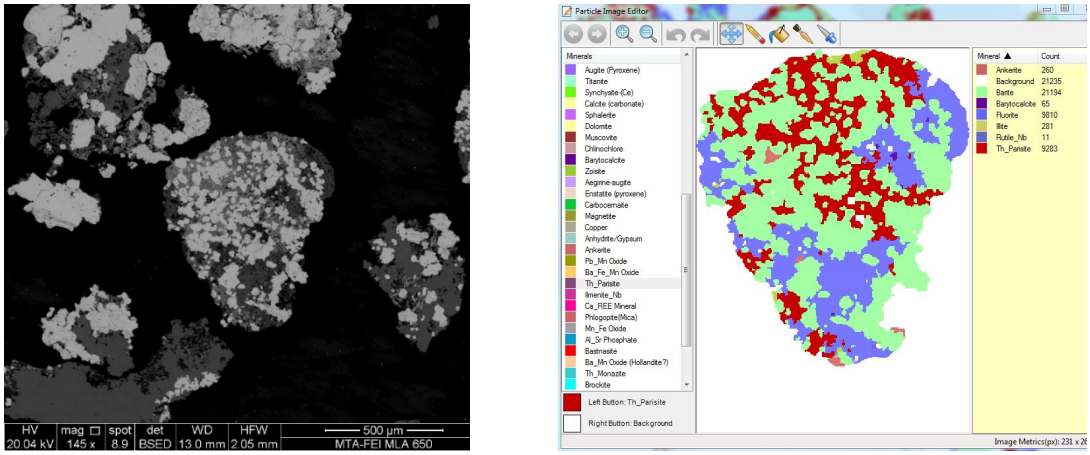
a



b



c

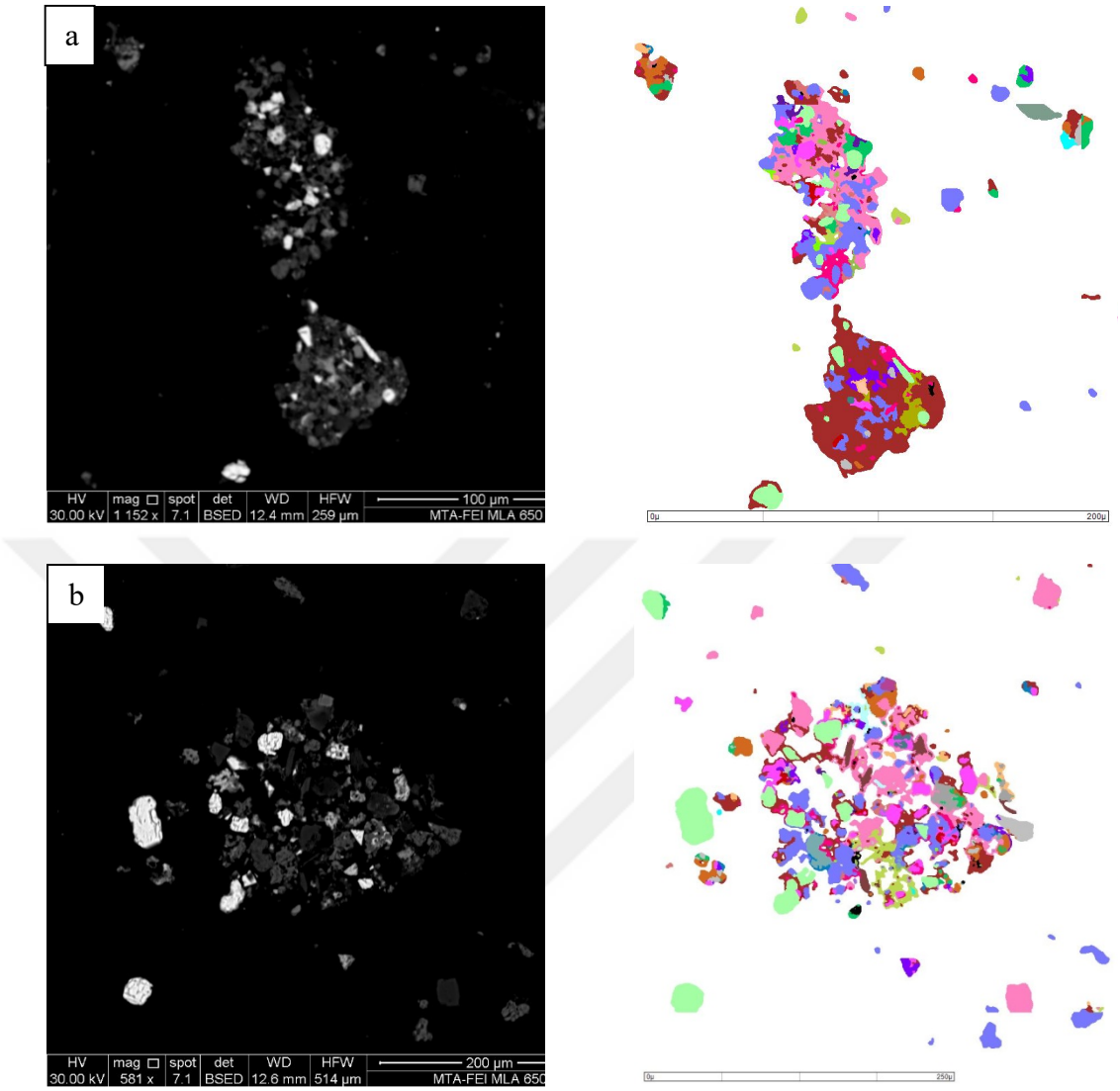


Şekil 4.7. Th-Parisit mineralinin kenetlilik durumu

a: -150+75 µm fraksiyon aralığında serbest Th-Parisit mineralinin BSED ve MLA görüntüsü,
b: +500 µm fraksiyon boyutundaki Barit minerali ile ikili kenetli Th-Parisit mineralinin BSED ve MLA görüntüsü,
c: +500 µm fraksiyon boyutundaki Barit, Fluorit ve diğer mineraller ile çoklu kenetli Th-Parisit mineralinin BSED ve MLA görüntüsü

Ce-Allanit mineralinin, +500 µm fraksiyon boyutunda serbestleşme derecesi %6,45, -500+350 µ fraksiyon aralığında serbestleşme derecesi %4,36, -350+150 µm fraksiyon aralığında serbestleşme derecesi %3,31, -150+75 µm fraksiyon aralığında serbestleşme derecesi %4,26, -75+38 µm fraksiyon aralığında serbestleşme derecesi %3,50, -38+20 µm fraksiyon aralığında serbestleşme derecesi %2,72, -20+10 µm fraksiyon aralığında serbestleşme derecesi %17,97, -10 µm fraksiyon boyutunda serbestleşme derecesi %45,25 olarak belirlenmiştir. Mineral ikili veya üçlü kenetlenmeleri başlıca Fluorit, Barit, Fe-oksit ve İllit, değişen daha az oranlarda Th-Parisit, Götit, Ba-Fe-Mn oksit, Pb-Mn oksit, Ba-Mn oksit, Mn-Fe oksit ve diğer gang mineralleri ile yapmaktadır.

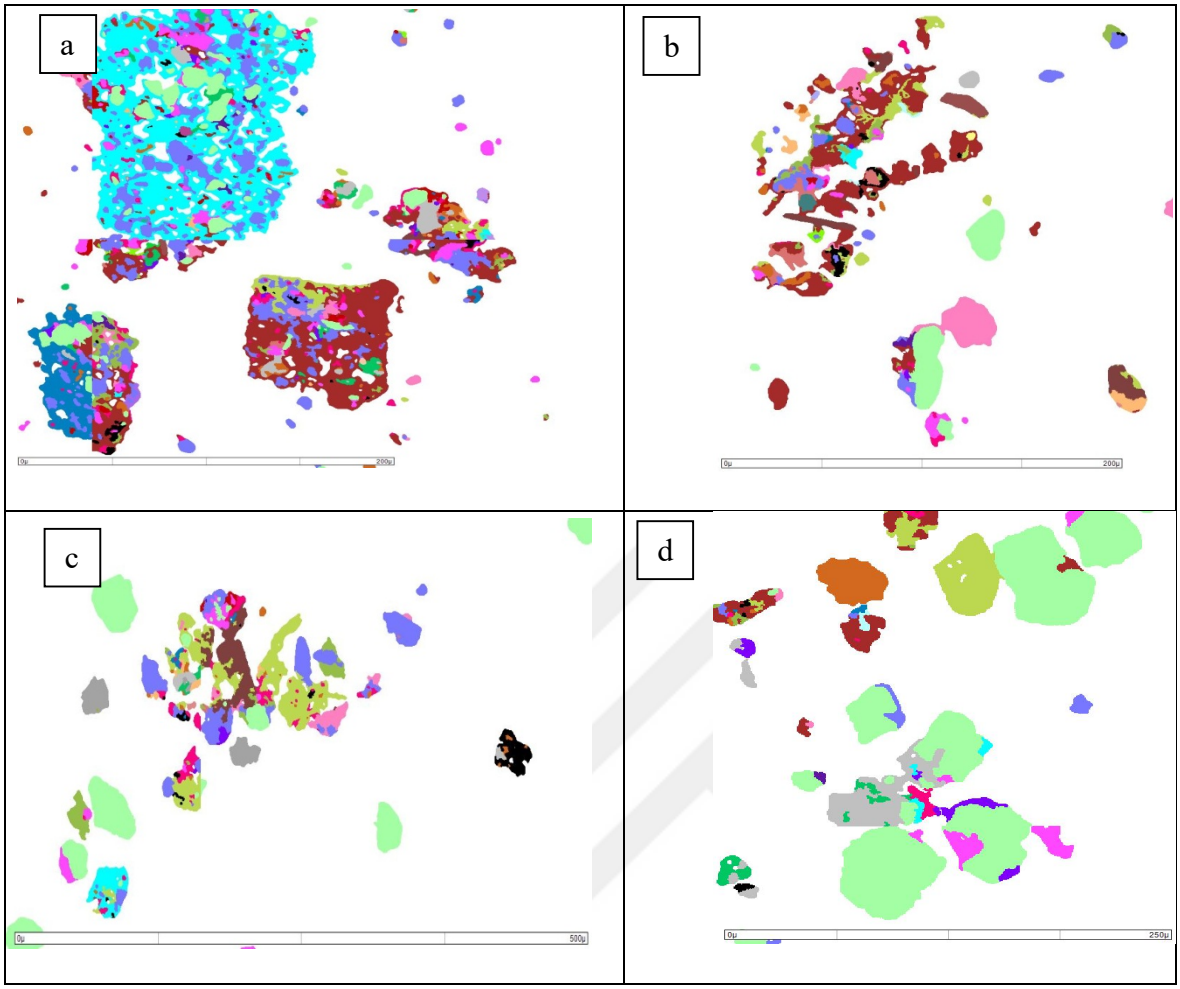
Monazit mineralinin, +500 µm fraksiyon boyutunda serbestleşme derecesi %7,83, -500+350 µm fraksiyon aralığında serbestleşme derecesi %0,48, -350+150 µm fraksiyon aralığında serbestleşme derecesi %1,25, -150+75 µm fraksiyon aralığında serbestleşme derecesi %7,82, -75+38 µm fraksiyon aralığında serbestleşme derecesi %10,14, -38+20 µm fraksiyon aralığında serbestleşme derecesi %21,16, -20+10 µm fraksiyon aralığında serbestleşme derecesi %36,66, -10 µm fraksiyon boyutunda serbestleşme derecesi %84,40 olarak belirlenmiştir. Mineral ikili veya üçlü kenetlenmeleri başlıca Th-Parisit, Barit, Fluorit, değişen daha az oranlarda İllit, Pb-Mn oksit, Ba-Mn oksit, Fe oksit ve diğer gang mineralleri ile yapmaktadır (Şekil 4.8).



Şekil 4.8. İnce boyutta topaklanmanın BSED ve MLA görüntüsü

a: -10 µm fraksiyon boyutundaki topaklanmanın BSED ve MLA görüntüsü,
b: -20+10 µm fraksiyon boyutundaki topaklanmanın BSED ve MLA görüntüsü

Barit mineralinin, +500 µm fraksiyon boyutunda serbestleşme derecesi %7,33, -500+350 µm fraksiyon aralığında serbestleşme derecesi %11,21, -350+150 µm fraksiyon aralığında serbestleşme derecesi %34,05, -150+75 µm fraksiyon aralığında serbestleşme derecesi %57,20, -75+38 µm fraksiyon aralığında serbestleşme derecesi %67,25, -38+20 µm fraksiyon aralığında serbestleşme derecesi %77,05, -20+10 µm fraksiyon aralığında serbestleşme derecesi %84,09, -10 µm fraksiyon boyutunda serbestleşme derecesi %87,68 olarak belirlenmiştir. Mineral ikili veya üçlü kenetlenmeleri başlıca Th-Parisit, Fluorit, değişen daha az oranlarda İllit, Pb-Mn oksit, Ba-Fe-Mn oksit (Hollandit?), Ba-Mn oksit (Hollandit?), Monazit ve diğer gang mineralleri ile yapmaktadır.



Şekil 4.9. Fraksiyonel MLA görüntüsü

a: -10 µm fraksiyon boyutundaki topaklanmanın MLA görüntüsü
b: -20+10 µm fraksiyon boyutundaki topaklanmanın MLA görüntüsü
c: -38+20 µm fraksiyon boyutundaki topaklanmanın MLA görüntüsü
d: -75+38 µm fraksiyon boyutundaki suni kenetlenmenin MLA görüntüsü

Fluorit mineralinin, +500 µm fraksiyon boyutunda serbestleşme derecesi %24,57, -500+350 µm fraksiyon aralığında serbestleşme derecesi %35,17, -350+150 µm fraksiyon aralığında serbestleşme derecesi %41,40, -150+75 µm fraksiyon aralığında serbestleşme derecesi %50,76, -75+38 µm fraksiyon aralığında serbestleşme derecesi %49,32, -38+20 µm fraksiyon aralığında serbestleşme derecesi %54,08, -20+10 µm fraksiyon aralığında serbestleşme derecesi %64,83, -10 µm fraksiyon boyutunda serbestleşme derecesi %64,99 olarak belirlenmiştir. Mineral ikili veya üçlü kenetlenmeleri başlıca Th-Parisit, İllit, Barit, değişen daha az oranlarda Ba-Mn oksit diğer gang mineralleri ile yapmaktadır.

4.1.4. Yoğunluk test analizi

MTA Genel Müdürlüğü Maden Analizleri ve Teknolojisi Dairesi Başkanlığı Teknoloji Koordinatörlüğü Endüstriyel Hammadde ve Malzemeleri Birimine yoğunlu testi için numune gönderilmiştir. Gelen sonuca göre; cevherin yoğunluğu 3,34 g/cm^3 olduğu belirtilmiştir.

4.2. Yöntem

Yapılan tez çalışması, esas olarak, cevher hazırlama (örneklerin alınması ve hazırlanması), cevher zenginleştirme (aşındırma çalışması, flotasyon ile zenginleştirme) aşamalarından oluşmaktadır.

Teknolojik çalışmalarda farklı hız ve sürelerde gerçekleştirilen aşındırma testleri sonrası çeşitli kimyasallar ve koşullarda uygulanan flotasyon deneyleri ile zenginleştirme çalışmaları yapılmıştır.

4.2.1. Aşındırma çalışmaları

Literatürde barit mineralinin iş indeksi 4.7 ile 6.3 arasında değişirken florit mineralinin iş indeksi değeri 10-12 dir. Cevherin genel özellikleri dikkate alındığında; zenginleştirme için, iş indeksi değerlerindeki ve mineral tane boylarındaki farklılıklar nedeniyle aşındırma (scrubbing) yönteminin ön zenginleştirme yapmak için kullanılabileceği öngörülmüştür.

Kompozit numunede Florit ve barit kristalleri, parisit kristallerine göre daha büyük, parisit kristali ise genellikle 5 mikronun altındadır. Cevherde, mika dışındaki gang mineralleri de genellikle küçük kristalli ve barit floritten daha kırılgandır. Bu özellikler dikkate alınarak, cevherdeki farklı mineralleri en zayıf olan birleşme yüzeylerinden ayırmak, kırılgan olanları ise ince tane boyutu fraksiyonuna geçirerek kısmi ayırma sağlamak amacıyla aşındırma deneyleri yapılmıştır. Deneyler, karıştırma hızı ve süresi ayarlanabilen, paslanmaz çelik hücreli, 10*10.2*19.5 cm boyutlu laboratuvar tipi bir düzenekte yapılmıştır (Şekil 4.10).



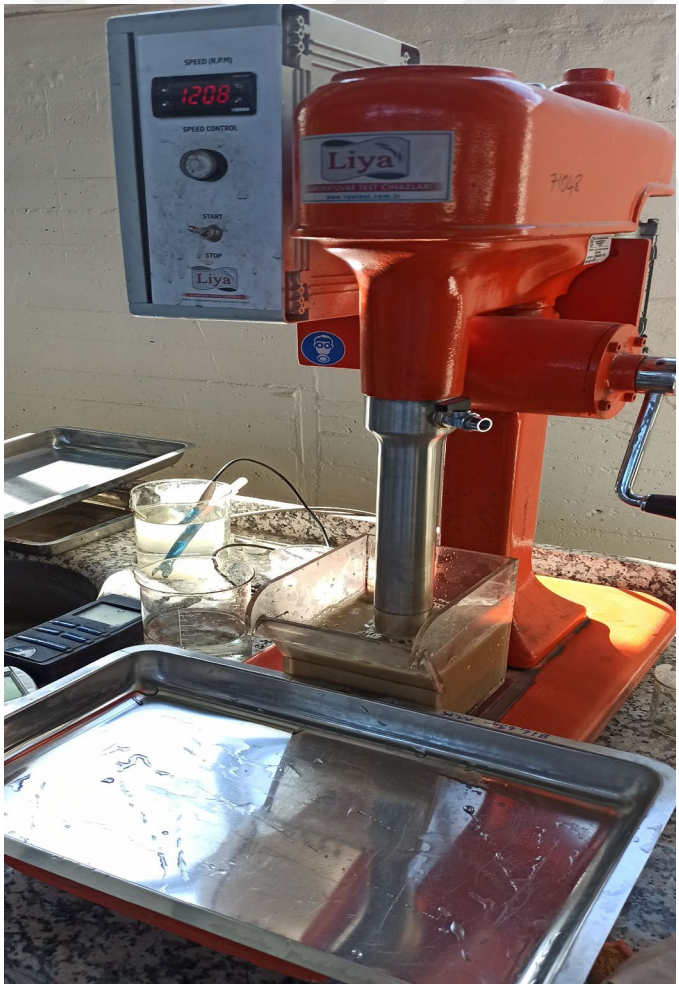
Şekil 4.10. Aşındırma (scrubbing) deney düzeneği

Deneylerde temsili -1 cm tane boyutundaki numunelere, %75 palp yoğunluğunda 1000-1500-2000-2500 devir/dak karıştırma hızlarında 5-10-15 dakika boyunca aşındırma testleri yapılmıştır. Aşındırılmış numuneler yaş eleme ile fraksiyonlarına ayrılarak tenör dağılımları belirlenmiş ve verim değerleri hesaplanıştır (Çizelge 5.1-5.12). Aşındırma deneylerinin sonuçları incelendiğinde, nadir toprak oksitlerinin -10 µm tane boyutuna, en yüksek verim ile 2000 dev/dak karıştırma hızında ve 15 dakika süre ile karıştırma koşulunda geçtiği görülmüştür (Çizelge 5.9). Daha yüksek devirlerde nadir toprak oksitlerinin yanında florit ve barit verimi artacağı için daha yüksek devirler test edilmemiştir.

4.2.1. Flotasyon deneyleri

Tez çalışması kapsamında flotasyon deneyleri MTA Genel Müdürlüğü Teknoloji Koordinatörlüğü Cevher Zenginleştirme Birimi Laboratuvarında bulunan, Liya Laboratuvar Hizmetleri tarafından üretilen flotasyon makinesiyle gerçekleştirilmiştir (Şekil 4.11).

Flotasyon deneyleri için, -1 cm tane boyutundaki numunelere, %75 palp yoğunluğunda, 2000 devir/dak karıştırma hızında, 15 dakika süreyle aşındırma testleri yapılmıştır ve nadir toprak oksitlerinin en yüksek verimde olduğu -10 µm tane boyutu numune biriktirilmiştir.



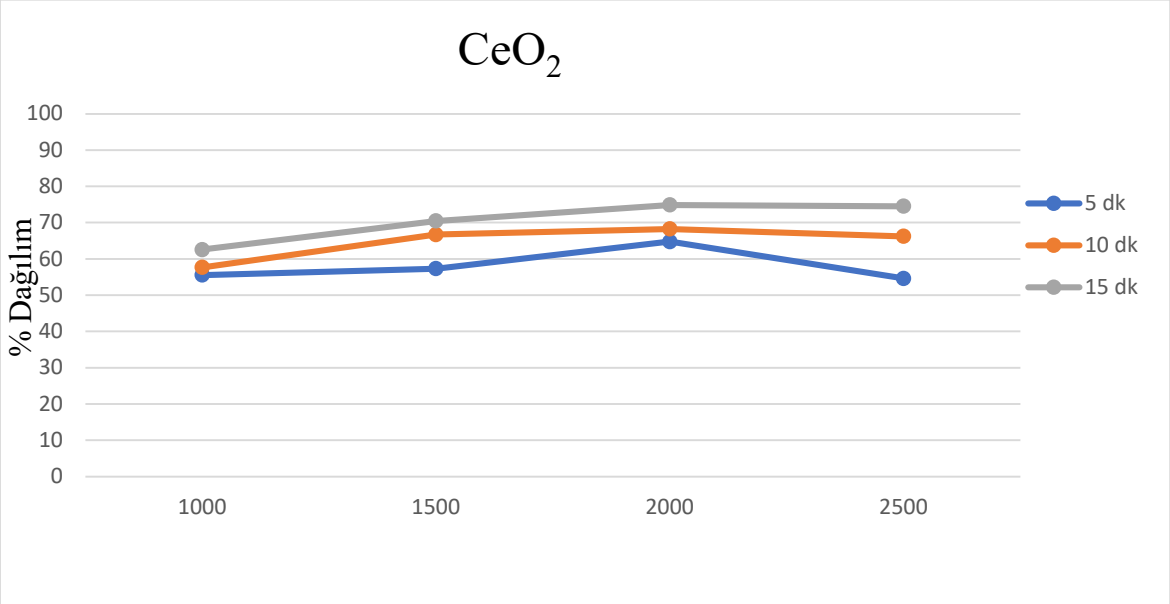
Şekil 4.11. Flotasyon hücresi

5. BULGULAR VE TARTIŞMA

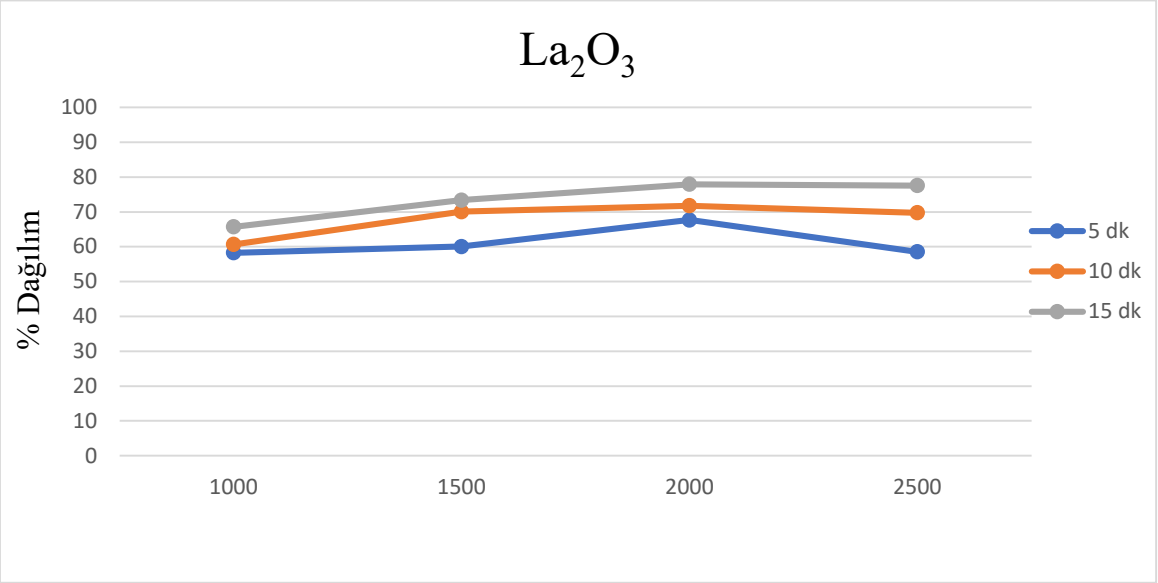
Bu bölümde aşındırma ve flotasyon deneysel parametrelerinin Nadir Toprak Elementlerinin flotasyonuna olan etkilerinin araştırıldığı çalışmaların sonuçlarına yer verilmiştir. Sonuçların değerlendirilmesi flotasyon deneyleri sonucunda elde edilen konsantrelerin Nadir Toprak Elementlerinin tenör ve verim değerleri ile gerçekleştirilmiştir ve parametrelerin etkileri nedenleri ile açıklanmaya çalışılmıştır.

5.1. Aşındırma (Scrubbing) Deneyleri

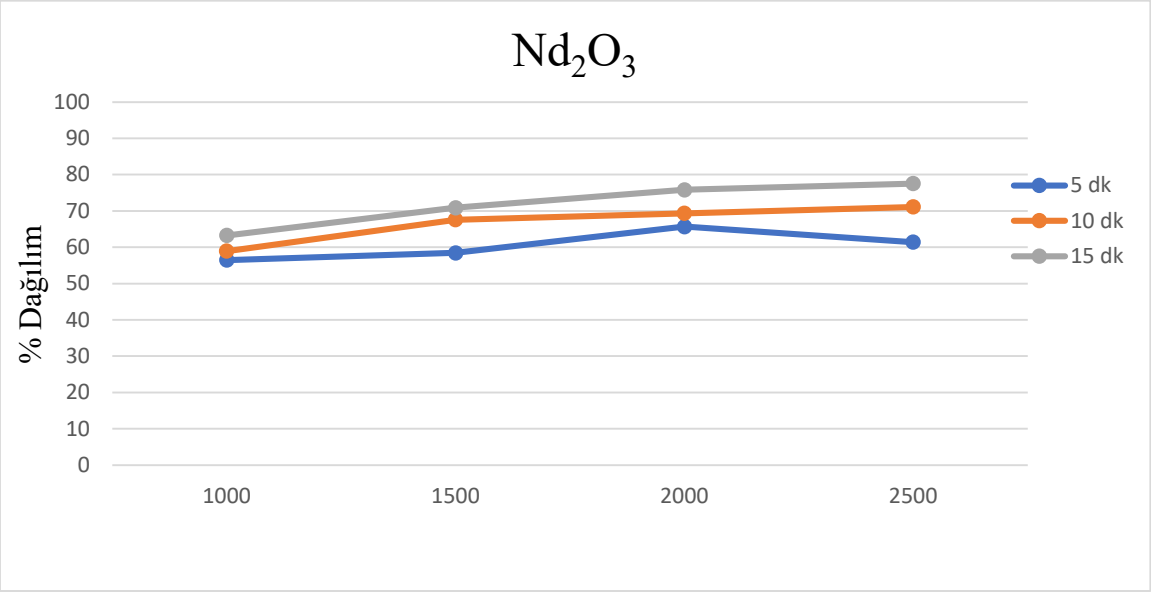
Deneylerde temsili -1 cm tane boyutundaki numunelere, %75 palp yoğunluğunda 1000-1500-2000-2500 devir/dak karıştırma hızlarında 5-10-15 dakika boyunca aşındırma testleri yapılmıştır. Aşındırılmış numuneler yaş eleme ile fraksiyonlarına ayrılarak tenör ve verim dağılımları belirlenmiştir (Çizelge 5.1-5.12). Ayrıca verim dağılımları Şekil 5.1-5.5'te gösterilmiştir. Aşındırma deneylerinin sonuçları incelendiğinde, nadir toprak oksitlerinin -10 µm tane boyutuna, en yüksek verim ile 2000 dev/dak 15 dak koşulunda geçtiği görülmüştür (Çizelge 5.9).



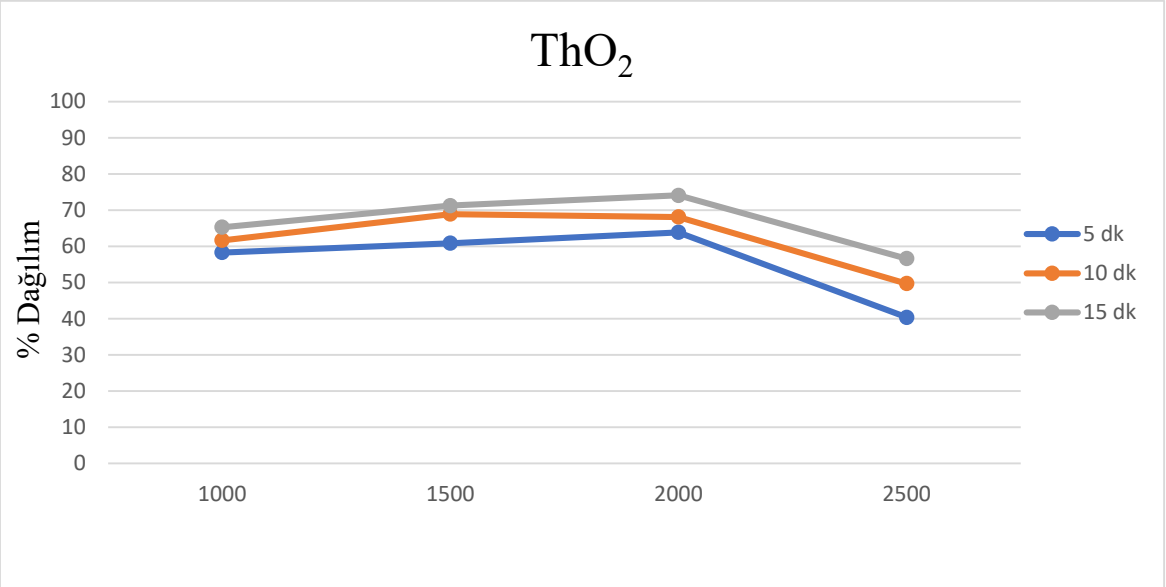
Şekil 5.1. Aşındırma deneyleri sonucunda CeO_2 zaman dağılımı grafiği



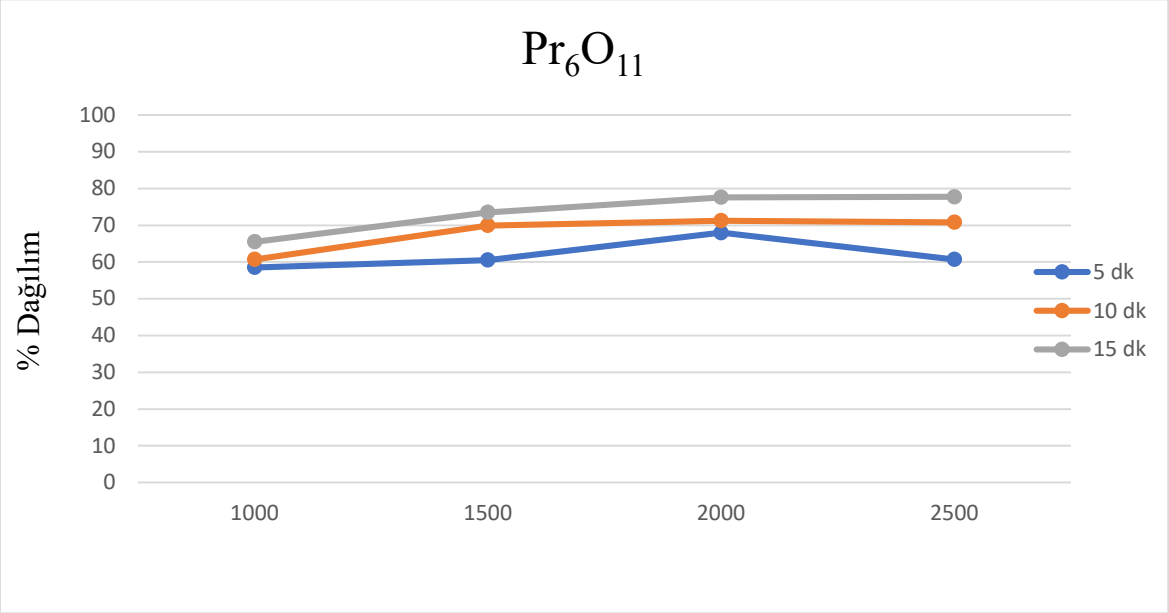
Şekil 5.2. Aşındırma deneyleri sonucunda La_2O_3 zaman dağılımı grafiği



Şekil 5.3. Aşındırma deneyleri sonucunda Nd_2O_3 zaman dağılımı grafiği



Şekil 5.4. Aşındırma deneyleri sonucunda ThO_2 zaman dağılımı grafiği



Şekil 5.5. Aşındırma deneyleri sonucunda Pr_6O_{11} zaman dağılımı grafiği

Çizelge 5.1.-1 cm ye kırılmış cevhere ait 1000 dev/dak ve 5 dk aşındırma testi sonuçları

Elek Boyutu	Ağırlık, %	Kimyasal Analizler, %											
µm		CaF_2	BaO	$BaSO_4$	CeO_2	MnO	SiO_2	La_2O_3	Nd_2O_3	ThO_2	U_3O_8	Fe_2O_3	Pr_6O_{11}
+300	54,11	28,83	11,99	18,25	0,61	1,80	24,10	0,370	0,186	0,045	0,001	4,500	0,048
-300+150	4,27	40,52	22,54	34,31	0,44	2,00	9,90	0,212	0,121	0,033	0,001	3,200	0,028
-150+53	10,26	21,04	40,99	62,39	0,41	1,10	6,60	0,196	0,110	0,029	0,001	2,600	0,025
-53+45	1,24	13,25	48,64	74,03	0,34	0,70	4,70	0,165	0,093	0,024	0,001	2,200	0,021
-45+38	1,80	11,69	50,03	76,15	0,31	0,70	4,80	0,145	0,083	0,022	0,001	2,600	0,019
-38+20	4,47	14,02	45,87	69,81	0,64	0,90	6,60	0,346	0,178	0,046	0,000	4,200	0,044
-20+10	5,33	25,13	32,68	49,74	1,39	1,00	8,70	0,874	0,415	0,111	0,001	5,900	0,112
-10	18,53	26,88	11,47	17,46	3,40	1,50	14,3	2,232	1,052	0,281	0,002	11,300	0,291
	100,00	26,81	19,07	29,03	1,14	1,56	17,69	0,71	0,345	0,089	0,001	5,508	0,092
Elek Boyutu	**Ağırlık, %**	**Dağılımlar, %**											
µm		CaF_2	BaO	$BaSO_4$	CeO_2	MnO	SiO_2	La_2O_3	Nd_2O_3	ThO_2	U_3O_8	Fe_2O_3	Pr_6O_{11}
+300	54,11	58,19	34,01	34,01	29,14	62,24	73,71	28,21	29,25	27,00	35,02	44,21	28,16
-300+150	4,27	6,45	5,04	5,04	1,66	5,45	2,39	1,28	1,49	1,56	5,95	2,48	1,28
-150+53	10,26	8,05	22,05	22,05	3,72	7,21	3,83	2,83	3,27	3,36	8,36	4,84	2,79
-53+45	1,24	0,61	3,16	3,16	0,38	0,55	0,33	0,29	0,33	0,33	0,69	0,49	0,29
-45+38	1,80	0,78	4,72	4,72	0,50	0,81	0,49	0,37	0,44	0,45	1,31	0,85	0,37
-38+20	4,47	2,34	10,74	10,74	2,52	2,57	1,67	2,18	2,31	2,32	1,89	3,41	2,15
-20+10	5,33	5,00	9,13	9,13	6,53	3,41	2,62	6,57	6,41	6,63	3,57	5,71	6,46
-10	18,53	18,58	11,14	11,14	55,55	17,76	14,97	58,28	56,49	58,34	43,21	38,01	58,51
	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

Çizelge 5.2.-1 cm ye kırılmış cevhere ait 1000 dev/dak ve 10 dk aşındırma testi sonuçları

Elek Boyutu	Ağırlık, %	Kimyasal Analizler, %											
µm		CaF_2	BaO	$BaSO_4$	CeO_2	MnO	SiO_2	La_2O_3	Nd_2O_3	ThO_2	U_3O_8	Fe_2O_3	Pr_6O_{11}
+300	50,29	27,66	11,1	16,85	0,57	1,90	25,50	0,35	0,17	0,042	0,001	4,800	0,044
-300+150	2,98	47,92	16,6	25,31	0,39	2,30	10,40	0,18	0,11	0,030	0,002	3,300	0,024
-150+53	9,49	22,60	38,5	58,64	0,36	1,30	7,00	0,17	0,10	0,027	0,001	2,600	0,022
-53+45	2,20	17,34	43,3	65,96	0,37	1,10	6,40	0,18	0,10	0,026	0,001	2,900	0,023
-45+38	2,79	13,44	47,5	72,30	0,44	0,90	5,20	0,23	0,12	0,031	0,000	2,800	0,028
-38+20	4,60	13,63	46,3	70,53	0,57	0,90	6,30	0,31	0,16	0,041	0,000	3,600	0,039
-20+10	7,80	24,54	34,9	53,15	1,03	1,00	7,60	0,62	0,30	0,081	0,001	4,900	0,079
-10	19,85	28,05	12,4	18,89	3,17	1,40	13,10	2,09	0,98	0,278	0,003	10,500	0,267
	100,00	26,35	19,32	29,40	1,09	1,59	17,57	0,68	0,33	0,089	0,001	5,533	0,087
Elek Boyutu	**Ağırlık, %**	**Dağılımlar, %**											
µm		**CaF_2**	**BaO**	**$BaSO_4$**	**CeO_2**	**MnO**	**SiO_2**	**La_2O_3**	**Nd_2O_3**	**ThO_2**	**U_3O_8**	**Fe_2O_3**	**Pr_6O_{11}**
+300	50,29	52,79	28,82	28,82	26,45	59,94	73,00	25,48	26,39	23,66	27,17	43,62	25,52
-300+150	2,98	5,41	2,56	2,56	1,05	4,29	1,76	0,79	0,95	0,99	5,95	1,77	0,81
-150+53	9,49	8,14	18,93	18,93	3,14	7,74	3,78	2,36	2,77	2,82	8,95	4,46	2,35
-53+45	2,20	1,45	4,94	4,94	0,75	1,52	0,80	0,59	0,67	0,64	1,95	1,15	0,58
-45+38	2,79	1,42	6,86	6,86	1,12	1,58	0,83	0,92	1,00	0,96	1,28	1,41	0,90
-38+20	4,60	2,38	11,03	11,03	2,39	2,60	1,65	2,07	2,20	2,13	1,22	2,99	2,04
-20+10	7,80	7,27	14,10	14,10	7,41	4,89	3,38	7,11	7,12	7,09	4,40	6,91	7,09
-10	19,85	21,14	12,75	12,75	57,68	17,44	14,81	60,67	58,89	61,70	49,08	37,68	60,70
	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

Çizelge 5.3.-1 cm ye kırılmış cevhere ait 1000 dev/dak ve 15 dk aşındırma testi sonuçları

Elek Boyutu	Ağırlık, %	Kimyasal Analizler, %											
µm		CaF_2	BaO	$BaSO_4$	CeO_2	MnO	SiO_2	La_2O_3	Nd_2O_3	ThO_2	U_3O_8	Fe_2O_3	Pr_6O_{11}
+300	46,41	28,24	10,41	15,84	0,55	1,80	25,40	0,33	0,17	0,04	0,001	4,60	0,04
-300+150	3,01	48,89	13,78	20,97	0,36	2,50	11,80	0,17	0,10	0,03	0,001	3,40	0,02
-150+53	9,06	26,10	35,08	53,39	0,32	1,40	7,50	0,15	0,09	0,02	0,002	2,40	0,02
-53+45	1,47	15,19	46,28	70,44	0,32	1,00	5,40	0,16	0,09	0,02	0,001	2,40	0,02
-45+38	2,83	13,25	48,17	73,31	0,39	1,00	5,40	0,19	0,10	0,03	0,001	2,80	0,02
-38+20	5,12	13,44	46,28	70,44	0,50	1,00	6,60	0,26	0,14	0,03	0,001	3,30	0,03
-20+10	8,61	23,18	36,09	54,93	0,91	1,00	7,70	0,55	0,27	0,07	0,001	4,50	0,07
-10	23,48	29,41	14,14	21,52	2,95	1,50	12,70	1,95	0,90	0,25	0,002	9,90	0,25
	100,00	27,14	19,27	29,32	1,11	1,57	17,04	0,70	0,33	0,09	0,00	5,45	0,09
Elek Boyutu	**Ağırlık, %**	**Dağılımlar, %**											
µm		CaF_2	BaO	$BaSO_4$	CeO_2	MnO	SiO_2	La_2O_3	Nd_2O_3	ThO_2	U_3O_8	Fe_2O_3	Pr_6O_{11}
+300	46,41	48,31	25,08	25,08	23,03	53,21	69,19	21,81	23,15	21,37	38,84	39,17	22,08
-300+150	3,01	5,42	2,15	2,15	0,99	4,79	2,08	0,75	0,91	0,98	2,84	1,88	0,77
-150+53	9,06	8,72	16,50	16,50	2,61	8,08	3,99	1,93	2,34	2,39	10,34	3,99	1,94
-53+45	1,47	0,82	3,53	3,53	0,42	0,94	0,47	0,33	0,38	0,36	0,66	0,65	0,33
-45+38	2,83	1,38	7,06	7,06	0,99	1,80	0,90	0,76	0,87	0,83	1,41	1,45	0,76
-38+20	5,12	2,54	12,30	12,30	2,30	3,26	1,98	1,94	2,10	2,00	2,48	3,10	1,92
-20+10	8,61	7,36	16,13	16,13	7,08	5,49	3,89	6,77	6,97	6,74	3,75	7,11	6,70
-10	23,48	25,45	17,23	17,23	62,57	22,43	17,50	65,71	63,28	65,33	39,68	42,65	65,50
	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

Çizelge 5.4.-1 cm ye kırılmış cevhere ait 1500 dev/dak ve 5 dk aşındırma testi sonuçları

Elek Boyutu µm	Ağırlık, %	Kimyasal Analizler, %											
		CaF_2	BaO	$BaSO_4$	CeO_2	MnO	SiO_2	La_2O_3	Nd_2O_3	ThO_2	U_3O_8	Fe_2O_3	Pr_6O_{11}
+300	49,56	28,24	10,70	16,29	0,57	1,80	25,00	0,35	0,17	0,042	0,001	4,50	0,044
-300+150	3,00	46,55	17,92	27,27	0,43	2,20	9,80	0,20	0,11	0,032	0,001	3,20	0,027
-150+53	11,17	24,93	36,36	55,34	0,41	1,30	7,00	0,20	0,11	0,029	0,001	2,60	0,025
-53+45	1,53	16,17	45,37	69,05	0,44	1,00	5,30	0,23	0,12	0,031	0,001	2,80	0,029
-45+38	2,86	13,44	48,20	73,36	0,51	0,90	4,90	0,27	0,14	0,035	0,001	3,00	0,034
-38+20	4,79	15,78	42,63	64,88	0,69	1,00	7,10	0,39	0,20	0,050	0,000	4,10	0,049
-20+10	6,93	26,69	31,94	48,61	1,14	1,00	7,90	0,70	0,33	0,089	0,001	5,00	0,087
-10	20,17	28,44	12,78	19,45	3,18	1,40	13,20	2,08	0,97	0,271	0,002	10,40	0,269
	100,00	27,15	18,81	28,62	1,12	1,54	17,24	0,70	0,33	0,090	0,001	5,39	0,090
Elek Boyutu µm	**Ağırlık, %**	**Dağılımlar, %**											
		CaF_2	BaO	$BaSO_4$	CeO_2	MnO	SiO_2	La_2O_3	Nd_2O_3	ThO_2	U_3O_8	Fe_2O_3	Pr_6O_{11}
+300	49,56	51,56	28,20	28,20	25,47	57,78	71,88	24,69	25,38	23,37	35,00	41,41	24,49
-300+150	3,00	5,14	2,85	2,85	1,14	4,27	1,70	0,88	1,03	1,06	2,74	1,78	0,89
-150+53	11,17	10,26	21,59	21,59	4,14	9,41	4,54	3,17	3,66	3,57	11,00	5,39	3,13
-53+45	1,53	0,91	3,70	3,70	0,61	0,99	0,47	0,50	0,55	0,53	0,70	0,80	0,49
-45+38	2,86	1,41	7,33	7,33	1,30	1,67	0,81	1,11	1,19	1,10	1,42	1,59	1,08
-38+20	4,79	2,78	10,86	10,86	2,96	3,10	1,97	2,67	2,81	2,65	1,81	3,65	2,62
-20+10	6,93	6,81	11,77	11,77	7,07	4,49	3,18	6,92	6,94	6,84	5,79	6,43	6,76
-10	20,17	21,13	13,71	13,71	57,32	18,29	15,45	60,06	58,45	60,88	41,53	38,95	60,54
	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,0	100,0	100,00	100,0

Çizelge 5.5.-1 cm ye kırılmış cevhere ait 1500 dev/dak ve 10 dk aşındırma testi sonuçları

Elek Boyutu	Ağırlık, %	Kimyasal Analizler, %											
µm		CaF_2	BaO	$BaSO_4$	CeO_2	MnO	SiO_2	La_2O_3	Nd_2O_3	ThO_2	U_3O_8	Fe_2O_3	Pr_6O_{11}
+300	40,19	28,44	8,43	12,83	0,46	1,70	26,40	0,28	0,14	0,037	0,002	4,70	0,035
-300+150	3,20	50,84	12,69	19,31	0,39	2,60	11,90	0,18	0,11	0,031	0,002	3,40	0,024
-150+53	11,57	27,85	34,24	52,11	0,39	1,50	7,20	0,18	0,10	0,027	0,001	2,50	0,024
-53+45	1,36	15,39	47,16	71,78	0,26	0,90	5,50	0,12	0,07	0,018	0,001	2,30	0,016
-45+38	3,89	14,41	47,14	71,75	0,42	1,10	5,50	0,21	0,11	0,029	0,001	2,90	0,026
-38+20	5,40	15,58	45,19	68,78	0,54	1,00	6,40	0,29	0,15	0,037	0,001	3,40	0,036
-20+10	9,26	24,54	36,92	56,19	0,87	0,90	6,60	0,51	0,25	0,066	0,000	3,90	0,066
-10	25,13	30,19	14,28	21,73	2,97	1,50	12,00	1,97	0,90	0,251	0,002	9,50	0,250
	100,00	27,75	19,68	29,95	1,12	1,51	16,09	0,71	0,33	0,09	0,00	5,36	0,090
Elek Boyutu	**Ağırlık, %**	**Dağılımlar, %**											
µm		CaF_2	BaO	$BaSO_4$	CeO_2	MnO	SiO_2	La_2O_3	Nd_2O_3	ThO_2	U_3O_8	Fe_2O_3	Pr_6O_{11}
+300	40,19	41,19	17,22	17,22	16,61	45,27	65,97	15,84	16,90	16,12	44,52	35,23	15,77
-300+150	3,20	5,87	2,07	2,07	1,11	5,52	2,37	0,84	1,03	1,07	4,41	2,03	0,87
-150+53	11,57	11,61	20,14	20,14	4,01	11,50	5,18	2,95	3,57	3,44	6,51	5,39	3,03
-53+45	1,36	0,75	3,26	3,26	0,32	0,81	0,46	0,24	0,28	0,27	1,36	0,58	0,24
-45+38	3,89	2,02	9,31	9,31	1,46	2,83	1,33	1,15	1,31	1,24	2,32	2,10	1,14
-38+20	5,40	3,03	12,39	12,39	2,61	3,58	2,15	2,18	2,38	2,20	2,49	3,42	2,19
-20+10	9,26	8,19	17,38	17,38	7,19	5,52	3,80	6,74	7,00	6,71	2,57	6,74	6,81
-10	25,13	27,33	18,23	18,23	66,69	24,97	18,74	70,07	67,54	68,95	35,84	44,51	69,94
	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

Çizelge 5.6.-1 cm ye kırılmış cevhere ait 1500 dev/dak ve 15 dk aşındırma testi sonuçları

Elek Boyutu µm	Ağırlık, %	Kimyasal Analizler, %											
		CaF_2	BaO	$BaSO_4$	CeO_2	MnO	SiO_2	La_2O_3	Nd_2O_3	ThO_2	U_3O_8	Fe_2O_3	Pr_6O_{11}
+300	37,56	26,69	7,38	11,23	0,40	1,60	28,30	0,24	0,13	0,035	0,001	4,70	0,032
-300+150	2,34	53,37	8,53	12,98	0,36	2,90	13,20	0,17	0,10	0,029	0,002	3,50	0,022
-150+53	9,47	33,89	28,21	42,94	0,35	1,80	8,20	0,16	0,09	0,024	0,002	2,50	0,021
-53+45	1,88	19,87	42,54	64,75	0,34	1,30	6,40	0,17	0,09	0,024	0,002	2,50	0,022
-45+38	3,14	16,36	46,08	70,13	0,38	1,10	5,10	0,18	0,10	0,025	0,001	2,30	0,024
-38+20	7,16	16,95	44,38	67,55	0,49	1,10	6,30	0,26	0,13	0,033	0,001	2,90	0,033
-20+10	10,13	26,88	34,68	52,78	0,83	1,10	7,30	0,49	0,24	0,061	0,001	3,90	0,063
-10	28,31	31,17	16,33	24,85	2,77	1,50	11,30	1,82	0,84	0,226	0,002	8,70	0,237
	100,00	28,13	19,21	29,23	1,11	1,51	16,39	0,70	0,33	0,090	0,00	5,27	0,091
Elek Boyutu µm	**Ağırlık, %**	**Dağılımlar, %**											
		CaF_2	BaO	$BaSO_4$	CeO_2	MnO	SiO_2	La_2O_3	Nd_2O_3	ThO_2	U_3O_8	Fe_2O_3	Pr_6O_{11}
+300	37,56	35,63	14,43	14,43	13,49	39,71	64,87	13,03	14,12	14,50	37,17	33,50	12,99
-300+150	2,34	4,44	1,04	1,04	0,75	4,49	1,89	0,56	0,70	0,77	3,00	1,56	0,57
-150+53	9,47	11,41	13,91	13,91	2,94	11,26	4,74	2,10	2,65	2,52	11,52	4,49	2,17
-53+45	1,88	1,33	4,17	4,17	0,58	1,62	0,74	0,45	0,52	0,50	2,74	0,89	0,45
-45+38	3,14	1,83	7,53	7,53	1,06	2,28	0,98	0,82	0,95	0,87	1,65	1,37	0,82
-38+20	7,16	4,31	16,55	16,55	3,15	5,21	2,75	2,60	2,89	2,66	3,71	3,94	2,56
-20+10	10,13	9,68	18,29	18,29	7,58	7,36	4,51	7,04	7,31	6,88	5,52	7,50	6,95
-10	28,31	31,37	24,07	24,07	70,45	28,07	19,53	73,40	70,87	71,31	34,70	46,75	73,49
	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

Çizelge 5.7.-1 cm ye kırılmış cevhere ait 2000 dev/dak ve 5 dk aşındırma testi sonuçları

Elek Boyutu	Ağırlık, %	Kimyasal Analizler, %											
µm		CaF_2	BaO	$BaSO_4$	CeO_2	MnO	SiO_2	La_2O_3	Nd_2O_3	ThO_2	U_3O_8	Fe_2O_3	Pr_6O_{11}
+300	44,16	29,61	8,63	13,13	0,53	1,70	25,10	0,34	0,136	0,034	0,001	4,20	0,037
-300+150	4,26	50,06	14,10	21,46	0,49	2,10	9,70	0,25	0,111	0,028	0,002	2,70	0,028
-150+53	10,87	26,10	35,20	53,57	0,47	1,30	6,80	0,24	0,105	0,026	0,001	2,40	0,026
-53+45	2,65	17,72	41,50	63,16	0,47	1,10	6,70	0,25	0,105	0,025	0,001	2,60	0,026
-45+38	2,25	15,00	45,60	69,40	0,54	1,00	5,10	0,30	0,123	0,029	0,001	2,70	0,032
-38+20	5,63	15,77	43,60	66,36	0,66	0,90	6,10	0,38	0,152	0,037	0,001	3,10	0,040
-20+10	8,24	25,91	33,60	51,14	1,14	1,00	7,30	0,72	0,275	0,069	0,001	4,30	0,075
-10	21,94	28,63	12,70	19,33	3,86	1,50	12,60	2,67	0,988	0,227	0,002	9,80	0,291
	100,00	28,16	18,37	27,96	1,31	1,50	16,24	0,86	0,33	0,08	0,00	5,04	0,09
Elek Boyutu	**Ağırlık, %**	**Dağılımlar, %**											
µm		**CaF_2**	**BaO**	**$BaSO_4$**	**CeO_2**	**MnO**	**SiO_2**	**La_2O_3**	**Nd_2O_3**	**ThO_2**	**U_3O_8**	**Fe_2O_3**	**Pr_6O_{11}**
+300	44,16	46,44	20,74	20,74	17,91	50,20	68,26	17,20	18,25	19,27	43,06	36,81	17,31
-300+150	4,26	7,57	3,27	3,27	1,59	5,98	2,54	1,23	1,44	1,56	5,62	2,28	1,27
-150+53	10,87	10,08	20,82	20,82	3,90	9,45	4,55	3,04	3,45	3,67	8,23	5,18	3,00
-53+45	2,65	1,67	5,99	5,99	0,94	1,95	1,09	0,76	0,85	0,86	1,96	1,37	0,74
-45+38	2,25	1,20	5,58	5,58	0,93	1,50	0,71	0,78	0,84	0,84	1,35	1,21	0,76
-38+20	5,63	3,15	13,36	13,36	2,82	3,39	2,11	2,48	2,59	2,64	3,47	3,46	2,38
-20+10	8,24	7,58	15,07	15,07	7,15	5,51	3,70	6,82	6,87	7,27	4,31	7,03	6,57
-10	21,94	22,31	15,17	15,17	64,75	22,01	17,02	67,70	65,71	63,90	32,01	42,67	67,97
	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

Çizelge 5.8.-1 cm ye kırılmış cevhere ait 2000 dev/dak ve 10 dk aşındırma testi sonuçları

Elek Boyutu	Ağırlık, %	Kimyasal Analizler, %											
µm		CaF_2	BaO	$BaSO_4$	CeO_2	MnO	SiO_2	La_2O_3	Nd_2O_3	ThO_2	U_3O_8	Fe_2O_3	Pr_6O_{11}
+300	35,45	24,35	6,68	10,17	0,43	1,60	30,10	0,27	0,11	0,030	0,002	4,90	0,030
-300+150	2,81	50,45	9,65	14,69	0,47	2,80	13,40	0,24	0,11	0,029	0,002	3,50	0,027
-150+53	11,44	31,75	29,00	44,14	0,44	1,70	8,00	0,22	0,10	0,025	0,002	2,60	0,024
-53+45	2,23	19,09	42,10	64,08	0,43	1,40	7,00	0,22	0,10	0,024	0,002	3,10	0,024
-45+38	3,40	16,75	44,60	67,88	0,46	1,30	6,50	0,24	0,10	0,024	0,001	3,00	0,026
-38+20	7,27	17,34	43,70	66,51	0,58	1,20	6,70	0,32	0,13	0,032	0,001	3,20	0,034
-20+10	11,50	25,52	36,50	55,55	0,83	1,00	6,70	0,49	0,20	0,048	0,001	3,60	0,053
-10	25,90	33,11	15,00	22,83	3,14	1,50	11,20	2,17	0,80	0,194	0,001	8,70	0,229
	100,00	27,45	19,67	29,94	1,19	1,51	16,50	0,78	0,30	0,07	0,00	5,20	0,083
Elek Boyutu	**Ağırlık, %**	**Dağılımlar, %**											
µm		CaF_2	BaO	$BaSO_4$	CeO_2	MnO	SiO_2	La_2O_3	Nd_2O_3	ThO_2	U_3O_8	Fe_2O_3	Pr_6O_{11}
+300	35,45	31,44	12,04	12,04	12,73	37,65	64,68	12,29	13,17	14,37	47,28	33,38	12,67
-300+150	2,81	5,17	1,38	1,38	1,11	5,23	2,29	0,87	1,03	1,12	3,16	1,89	0,92
-150+53	11,44	13,24	16,87	16,87	4,20	12,91	5,55	3,16	3,74	3,86	14,38	5,72	3,28
-53+45	2,23	1,55	4,77	4,77	0,81	2,07	0,94	0,63	0,72	0,72	2,00	1,33	0,63
-45+38	3,40	2,07	7,70	7,70	1,30	2,93	1,34	1,04	1,15	1,12	2,07	1,96	1,04
-38+20	7,27	4,59	16,15	16,15	3,56	5,79	2,95	2,98	3,25	3,13	5,27	4,47	2,97
-20+10	11,50	10,69	21,34	21,34	8,04	7,64	4,67	7,24	7,60	7,53	7,74	7,96	7,24
-10	25,90	31,24	19,75	19,75	68,25	25,78	17,58	71,78	69,35	68,16	18,10	43,30	71,24
	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

Çizelge 5.9.-1 cm ye kırılmış cevhere ait 2000 dev/dak ve 15 dk aşındırma testi sonuçları

Elek Boyutu	Ağırlık, %	Kimyasal Analizler, %											
µm		CaF_2	BaO	$BaSO_4$	CeO_2	MnO	SiO_2	La_2O_3	Nd_2O_3	ThO_2	U_3O_8	Fe_2O_3	Pr_6O_{11}
+300	32,17	22,21	5,69	8,66	0,35	1,50	33,00	0,22	0,09	0,03	0,001	5,10	0,03
-300+150	2,16	48,31	7,38	11,23	0,46	3,20	14,60	0,24	0,11	0,03	0,003	3,60	0,03
-150+53	9,96	36,04	24,40	37,14	0,43	2,20	9,30	0,22	0,10	0,03	0,002	2,80	0,03
-53+45	2,03	21,62	39,40	59,97	0,42	1,60	6,90	0,22	0,10	0,02	0,002	2,70	0,02
-45+38	3,95	18,89	42,40	64,53	0,46	1,50	6,50	0,24	0,10	0,02	0,001	2,80	0,03
-38+20	6,85	18,31	42,50	64,69	0,53	1,30	6,50	0,29	0,12	0,03	0,001	2,80	0,03
-20+10	11,64	26,88	34,40	52,36	0,85	1,20	7,40	0,50	0,20	0,05	0,001	3,60	0,06
-10	31,24	30,97	17,00	25,87	3,11	1,60	11,20	2,15	0,80	0,19	0,001	8,00	0,24
	100,00	27,02	19,12	29,10	1,30	1,59	17,06	0,86	0,33	0,08	0,00	5,27	0,10
Elek Boyutu	**Ağırlık, %**	**Dağılımlar, %**											
µm		**CaF_2**	**BaO**	**$BaSO_4$**	**CeO_2**	**MnO**	**SiO_2**	**La_2O_3**	**Nd_2O_3**	**ThO_2**	**U_3O_8**	**Fe_2O_3**	**Pr_6O_{11}**
+300	32,17	26,43	9,57	9,57	8,58	30,32	62,22	8,29	9,00	10,93	30,30	31,11	8,50
-300+150	2,16	3,87	0,83	0,83	0,77	4,35	1,85	0,59	0,71	0,78	4,17	1,48	0,64
-150+53	9,96	13,28	12,70	12,70	3,33	13,76	5,43	2,50	2,99	3,13	16,94	5,29	2,62
-53+45	2,03	1,62	4,18	4,18	0,66	2,04	0,82	0,51	0,58	0,57	2,89	1,04	0,51
-45+38	3,95	2,76	8,76	8,76	1,39	3,72	1,51	1,09	1,23	1,18	4,15	2,10	1,08
-38+20	6,85	4,64	15,22	15,22	2,77	5,60	2,61	2,28	2,50	2,39	6,73	3,64	2,26
-20+10	11,64	11,58	20,95	20,95	7,61	8,78	5,05	6,82	7,17	6,92	8,38	7,95	6,77
-10	31,24	35,81	27,78	27,78	74,89	31,42	20,51	77,92	75,82	74,11	26,45	47,40	77,62
	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

Çizelge 5.10.-1 cm ye kırılmış cevhere ait 2500 dev/dak ve 5 dk aşındırma testi sonuçları

Elek Boyutu µm	Ağırlık, %	Kimyasal Analizler, %											
		CaF_2	BaO	$BaSO_4$	CeO_2	MnO	SiO_2	La_2O_3	Nd_2O_3	ThO_2	U_3O_8	Fe_2O_3	Pr_6O_{11}
+300	44,20	25,27	11,83	18,01	0,45	2,10	23,60	0,27	0,081	0,030	0,001	5,00	0,027
-300+150	5,05	40,45	19,8	30,14	0,37	2,30	10,30	0,18	0,055	0,026	0,001	3,30	0,018
-150+53	11,87	18,16	39,97	60,83	0,35	1,30	7,50	0,17	0,050	0,024	0,001	2,90	0,017
-53+45	2,12	14,03	42	63,92	0,40	0,90	7,00	0,20	0,059	0,027	0,001	2,70	0,020
-45+38	3,06	9,47	48,16	73,30	0,42	1,10	7,40	0,22	0,061	0,028	0,001	4,00	0,021
-38+20	5,17	9,88	46,65	71,00	0,51	1,00	8,10	0,28	0,078	0,034	0,001	4,40	0,028
-20+10	8,22	17,38	36,76	55,95	1,01	1,20	9,70	0,62	0,177	0,075	0,001	6,00	0,061
-10	20,32	20,58	12,54	19,09	2,32	1,70	15,40	1,54	0,519	0,089	0,000	12,00	0,171
	100,00	22,08	21,31	32,44	0,86	1,75	16,56	0,54	0,17	0,04	0,00	6,06	0,06
Elek Boyutu µm	**Ağırlık, %**	**Dağılımlar, %**											
		CaF_2	BaO	$BaSO_4$	CeO_2	MnO	SiO_2	La_2O_3	Nd_2O_3	ThO_2	U_3O_8	Fe_2O_3	Pr_6O_{11}
+300	44,20	50,60	24,53	24,53	23,19	53,13	62,99	21,90	20,86	29,59	55,00	36,48	21,06
-300+150	5,05	9,26	4,70	4,70	2,19	6,65	3,14	1,67	1,62	2,95	8,17	2,75	1,59
-150+53	11,87	9,76	22,26	22,26	4,86	8,83	5,37	3,72	3,44	6,34	12,22	5,68	3,55
-53+45	2,12	1,35	4,17	4,17	0,97	1,09	0,90	0,79	0,72	1,25	2,03	0,94	0,73
-45+38	3,06	1,31	6,91	6,91	1,49	1,92	1,37	1,23	1,09	1,90	1,88	2,02	1,14
-38+20	5,17	2,31	11,30	11,30	3,05	2,96	2,53	2,65	2,35	3,93	4,88	3,75	2,51
-20+10	8,22	6,47	14,18	14,18	9,65	5,65	4,81	9,50	8,50	13,64	6,82	8,14	8,72
-10	20,32	18,94	11,95	11,95	54,60	19,77	18,89	58,53	61,41	40,40	9,01	40,24	60,69
	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,0	100,0	100,00	100,0

Çizelge 5.11.-1 cm ye kırılmış cevhere ait 2500 dev/dak ve 10 dk aşındırma testi sonuçları

Elek Boyutu	Ağırlık, %	Kimyasal Analizler, %											
µm		CaF_2	BaO	$BaSO_4$	CeO_2	MnO	SiO_2	La_2O_3	Nd_2O_3	ThO_2	U_3O_8	Fe_2O_3	Pr_6O_{11}
+300	38,90	23,42	8,8	13,45	0,36	1,70	27,30	0,22	0,067	0,026	0,001	5,20	0,023
-300+150	3,33	48,17	12,4	18,90	0,41	2,90	11,10	0,21	0,065	0,029	0,001	3,50	0,022
-150+53	10,52	25,25	34,6	52,66	0,33	1,70	7,10	0,16	0,048	0,022	0,002	2,60	0,016
-53+45	1,83	17,69	42,0	63,95	0,34	1,10	5,90	0,17	0,049	0,022	0,001	2,20	0,016
-45+38	3,73	12,00	49,2	74,84	0,38	1,30	6,00	0,19	0,054	0,024	0,001	3,20	0,018
-38+20	5,84	10,08	42,8	65,19	0,44	1,10	5,80	0,23	0,065	0,028	0,001	3,10	0,023
-20+10	10,07	18,73	10,2	15,49	0,78	1,20	7,50	0,46	0,133	0,054	0,001	4,50	0,045
-10	25,79	22,95	15,7	23,93	2,40	1,70	13,30	1,60	0,510	0,084	0,000	10,40	0,171
	100,00	22,53	17,67	26,90	0,93	1,63	16,59	0,59	0,19	0,04	0,00	5,89	0,06
Elek Boyutu	**Ağırlık, %**	**Dağılımlar, %**											
µm		**CaF_2**	**BaO**	**$BaSO_4$**	**CeO_2**	**MnO**	**SiO_2**	**La_2O_3**	**Nd_2O_3**	**ThO_2**	**U_3O_8**	**Fe_2O_3**	**Pr_6O_{11}**
+300	38,90	40,44	19,46	19,46	15,18	40,61	64,01	14,45	14,17	23,42	54,26	34,35	14,39
-300+150	3,33	7,11	2,34	2,34	1,47	5,92	2,22	1,18	1,16	2,19	4,76	1,98	1,17
-150+53	10,52	11,78	20,59	20,59	3,75	10,98	4,50	2,81	2,72	5,41	16,30	4,64	2,68
-53+45	1,83	1,43	4,34	4,34	0,67	1,23	0,65	0,51	0,48	0,93	0,98	0,68	0,47
-45+38	3,73	1,98	10,37	10,37	1,51	2,97	1,35	1,18	1,10	2,06	3,73	2,03	1,08
-38+20	5,84	2,61	14,16	14,16	2,73	3,95	2,04	2,27	2,07	3,76	3,97	3,08	2,13
-20+10	10,07	8,37	5,80	5,80	8,45	7,42	4,55	7,87	7,23	12,51	9,25	7,70	7,29
-10	25,79	26,27	22,94	22,94	66,24	26,92	20,67	69,74	71,07	49,73	6,76	45,55	70,79
	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

Çizelge 5.12.-1 cm ye kırılmış cevhere ait 2500 dev/dak ve 15 dk aşındırma testi sonuçları

Elek Boyutu	Ağırlık, %	Kimyasal Analizler, %											
µm		CaF_2	BaO	$BaSO_4$	CeO_2	MnO	SiO_2	La_2O_3	Nd_2O_3	ThO_2	U_3O_8	Fe_2O_3	Pr_6O_{11}
+300	33,62	18,75	6,83	10,40	0,28	1,70	32,30	0,17	0,05	0,023	0,001	5,70	0,018
-300+150	2,77	49,02	8,91	13,56	0,33	3,20	13,70	0,16	0,05	0,023	0,001	3,60	0,017
-150+53	9,64	30,00	29,37	44,70	0,31	2,10	8,60	0,14	0,05	0,022	0,001	2,90	0,015
-53+45	1,76	17,95	41,27	62,81	0,29	1,30	7,00	0,14	0,04	0,020	0,001	2,20	0,014
-45+38	3,74	12,34	47,98	73,03	0,31	1,77	7,50	0,15	0,04	0,020	0,001	3,70	0,015
-38+20	6,03	12,28	48,66	74,06	0,38	1,40	6,70	0,19	0,06	0,025	0,001	3,30	0,019
-20+10	12,00	20,11	38,21	58,16	0,64	1,30	8,20	0,37	0,11	0,046	0,001	4,20	0,037
-10	30,45	23,52	17,30	26,33	2,40	1,80	12,80	1,57	0,48	0,079	0,000	9,60	0,164
	100,00	21,64	20,68	31,48	0,98	1,74	17,76	0,61	0,19	0,04	0,00	6,10	0,06
Elek Boyutu	**Ağırlık, %**	**Dağılımlar, %**											
µm		**CaF_2**	**BaO**	**$BaSO_4$**	**CeO_2**	**MnO**	**SiO_2**	**La_2O_3**	**Nd_2O_3**	**ThO_2**	**U_3O_8**	**Fe_2O_3**	**Pr_6O_{11}**
+300	33,62	29,12	11,10	11,10	9,67	32,84	61,16	9,19	9,51	17,96	45,69	31,42	9,32
-300+150	2,77	6,27	1,19	1,19	0,93	5,09	2,14	0,71	0,76	1,52	3,93	1,63	0,74
-150+53	9,64	13,36	13,69	13,69	3,01	11,63	4,67	2,22	2,30	4,92	14,59	4,58	2,23
-53+45	1,76	1,46	3,51	3,51	0,52	1,31	0,69	0,39	0,39	0,81	2,41	0,63	0,40
-45+38	3,74	2,13	8,68	8,68	1,19	3,81	1,58	0,91	0,89	1,78	5,26	2,27	0,87
-38+20	6,03	3,42	14,18	14,18	2,31	4,85	2,27	1,84	1,79	3,48	4,74	3,26	1,80
-20+10	12,00	11,15	22,18	22,18	7,86	8,97	5,54	7,16	6,82	12,88	9,59	8,27	6,92
-10	30,45	33,09	25,47	25,47	74,52	31,50	21,95	77,57	77,54	56,65	13,79	47,93	77,74
	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

5.2. Flotasyon Deneyleri

Barit, florit ve bastnazit, suda az çözünen yüzey özellikleri benzer minerallerdir. Dolayısıyla, flotasyonda minerallerin yüzdürülme sıralarına bağlı olarak seçimli toplayıcı ve kontrol reaktiflerinin belirlenmesi ayrı bir özellik taşımaktadır. Kompleks yatağa ait kompozit numunede ana mineral olan floritte, çok ince taneler halinde barit ve bastnazit bulunmaktadır.

Flotasyon iki kısım olarak çalışılmıştır:

- Barit ve floritin bastırılması ve nadir toprak oksitlerinin yüzdürülmesi
- Baritin yüzdürülmesi ardından florit ve nadir toprak minerallerinin birbirinden ayrılması

Çizelge 5.13 incelendiğinde sınıflanmış numunenin (-10 µm), %20,8 $BaSO_4$, %23,4 CaF_2, %9,61 Fe_2O_3, %14,28 SiO_2, %2,47 CeO_2, %1,64 La_2O_3, %0,48 Nd_2O_3 ve %0,1 ThO_2 ve %0,24 Pr_6O_{11} içerdiği görülmektedir.

Çizelge 5.13. -10 µm numuneye ait kimyasal analiz sonucu

Tane boyutu, µm	**Analizler, %**					
	$BaSO_4$	**CaF_2**	**Fe_2O_3**	**MnO**	**SiO_2**	**Pr_6O_{11}**
-10 µm	20,8	23,4	9,61	1,58	14,28	0,24
	CeO_2	**La_2O_3**	**Nd_2O_3**	**ThO_2**	**U_3O_8**	
	2,47	1,64	0,48	0,1	0,0006	

5.3. Barit ve Floritin Bastırılması ve Nadir Toprak Oksitlerinin Flotasyonu

5.3.1. Farklı Bastırıcı Türleri ve Dozajlarının Etkisi

Bu kısımda baritin ve floritin bastırılıp nadir toprak oksitlerininin yüzdürülmesi amaçlanmıştır. Kullanılan bastırıcı, toplayıcı ve dozajları test edilmiştir. Barit ve floritin bastırılması üzerine sodyum silikat, sodyum heksametafosfat $(Na_6PO_3)_6$, silika jel, ligninsülfanat ve dextrin bastırıcıları kullanılmıştır. Toplayıcı olarak nadir toprak oksitlerinin seçimli flotasyonunda kullanılan hidroksamatlar (Aero 6493 ve S-9849) tercih edilmiştir.

5.3.1.1. Na-Silikat dozajının etkisi

En çok kullanılan bastırıcı ve dağıtıcılardan biri olan sodyum silikat dozajı test edilmiştir. 3000-5000-10000 g/t Na-Silikat bastırıcı olarak, toplayıcı olarak 250 g/t 6493 kullanılmıştır. Çizelge 5.14'de deney koşulları, Çizelge 5.15'de deney sonuçları verilmiştir.

Çizelge 5.14. Sodyum Silikat ile yapılan deney koşulları

Scrub: 2000 rpm / 15 dk -10 µm, Flotasyon 200 g numune, %15 katı, 1,2 lt hücre						
Aşama	**Na_2SiO_3 (g/t)**	**6493 (g/t)**	**MIBC**	**pH**	**Koşullandırma (dk)**	**Flotasyon (dk)**
Koşullandırma	3000	250	10 µl	9	15+15	
NTE Flot 1						3
Koşullandırma		250			15	
NTE Flot 2						2

Scrub: 2000 rpm / 15 dk -10 µm, Flotasyon 200 g numune, %15 katı, 1,2 lt hücre						
Aşama	**Na_2SiO_3 (g/t)**	**6493 (g/t)**	**MIBC**	**pH**	**Koşullandırma (dk)**	**Flotasyon (dk)**
Koşullandırma	5000	250	10 µl	9	15+15	
NTE Flot 1						3
Koşullandırma		250			15	
NTE Flot 2						2

Scrub: 2000 rpm / 15 dk -10 µm, Flotasyon 200 g numune, %15 katı, 1,2 lt hücre						
Aşama	**Na_2SiO_3 (g/t)**	**6493 (g/t)**	**MIBC**	**pH**	**Koşullandırma (dk)**	**Flotasyon (dk)**
Koşullandırma	10000	250	5 µl	10,27	15+15	
NTE Flot 1				10,7		3
Koşullandırma		250			15	
NTE Flot 2						2

Çizelge 5.15. Sodyum silikat ile yapılan deney sonuçları

		Ağırlık, %	Tenör (%)											
			CaF_2	BaO	$BaSO_4$	CeO_2	MnO	SiO_2	La_2O_3	Nd_2O_3	ThO_2	U_3O_8	Fe_2O_3	Pr_6O_{11}
3000 g/t Na-silikat	NTE Kons 1	2,74	21,04	9,04	13,76	3,20	1,67	14,73	2,13	0,62	0,17	0,00	10,61	0,25
	NTE Kons 2	3,46	21,72	9,48	14,43	3,14	1,65	14,95	2,07	0,62	0,13	0,00	10,28	0,24
	Atık	93,79	23,32	12,60	19,18	2,57	1,64	14,81	1,67	0,49	0,21	0,00	9,93	0,19
		100,00	23,20	12,39	18,86	2,60	1,64	14,81	1,70	0,50	0,21	0,00	9,96	0,20
		Ağırlık, %	**Verim (%)**											
			CaF_2	BaO	$BaSO_4$	CeO_2	MnO	SiO_2	La_2O_3	Nd_2O_3	ThO_2	U_3O_8	Fe_2O_3	Pr_6O_{11}
	NTE Kons 1	2,74	2,49	2,00	2,00	3,37	2,79	2,73	3,43	3,45	2,21	3,49	2,92	3,46
	NTE Kons 2	3,46	3,24	2,65	2,65	4,18	3,48	3,50	4,22	4,32	2,20	6,91	3,57	4,29
	Atık	93,79	94,27	95,35	95,35	92,45	93,73	93,78	92,35	92,23	95,59	89,60	93,50	92,25
		100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

Çizelge 5.15. (devamı) Sodyum silikat ile yapılan deney sonuçları

		Ağırlık, %	Tenör (%)											
			CaF_2	BaO	$BaSO_4$	CeO_2	MnO	SiO_2	La_2O_3	Nd_2O_3	ThO_2	U_3O_8	Fe_2O_3	Pr_6O_{11}
5000 g/t Na-silikat	NTE Kons 1	10,94	22,36	11,41	17,37	3,01	1,63	14,75	1,98	0,58	0,19	0,00	9,98	0,23
	NTE Kons 2	8,95	23,72	10,50	15,98	3,06	1,65	14,86	2,01	0,60	0,19	0,00	10,08	0,24
	Atık	80,11	23,51	13,52	20,58	2,72	1,58	13,86	1,78	0,53	0,18	0,00	9,33	0,21
		100,00	23,40	13,02	19,81	2,78	1,59	14,05	1,82	0,54	0,19	0,00	9,47	0,21
		Ağırlık, %	Verim (%)											
			CaF_2	BaO	$BaSO_4$	CeO_2	MnO	SiO_2	La_2O_3	Nd_2O_3	ThO_2	U_3O_8	Fe_2O_3	Pr_6O_{11}
	NTE Kons 1	10,94	10,46	9,59	9,59	11,85	11,21	11,49	11,89	11,80	11,50	8,10	11,54	11,86
	NTE Kons 2	8,95	9,07	7,22	7,22	9,84	9,27	9,47	9,89	9,91	9,28	8,60	9,53	9,95
	Atık	80,11	80,47	83,19	83,19	78,31	79,52	79,04	78,22	78,29	79,23	83,30	78,94	78,19
		100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

Çizelge 5.15. (devamı) Sodyum silikat ile yapılan deney sonuçları

		Ağırlık, %	Tenör (%)											
			CaF_2	BaO	$BaSO_4$	CeO_2	MnO	SiO_2	La_2O_3	Nd_2O_3	ThO_2	U_3O_8	Fe_2O_3	Pr_6O_{11}
10000 g/t Na-silikat	NTE Kons 1	4,56	23,28	10,70	16,29	3,18	1,67	16,40	2,03	0,62	0,34	0,00	10,40	0,25
	NTE Kons 2	7,69	23,28	10,60	16,13	3,06	1,63	17,20	1,94	0,61	0,28	0,00	10,10	0,24
	Atık	87,75	24,17	12,50	19,03	2,75	1,61	16,20	1,74	0,54	0,27	0,00	9,63	0,23
		100,00	24,06	12,27	18,68	2,79	1,61	16,29	1,77	0,55	0,27	0,0006	9,70	0,23
		Ağırlık, %	Verim (%)											
			CaF_2	BaO	$BaSO_4$	CeO_2	MnO	SiO_2	La_2O_3	Nd_2O_3	ThO_2	U_3O_8	Fe_2O_3	Pr_6O_{11}
	NTE Kons 1	4,56	4,41	3,98	3,98	5,19	4,72	4,59	5,23	5,20	5,73	9,19	4,89	4,89
	NTE Kons 2	7,69	7,44	6,65	6,65	8,43	7,77	8,13	8,41	8,52	8,06	11,99	8,01	7,93
	Atık	87,75	88,15	89,38	89,38	86,38	87,51	87,28	86,36	86,28	86,21	78,82	87,10	87,18
		100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

Çizelge 5.15 incelendiğinde bir seçimlilik olmadığı görülmüştür. Nadir toprak minerallerinin atıkta kaldığı görülmüştür. 3000, 5000 ve 10000 g/t Na-silikat kullanımında toplam nadir toprak konsantre verimleri yaklaşık olarak sırasıyla %6-7, %20-21 ve %12-13 olduğu görülmüştür. Atık verimleri %93-94, %79-80 ve %87-88 olmuştur. Na-silikat kullanımında toplam nadir toprak konsantre verimleri verilmiştir.

5.3.1.2. Silika jel dozajının etkisi

Silika jel, florit ve baritin bastırılmasında kullanılmaktadır. 2000-5000-10000 g/t silika jel kullanarak yapılan testlerde florit ve barit bastırılıp nadir toprak minerallerinin yüzdürülmesi test edilmiştir. Toplayıcı olarak hidroksamat türü olan A-6493 kullanılmıştır. Çizelge 5.16'da silika jel ile yapılan deney koşulları ve Çizelge 5.17'de deney sonuçları verilmiştir.

Çizelge 5.16. Silika Jel ile yapılan deney koşulları

Scrub: 2000 rpm / 15 dk -10 µm, Flotasyon 200 g numune, %15 katı, 1,2 lt hücre						
Aşama	**Silika Jel (g/t)**	**6493 (g/t)**	**MIBC**	**pH**	**Koşullandırma (dk)**	**Flotasyon (dk)**
Koşullandırma	2000	500	10 µl	8	15+15	
NTE Flot.						3

Scrub: 2000 rpm / 15 dk -10 µm, Flotasyon 200 g numune, %15 katı, 1,2 lt hücre						
Aşama	**Silika Jel (g/t)**	**6493 (g/t)**	**MIBC**	**pH**	**Koşullandırma (dk)**	**Flotasyon (dk)**
Koşullandırma	5000	500	10 µl	8	15+15	
NTE Flot.						3

Scrub: 2000 rpm / 15 dk -10 µm, Flotasyon 200 g numune, %15 katı, 1,2 lt hücre						
Aşama	**Silika Jel (g/t)**	**6493 (g/t)**	**MIBC**	**pH**	**Koşullandırma (dk)**	**Flotasyon (dk)**
Koşullandırma	10000	500	10 µl	8	15+15	
NTE Flot.						3

Çizelge 5.17. Silika Jel ile yapılan deney sonuçları

		Ağırlık %	Tenör (%)											
			CaF_2	BaO	$BaSO_4$	CeO_2	MnO	SiO_2	La_2O_3	Nd_2O_3	ThO_2	U_3O_8	Fe_2O_3	Pr_6O_{11}
2000 g/t Silika Jel	NTE Kons 1	8,34	26,67	9,72	14,79	1,80	1,58	13,60	1,20	0,45	0,24	0,01	10,30	0,36
	Atık	91,66	24,82	12,87	19,59	2,97	1,49	14,96	1,89	0,59	0,19	0,00	9,80	0,23
		100,00	24,98	12,61	19,19	2,88	1,50	14,84	1,83	0,58	0,19	0,0009	9,84	0,24
		Ağırlık %	Verim (%)											
			CaF_2	BaO	$BaSO_4$	CeO_2	MnO	SiO_2	La_2O_3	Nd_2O_3	ThO_2	U_3O_8	Fe_2O_3	Pr_6O_{11}
	NTE Kons 1	8,34	8,90	6,43	6,43	5,22	8,81	7,64	5,47	6,52	10,62	60,39	8,73	12,47
	Atık	91,66	91,10	93,57	93,57	94,78	91,19	92,36	94,53	93,48	89,38	39,61	91,27	87,53
		100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

Çizelge 5.17. (devamı) Silika Jel ile yapılan deney sonuçları

		Ağırlık %	Tenör (%)											
			CaF_2	BaO	$BaSO_4$	CeO_2	MnO	SiO_2	La_2O_3	Nd_2O_3	ThO_2	U_3O_8	Fe_2O_3	Pr_6O_{11}
5000 g/t Silika Jel	NTE Kons 1	12,31	24,57	11,56	17,59	3,15	1,53	13,79	1,80	0,45	0,24	0,00	9,59	0,26
	Atık	87,69	23,24	12,98	19,76	2,86	1,50	15,17	1,69	0,41	0,19	0,00	9,48	0,24
		100,00	23,40	12,81	19,49	2,90	1,50	15,00	1,70	0,42	0,20	0,0009	9,50	0,24
		Ağırlık %	Verim (%)											
			CaF_2	BaO	$BaSO_4$	CeO_2	MnO	SiO_2	La_2O_3	Nd_2O_3	ThO_2	U_3O_8	Fe_2O_3	Pr_6O_{11}
	NTE Kons 1	12,31	12,93	11,11	11,11	13,38	12,54	11,32	13,06	13,31	14,50	25,37	12,43	13,47
	Atık	87,69	87,07	88,89	88,89	86,62	87,46	88,68	86,94	86,69	85,50	74,63	87,57	86,53
		100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

Çizelge 5.17. (devamı) Silika Jel ile yapılan deney sonuçları

		Ağırlık %	Tenör (%)											
			CaF_2	BaO	$BaSO_4$	CeO_2	MnO	SiO_2	La_2O_3	Nd_2O_3	ThO_2	U_3O_8	Fe_2O_3	Pr_6O_{11}
10000 g/t Silika Jel	NTE Kons 1	18,65	24,59	9,36	14,25	2,57	1,53	13,96	1,74	0,45	0,16	0,00	10,47	0,26
	Atık	81,35	22,76	13,22	20,12	2,61	1,49	14,34	1,71	0,38	0,20	0,00	9,25	0,24
		100,00	23,10	12,50	19,03	2,60	1,50	14,27	1,72	0,40	0,19	0,00	9,48	0,24
		Ağırlık %	Verim (%)											
			CaF_2	BaO	$BaSO_4$	CeO_2	MnO	SiO_2	La_2O_3	Nd_2O_3	ThO_2	U_3O_8	Fe_2O_3	Pr_6O_{11}
	NTE Kons 1	18,65	19,85	13,97	13,97	18,40	18,97	18,24	18,90	21,23	15,72	41,26	20,60	20,34
	Atık	81,35	80,15	86,03	86,03	81,60	81,03	81,76	81,10	78,77	84,28	58,74	79,40	79,66
		100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

Çizelge 5.17 incelendiğinde, yapılan deneylerde nadir toprak minerallerinin yüzmediği görülmüştür. Nadir toprak mineralleri atıkta kalmıştır. Florit ve nadir toprak minerallerinin aynı davrandığı görülmektedir.

5.3.1.3. Sodyum heksametafosfat bastırıcı ile yapılan deneyin etkisi

Sodyum heksametafosfat ile Aero 827 (petrolyum sülfonat) toplayıcı ile yapılan deney koşulları Çizelge 5.18' de, Çizelge 5.19'da deney sonuçları verilmektedir.

Çizelge 5.18. Sodyum heksametafosfat ile yapılan deney koşulları

Scrub: 2000 rpm / 15 dk -10 µm, Flotasyon 200 g numune, %15 katı, 1,2 lt hücre						
Aşama	**$(NaPO_3)_6$ (g/t)**	**A- 827 (g/t)**	**MIBC**	**pH (NaOH)**	**Koşullandırma (dk)**	**Flotasyon (dk)**
Koşullandırma	3000	300	5 µl	7,8	5+7+1	5
Flot 1		150		11	2	3
Flot 2		150		11		2

Çizelge 5.19. Sodyum heksametafosfat ile yapılan deney sonuçları

	Ağırlık %	Tenör (%)											
		CaF_2	BaO	$BaSO_4$	CeO_2	MnO	SiO_2	La_2O_3	Nd_2O_3	ThO_2	U_3O_8	Fe_2O_3	Pr_6O_{11}
NTE Kons 1	16,73	23,67	11,10	16,89	2,79	1,67	14,60	1,90	0,54	0,07	0,00	10,20	0,27
NTE Kons 2	10,50	23,28	10,80	16,44	2,64	1,69	14,90	1,78	0,50	0,08	0,00	10,40	0,25
NTE Kons 3	7,96	24,68	11,20	17,05	2,60	1,65	14,40	1,70	0,49	0,09	0,00	10,10	0,25
Atık	64,81	25,77	14,50	22,07	2,54	1,59	13,50	1,69	0,49	0,09	0,00	9,31	0,24
	100,00	25,07	13,28	20,21	2,60	1,62	13,90	1,74	0,50	0,08	0,00	9,64	0,25
	Ağırlık, %	**Verim (%)**											
		CaF_2	BaO	$BaSO_4$	CeO_2	MnO	SiO_2	La_2O_3	Nd_2O_3	ThO_2	U_3O_8	Fe_2O_3	Pr_6O_{11}
NTE Kons 1	16,73	15,80	13,99	13,99	17,99	17,26	17,57	18,33	18,03	13,65	16,78	17,71	18,04
NTE Kons 2	10,50	9,75	8,54	8,54	10,68	10,96	11,26	10,75	10,65	10,15	6,83	11,33	10,67
NTE Kons 3	7,96	7,83	6,71	6,71	7,97	8,11	8,24	7,80	7,84	8,91	6,86	8,34	7,85
Atık	64,81	66,62	70,76	70,76	63,36	63,66	62,93	63,12	63,48	67,29	69,53	62,62	63,43
	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

Çizelge 5.19'da Sodyum heksametafosfat ile yapılan deney sonuçları . 3000 g/t heksametafosfat bastırıcı ile 300 g/t A-827 toplayıcı eklenerek bir konsantre alınmıştır. Bu kademede nadir toprak minerallerinin verimi %18 gelmiştir. Daha sonra kalan kısıma tekrar 150 g/t toplayıcı ekleyerek ikinci bir konsantre alınmıştır. İkinci kademede nadir toprak mineralleri %10 verimle alınmıştır. Üçüncü kademede 150 g/t toplayıcı ile %8'si alınmıştır. Toplam üç kademede nadir toprak mineralleri %36 verimle alınmıştır. Nadir toprak minerallerinin %64'ü atıkta kalmıştır. Barit ve florit için de aynı durum geçerlidir. İstenen minerallerin yüzmediği ve atıkta kaldığı görülmüştür.

5.3.1.4. AWG, Dextrin ve Tannik asit bastırıcıları ile yapılan deney

AWG (sülfürik asit ve Na-silikat karışımı bastırıcı), Dextrin ve tannik asit kullanarak yapılan deneyin koşulları Çizelge 5.20.'de, deneyin sonuçları Çizelge 5.21'de verilmektedir.

Çizelge 5.20. AWG, Dextrin ve tannik asit ile yapılan deney koşulları

Scrub: 2000 rpm / 15 dk -10 µm, Flotasyon 200 g numune, %15 katı, 1,2 lt hücre								
	AWG (g/t)	**Dextrin (g/t)**	**Tannik Asit (g/t)**	**A-726 (g/t)**	**MIBC**	**pH Na_2CO_3**	**Koşullandırma (dk)**	**Flotasyon (dk)**
Koşullandırma	4000	500	500	400	10 µl	9,5	15+15	
NTE Flot.								3
Koşullandırma				200			15	
NTE Flot.2								2

Çizelge 5.21. AWG, Dextrin ve tannik asit ile yapılan deney sonuçları

	Ağırlık %	**Tenör (%)**											
		CaF_2	**BaO**	**$BaSO_4$**	**CeO_2**	**MnO**	**SiO_2**	**La_2O_3**	**Nd_2O_3**	**ThO_2**	**U_3O_8**	**Fe_2O_3**	**Pr_6O_{11}**
NTE Kons 1	3,44	29,28	10,30	15,68	2,70	1,53	13,50	1,73	0,50	0,20	0,00	9,43	0,20
NTE Kons 2	3,63	24,08	10,80	16,44	2,91	1,61	14,60	1,86	0,53	0,27	0,00	9,96	0,21
Atık	92,92	23,28	13,10	19,94	2,64	1,60	14,40	1,67	0,48	0,23	0,00	9,59	0,19
	100,00	23,51	12,92	19,66	2,65	1,60	14,38	1,68	0,48	0,23	0,00	9,60	0,19
	Ağırlık %	**Verim (%)**											
		CaF_2	**BaO**	**$BaSO_4$**	**CeO_2**	**MnO**	**SiO_2**	**La_2O_3**	**Nd_2O_3**	**ThO_2**	**U_3O_8**	**Fe_2O_3**	**Pr_6O_{11}**
NTE Kons 1	3,44	4,29	2,74	2,74	3,51	3,30	3,23	3,56	3,58	2,94	3,72	3,38	3,61
NTE Kons 2	3,63	3,72	3,04	3,04	3,98	3,66	3,69	4,03	3,98	4,23	4,20	3,77	3,99
Atık	92,92	91,99	94,22	94,22	92,51	93,04	93,08	92,42	92,44	92,83	92,08	92,85	92,40
	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

AWG (sülfürik asit ve Na-silikat karışımı bastırıcı), Dextrin ve Tannik asit kullanarak yapılan deneyde (yağ asidi) toplayıcı ile bir kademe flotasyon yapılmıştır. Bu şekilde nadir toprak mineralleri yüzmemiştir. Daha sonra tekrar 200 g/t Aero-726 toplayıcı eklenmiştir. Bu şekilde toplam nadir toprak minerallerinin verimi %7 olmuştur. Nadir toprak mineralleri yüzdürülememiştir.

5.3.1.5. Dextrin bastırıcısı ile yapılan deneyler

Bastırıcı olarak dextrin kullanarak nadir toprak minerallerinin yüzdürülmesi test edilmiştir. 1000 g/t dextrin ve toplayıcı olarak A-726 ve A-6493 (150+150 g/t) karışımı kullanılarak doğal pH ve pH 9,5'te deneyler yapılmıştır. Deney koşulları Çizelge 5.22'de, deney sonuçları Çizelge 5.23'de verilmiştir.

Çizelge 5.22. Dextrin ile yapılan deney koşulları

Scrub: 2000 rpm / 15 dk -10 µm, Flotasyon 200 g numune, %15 katı, 1,2 lt hücre							
	Dextrin (g/t)	**A-726 (g/t)**	**6493 (g/t)**	**MIBC**	**pH**	**Koşullandırma (dk)**	**Flotasyon (dk)**
Koşullandırma	1000				7,86	5	
NTE+Florit Flot.		150	150	10 µl		3	3
Koşullandırma		150	150		7,92	3	
NTE+Florit Flot.2							3

Scrub: 2000 rpm / 15 dk -10 µm, Flotasyon 200 g numune, %15 katı, 1,2 lt hücre							
	Dextrin (g/t)	**A-726 (g/t)**	**6493 (g/t)**	**MIBC**	**pH**	**Koşullandırma (dk)**	**Flotasyon (dk)**
Koşullandırma	1000				9,5	5	
NTE+Florit Flot.		150	150	10 µl		3	3
Koşullandırma		150	150		9,5	3	
NTE+Florit Flot.2							3

Çizelge 5.23. Doğal pH ve pH 9,5'te dextrin ile yapılan deney sonuçları

Doğal pH	**Ağırlık, %**	**Tenör (%)**											
		CaF_2	**BaO**	**$BaSO_4$**	**CeO_2**	**MnO**	**SiO_2**	**La_2O_3**	**Nd_2O_3**	**ThO_2**	**U_3O_8**	**Fe_2O_3**	**Pr_6O_{11}**
NTE+Florit Kons 1	17,58	22,60	15,55	23,67	2,95	1,70	13,70	1,90	0,52	0,17	0,00	9,90	0,23
NTE+Florit Kons 2	18,60	22,79	17,01	25,89	2,99	1,60	13,40	1,88	0,51	0,19	0,00	9,80	0,23
Atık	63,81	18,89	13,52	20,58	3,31	1,90	15,90	2,06	0,57	0,17	0,00	11,30	0,25
	100,00	20,27	14,53	22,11	3,19	1,81	15,05	2,00	0,55	0,17	0,00	10,77	0,24
	Ağırlık, %	**Verim (%)**											
		CaF_2	**BaO**	**$BaSO_4$**	**CeO_2**	**MnO**	**SiO_2**	**La_2O_3**	**Nd_2O_3**	**ThO_2**	**U_3O_8**	**Fe_2O_3**	**Pr_6O_{11}**
NTE+Florit Kons 1	17,58	19,60	18,82	18,82	16,25	16,52	16,01	16,73	16,72	17,24	19,46	16,16	16,82
NTE+Florit Kons 2	18,60	20,91	21,78	21,78	17,45	16,45	16,56	17,44	17,22	20,74	19,78	16,92	17,28
Atık	63,81	59,48	59,39	59,39	66,29	67,02	67,43	65,83	66,06	62,03	60,76	66,92	65,90
	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

Çizelge 5.23. (devamı) Doğal pH ve pH 9,5'te dextrin ile yapılan deney sonuçları

pH: 9,5	**Ağırlık, %**	**Tenör (%)**											
		CaF_2	**BaO**	**$BaSO_4$**	**CeO_2**	**MnO**	**SiO_2**	**La_2O_3**	**Nd_2O_3**	**ThO_2**	**U_3O_8**	**Fe_2O_3**	**Pr_6O_{11}**
NTE+Florit Kons 1	24,72	22,98	17,28	26,30	3,06	1,50	16,00	1,96	0,52	0,21	0,00	9,30	0,24
NTE+Florit Kons 2	18,41	22,21	15,57	23,70	3,31	1,70	13,70	2,10	0,56	0,17	0,00	10,10	0,25
Atık	56,87	18,50	11,73	17,85	3,45	2,00	16,50	2,17	0,59	0,22	0,00	11,90	0,26
	100,00	20,29	13,81	21,02	3,33	1,82	15,86	2,11	0,57	0,21	0,00	10,93	0,25
	Ağırlık, %	**Verim (%)**											
		CaF_2	**BaO**	**$BaSO_4$**	**CeO_2**	**MnO**	**SiO_2**	**La_2O_3**	**Nd_2O_3**	**ThO_2**	**U_3O_8**	**Fe_2O_3**	**Pr_6O_{11}**
NTE+Florit Kons 1	24,72	28,00	30,94	30,94	22,74	20,36	24,94	22,98	22,87	24,65	26,53	21,04	23,26
NTE+Florit Kons 2	18,41	20,14	20,76	20,76	18,29	17,18	15,90	18,32	18,19	15,58	27,40	17,02	18,41
Atık	56,87	51,86	48,31	48,31	58,97	62,45	59,16	58,70	58,93	59,77	46,07	61,94	58,33
	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

Çizelge 5.23 incelendiğinde, doğal pH'ta yapılan deneyde, toplam konsantre verimleri %40,51 CaF_2, %40,60 $BaSO_4$, %33,70 CeO_2, %34,17 La_2O_3 ve %33,94 Nd_2O_3 olmuştur. Atık verimlerinin %59,48 CaF_2, %59,39 $BaSO_4$, %66,29 CeO_2, %65,83 La_2O_3 ve %66,06 Nd_2O_3 olduğu görülmüştür.

pH 9,5'te yapılan deneyde, toplam konsantre verimleri %48,14 CaF_2, %51,70 $BaSO_4$, %41,03 CeO_2, %41,30 La_2O_3 ve %41,06 Nd_2O_3 olmuştur. Atık verimleri, %51,86 CaF_2, %48,31 $BaSO_4$, %58,97 CeO_2, %58,70 La_2O_3 ve %58,93 Nd_2O_3 olmuştur. Bu durum nadir toprak minerallerinin konsantreye alınamadığını ve atıkta kaldığını göstermiştir. Florit ve nadir toprak minerallerinin verimlerinin konsantre ve atıkta aynı olduğu ve bu iki mineralin flotasyon davranımının aynı olduğunu göstermiştir.

5.3.1.6. Lignosülfanat ile yapılan deney

Bastırıcı olarak lignosülfanat kullanarak nadir toprak minerallerinin yüzdürülmesi test edilmiştir. 3000 g/t lignosülfanat ve toplayıcı olarak A-726 ve A-6493 (150+150 g/t) karışımı kullanılarak iki kademe flotasyon yapılmıştır. Deney koşulları Çizelge 5.24'de, deney sonuçları Çizelge 5.25'de verilmiştir.

Çizelge 5.24. Lignosülfanat ile yapılan deney koşulları

Scrub: 2000 rpm / 15 dk -10 µm, Flotasyon 200 g numune, %15 katı, 1,2 lt hücre							
	Lignosülfonat (g/t)	**A-726 (g/t)**	**6493 (g/t)**	**MIBC**	**pH Na_2CO_3**	**Koşullandırma (dk)**	**Flotasyon (dk)**
Koşullandırma	3000				8	10	
Kons 1		150	150	10 µl		3	3
Koşullandırma	1500	150	150		9,5	3	
Kons 2					9,5		3

Çizelge 5.25. Lignosülfanat ile yapılan deney sonuçları

	Ağırlık, %	**Tenör (%)**											
		CaF_2	**BaO**	**$BaSO_4$**	**CeO_2**	**MnO**	**SiO_2**	**La_2O_3**	**Nd_2O_3**	**ThO_2**	**U_3O_8**	**Fe_2O_3**	**Pr_6O_{11}**
Kons 1	8,80	20,37	12,20	18,57	2,97	1,78	15,20	1,85	0,50	0,01	0,00	11,00	0,27
Kons 2	12,96	20,18	11,20	17,05	2,89	1,82	15,10	1,82	0,49	0,01	0,00	11,20	0,26
Atık	78,23	20,37	14,70	22,37	2,82	1,80	14,80	1,78	0,45	0,09	0,00	10,70	0,25
	100,00	20,35	14,03	21,35	2,84	1,80	14,87	1,79	0,46	0,07	0,00	10,79	0,25
	Ağırlık, %	**Verim (%)**											
		CaF_2	**BaO**	**$BaSO_4$**	**CeO_2**	**MnO**	**SiO_2**	**La_2O_3**	**Nd_2O_3**	**ThO_2**	**U_3O_8**	**Fe_2O_3**	**Pr_6O_{11}**
Kons 1	8,80	8,81	7,66	7,66	9,20	8,70	9,00	9,08	9,58	1,28	13,71	8,97	9,20
Kons 2	12,96	12,85	10,35	10,35	13,18	13,10	13,16	13,14	13,74	1,97	16,61	13,45	13,18
Atık	78,23	78,33	81,99	81,99	77,63	78,20	77,84	77,78	76,68	96,74	69,68	77,57	77,63
	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

Çizelge 5.25'de incelendiğinde, lignosülfanat ile yapılan deneyde, toplam iki kademe konsantre verimleri %21,66 CaF_2, %18,01 $BaSO_4$, %22,38 CeO_2, %22,22 La_2O_3 ve %23,32 Nd_2O_3 olmuştur. Atık verimlerinin ise % 78,33 CaF_2, %81,99 $BaSO_4$, %77,63 CeO_2, % 77,78 La_2O_3 ve % 76,68 Nd_2O_3 olduğu görülmüştür.

5.3.2. Toplayıcılar ve Dozajlarının Etkisi

Barit, florit ve bastnazit, suda az çözünen yüzey özellikleri benzer minerallerdir. Dolayısıyla, flotasyonda minerallerin yüzdürülme sıralarına bağlı olarak seçimli toplayıcı ve kontrol reaktiflerinin belirlenmesi ayrı bir özellik taşımaktadır. NTE minerallerinin yüzdürülmesinde seçimli toplayıcılar olan hidroksamatlar kullanılmaktadır. Yağ asitlerine göre daha seçimli olduğundan dolayı tercih edilmektedir. Deneysel çalışmalarda hidroksamat türü olan Aero 6493 ve S-9849 ve yağ asitlerinden A-726 toplayıcıları test edilmiştir.

5.3.2.1. <u>Aero 6493 toplayıcısı ile yapılan deneyler</u>

250 g/t, 500 g/t ve 1000 g/t A-6493 toplayıcı test edilmiştir. Deney koşulları Çizelge 5.26'da, deney sonuçları Çizelge 5.27.'de verilmektedir.

Çizelge 5.26. 250 g/t, 500 g/t ve 1000 g/t A-6493 toplayıcı ile yapılan deney koşulları

Scrub: 2000 rpm / 15 dk -10 µm, Flotasyon 200 g numune, %15 katı, 1,2 lt hücre						
Aşama	**Na_2SiO_3 (g/t)**	**6493 (g/t)**	**MIBC**	**pH**	**Koşullandırma (dk)**	**Flotasyon (dk)**
Koşullandırma	5000	250	10 µl	9,2	15+15	
NTE Flot 1						3
Koşullandırma		250			15	
NTE Flot 2						2

Çizelge 5.26. (devamı) 250 g/t, 500 g/t ve 1000 g/t A-6493 toplayıcı ile yapılan deney koşulları

Scrub: 2000 rpm / 15 dk -10 µm, Flotasyon 200 g numune, %15 katı, 1,2 lt hücre						
Aşama	**Na_2SiO_3 (g/t)**	**6493 (g/t)**	**MIBC**	**pH**	**Koşullandırma (dk)**	**Flotasyon (dk)**
Koşullandırma	5000	500	10 µl	8,93	15+15	
NTE Flot 1						3
Koşullandırma		250		8,65	15	
NTE Flot 2						2

Scrub: 2000 rpm / 15 dk -10 µm, Flotasyon 200 g numune, %15 katı, 1,2 lt hücre						
Aşama	**Na_2SiO_3 (g/t)**	**6493 (g/t)**	**MIBC**	**pH**	**Koşullandırma (dk)**	**Flotasyon (dk)**
Koşullandırma	5000	1000	10 µl	9	15+15	
NTE Flot 1				9		3

Çizelge 5.27. 250 g/t, 500 g/t ve 1000 g/t A-6493 toplayıcı ile yapılan deney sonuçları

	Ağırlık %	Tenör (%)											
		CaF_2	BaO	$BaSO_4$	CeO_2	MnO	SiO_2	La_2O_3	Nd_2O_3	ThO_2	U_3O_8	Fe_2O_3	Pr_6O_{11}
NTE Kons 1	10,94	22,36	11,41	17,37	3,01	1,63	14,75	1,98	0,58	0,19	0,00	9,98	0,23
NTE Kons 2	8,95	23,72	10,50	15,98	3,06	1,65	14,86	2,01	0,60	0,19	0,00	10,08	0,24
Atık	80,11	23,51	13,52	20,58	2,72	1,58	13,86	1,78	0,53	0,18	0,00	9,33	0,21
	100,00	23,40	13,02	19,81	2,78	1,59	14,05	1,82	0,54	0,19	0,0007	9,47	0,21
	Ağırlık %	Verim (%)											
		CaF_2	BaO	$BaSO_4$	CeO_2	MnO	SiO_2	La_2O_3	Nd_2O_3	ThO_2	U_3O_8	Fe_2O_3	Pr_6O_{11}
NTE Kons 1	10,94	10,46	9,59	9,59	11,85	11,21	11,49	11,89	11,80	11,50	8,10	11,54	11,86
NTE Kons 2	8,95	9,07	7,22	7,22	9,84	9,27	9,47	9,89	9,91	9,28	8,60	9,53	9,95
Atık	80,11	80,47	83,19	83,19	78,31	79,52	79,04	78,22	78,29	79,23	83,30	78,94	78,19
	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

	Ağırlık %	Tenör, %											
		CaF_2	BaO	$BaSO_4$	CeO_2	MnO	SiO_2	La_2O_3	Nd_2O_3	ThO_2	U_3O_8	Fe_2O_3	Pr_6O_{11}
NTE Kons 1	12,57	19,09	11,46	17,44	2,66	1,80	16,10	1,72	0,49	0,04	0,00	11,50	0,35
NTE Kons 2	5,12	18,12	11,29	17,18	2,63	1,90	16,70	1,70	0,48	0,07	0,00	11,80	0,34
Atık	82,31	18,89	14,49	22,05	2,50	1,80	15,80	1,61	0,46	0,08	0,00	11,20	0,32
	100,00	18,88	13,95	21,22	2,53	1,81	15,88	1,63	0,46	0,08	0,00	11,27	0,33
	Ağırlık %	Verim, %											
		CaF_2	BaO	$BaSO_4$	CeO_2	MnO	SiO_2	La_2O_3	Nd_2O_3	ThO_2	U_3O_8	Fe_2O_3	Pr_6O_{11}
NTE Kons 1	12,57	12,71	10,33	10,33	13,20	12,53	12,74	13,28	13,32	6,44	9,00	12,83	13,49
NTE Kons 2	5,12	4,91	4,14	4,14	5,31	5,39	5,38	5,35	5,35	4,52	5,84	5,36	5,38
Atık	82,31	82,38	85,53	85,53	81,48	82,08	81,88	81,37	81,33	89,04	85,16	81,81	81,13
	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

Çizelge 5.27. (devamı) 250 g/t, 500 g/t ve 1000 g/t A-6493 toplayıcı ile yapılan deney sonuçları

	Ağırlık	**Tenör, %**											
	%	**CaF_2**	**BaO**	**$BaSO_4$**	**CeO_2**	**MnO**	**SiO_2**	**La_2O_3**	**Nd_2O_3**	**ThO_2**	**U_3O_8**	**Fe_2O_3**	**Pr_6O_{11}**
NTE Kons 1	20,18	20,06	12,11	18,43	2,85	1,80	15,40	1,81	0,53	0,04	0,00	11,10	0,37
Atık	79,82	19,87	13,76	20,94	2,46	1,90	16,00	1,58	0,45	0,09	0,00	11,30	0,32
	100,00	19,91	13,43	20,44	2,54	1,88	15,88	1,63	0,47	0,08	0,00	11,26	0,33
	Ağırlık	**Verim, %**											
	%	**CaF_2**	**BaO**	**$BaSO_4$**	**CeO_2**	**MnO**	**SiO_2**	**La_2O_3**	**Nd_2O_3**	**ThO_2**	**U_3O_8**	**Fe_2O_3**	**Pr_6O_{11}**
NTE Kons 1	20,18	20,34	18,20	18,20	22,60	19,32	19,57	22,43	22,85	11,27	19,53	19,89	22,75
Atık	79,82	79,66	81,80	81,80	77,40	80,68	80,43	77,57	77,15	88,73	80,47	80,11	77,25
	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

Çizelge 5.27'de yapılan deney sonuçları incelendiğinde barit ve floritin bastırılıp nadir toprak minerallerinin seçimli bir şekilde yüzdürülemediği görülmüştür. Tek kademe alınan konsantre verimleri **250 g/t A-6493** toplayıcı ile %10,46 CaF_2, %9,59 $BaSO_4$, %11,85 CeO_2, %11,89 La_2O_3 ve %11,8 Nd_2O_3; **500 g/t A-6493** toplayıcı ile %12,71 CaF_2, %10,33 $BaSO_4$, %13,2 CeO_2, %13,28 La_2O_3 ve %13,32 Nd_2O_3; **1000 g/t A-6493** toplayıcı ile %20,34 CaF_2, %18,20 $BaSO_4$, %22,60 CeO_2, %22,43 La_2O_3, %22,85 Nd_2O_3 olduğu görülmüştür.

5.3.2.2. S-9849 toplayıcı ile yapılan deneyler

500 g/t ve 1000 g/t S-9849 toplayıcı test edilmiştir. Çizelge 5.28'de deney koşulları verilmektedir.

Çizelge 5.28. 500 g/t ve 1000 g/t S-9849 toplayıcı ile yapılan deney koşulları

Scrub: 2000 rpm / 15 dk -10 µm, Flotasyon 200 g numune, %15 katı, 1,2 lt hücre						
Aşama	**Na_2SiO_3 (g/t)**	**S-9849 (g/t)**	**MIBC**	**pH**	**Koşullandırma (dk)**	**Flotasyon (dk)**
Koşullandırma	5000	500	10 µl	8,9	15+15	
NTE Flot.				8,56		3

Scrub: 2000 rpm / 15 dk -10 µm, Flotasyon 200 g numune, %15 katı, 1,2 lt hücre						
Aşama	**Na_2SiO_3 (g/t)**	**S-9849 (g/t)**	**MIBC**	**pH**	**Koşullandırma (dk)**	**Flotasyon (dk)**
Koşullandırma	5000	1000	10 µl	9,2	15+15	
NTE Flot.				8,62		3

Çizelge 5.29. 500 g/t ve 1000 g/t S-9849 toplayıcı ile yapılan deney sonuçları

	Ağırlık%	Tenör, %											
		CaF_2	BaO	$BaSO_4$	CeO_2	MnO	SiO_2	La_2O_3	Nd_2O_3	ThO_2	U_3O_8	Fe_2O_3	Pr_6O_{11}
NTE Kons 1	11,97	18,89	11,01	16,76	2,76	1,90	16,40	1,79	0,52	0,03	0,0004	12,00	0,36
Atık	88,03	18,70	14,08	21,43	2,50	1,90	16,00	1,61	0,46	0,06	0,0005	11,30	0,32
	100,00	18,72	13,71	20,87	2,53	1,90	16,05	1,63	0,47	0,05	0,0005	11,38	0,33
	Ağırlık %	Verim, %											
		CaF_2	BaO	$BaSO_4$	CeO_2	MnO	SiO_2	La_2O_3	Nd_2O_3	ThO_2	U_3O_8	Fe_2O_3	Pr_6O_{11}
NTE Kons 1	11,97	12,08	9,61	9,61	13,06	11,97	12,23	13,12	13,16	6,51	10,43	12,61	13,17
Atık	88,03	87,92	90,39	90,39	86,94	88,03	87,77	86,88	86,84	93,49	89,57	87,39	86,83
	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

	Ağırlık %	Tenör, %											
		CaF_2	BaO	$BaSO_4$	CeO_2	MnO	SiO_2	La_2O_3	Nd_2O_3	ThO_2	U_3O_8	Fe_2O_3	Pr_6O_{11}
NTE Kons 1	18,26	19,28	12,02	18,29	2,76	1,80	15,40	1,77	0,52	0,01	0,00	11,20	0,37
Atık	81,74	19,48	13,92	21,19	2,29	1,80	15,50	1,47	0,43	0,01	0,00	10,80	0,30
	100,00	19,44	13,57	20,66	2,37	1,80	15,48	1,52	0,45	0,01	0,00	10,87	0,31
	Ağırlık %	Verim, %											
		CaF_2	BaO	$BaSO_4$	CeO_2	MnO	SiO_2	La_2O_3	Nd_2O_3	ThO_2	U_3O_8	Fe_2O_3	Pr_6O_{11}
NTE Kons 1	18,26	18,11	16,17	16,17	21,23	18,26	18,16	21,20	21,12	13,46	17,62	18,81	21,30
Atık	81,74	81,89	83,83	83,83	78,77	81,74	81,84	78,80	78,88	86,54	82,38	81,19	78,70
	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

Çizelge 5.29'da yapılan deney sonuçları incelendiğinde tek kademe alınan konsantre verimleri; **500 g/t S-9849** toplayıcı ile %12,08 CaF_2, %9,61 $BaSO_4$, %13,06 CeO_2, %13,12 La_2O_3 ve %13,16 Nd_2O_3 ve **1000 g/t S-9849** toplayıcı ile %18,11 CaF_2, %16,17 $BaSO_4$, %21,23 CeO_2, %21,2 La_2O_3 ve %21,12 Nd_2O_3 olduğu görülmüştür. Barit ve floritin bastırılıp nadir toprak mineralleri yüzdürülememiştir.

5.4. Baritin Yüzdürülmesi Ardından Florit ve Nadir Toprak Minerallerinin Birbirinden Ayrılması

Bu kısımda baritin yüzdürülmesi ve ardından florit ve nadir toprak minerallerinin birbirinden ayrılması çalışmaları yapılmıştır. Baritin yüzdürülmesi aşamasında barit için seçimli toplayıcı ve bu aşamada floritin bastırılması için bastırıcı test edilmiştir.

5.4.1. Toplayıcı Etkisi

A-845, A-825, A-827, Na-oleat ve Sodyum dodesilsülfat toplayıcıları test edilmiştir. Çizelge 5.30'da farklı toplayıcılar ile yapılan deney koşulları, Çizelge 5.31'de deney sonuçları verilmiştir.

Çizelge 5.30. Farklı toplayıcılar ile yapılan deney koşulları

Aşama	Na_2SiO_3 (g/t)	Sitrik Asit (g/t)	A-845 (g/t)	MIBC	pH	Koşullandırma (dk)	Flotasyon (dk)
BARİT DEVRESİ							
Koşullandırma	1000	600	500	5 µl	9	15+15	
Barit Temz. 1					9		3
Barit Temz. 2	125				9,25	5	2
Barit Temz. 3					9,6	5	2

Aşama	Na_2SiO_3 (g/t)	Sitrik Asit (g/t)	A-825 (g/t)	MIBC	pH	Koşullandırma (dk)	Flotasyon (dk)
BARİT DEVRESİ							
Koşullandırma	1000	600	500	5 µl	9	15+15	
Barit Temz. 1					9		3
Barit Temz. 2	125				9	5	2
Barit Temz. 3					9	5	2

Aşama	Na_2SiO_3 (g/t)	Sitrik Asit (g/t)	A-827 (g/t)	MIBC	pH	Koşullandırma (dk)	Flotasyon (dk)
BARİT DEVRESİ							
Koşullandırma	1000	600	500	5 µl	9	15+15	
Barit Temz. 1					9		3
Barit Temz. 2	125				9	5	2
Barit Temz. 3					9	5	2

Aşama	Na_2SiO_3 (g/t)	Sitrik Asit (g/t)	Na-Oleat (g/t)	MIBC	pH	Koşullandırma (dk)	Flotasyon (dk)
BARİT DEVRESİ							
Koşullandırma	1000	600	500	5 µl	9	15+15	
Barit Temz. 1					9		3
Barit Temz. 2	125				9	5	2
Barit Temz. 3					9	5	2

Aşama	Na_2SiO_3 (g/t)	Sitrik Asit (g/t)	Sodyum Dodesil Sülfat (g/t)	MIBC	pH	Koşullandırma (dk)	Flotasyon (dk)
BARİT DEVRESİ							
Koşullandırma	1000	600	500	5 µl	9	15+15	
Barit Temz. 1					9		3
Barit Temz. 2	125				9	5	2
Barit Temz. 3					9	5	2

A-845, A-825, A-827, Na-oleat ve Sodyum dodesilsülfat toplayıcıları ile yapılan deney sonuçları Çizelge 5.31'de verilmiştir.

Çizelge 5.31. Farklı toplayıcılar ile yapılan deney sonuçları

A-845 Toplayıcı	Ağırlık, %	Tenör, %											
		CaF_2	BaO	$BaSO_4$	CeO_2	MnO	SiO_2	La_2O_3	Nd_2O_3	ThO_2	U_3O_8	Fe_2O_3	Pr_6O_{11}
Barit Kons	17,11	2,14	61,56	93,69	0,22	0,10	1,10	0,13	0,04	0,02	0,00	0,50	0,03
3.Barit Temizleme Atığı	2,09	9,74	44,90	68,34	1,19	0,60	5,10	0,80	0,22	0,10	0,00	3,50	0,15
2.Barit Temizleme Atığı	4,27	22,98	20,82	31,69	2,04	1,40	10,70	1,36	0,42	0,01	0,00	7,70	0,29
1.Barit Temizleme Atığı	10,49	23,18	11,34	17,26	1,80	1,80	13,60	1,19	0,42	0,00	0,00	10,50	0,28
Atık	66,04	29,00	7,45	11,34	2,26	1,85	14,13	1,44	0,45	0,04	0,00	10,66	0,31
Besleme	100,00	23,14	18,47	28,11	1,83	1,50	11,51	1,17	0,37	0,03	0,00	8,63	0,25
		Verim, %											
		CaF_2	BaO	$BaSO_4$	CeO_2	MnO	SiO_2	La_2O_3	Nd_2O_3	ThO_2	U_3O_8	Fe_2O_3	Pr_6O_{11}
Barit Kons	17,11	1,58	57,01	57,01	2,09	1,14	1,64	1,94	1,66	8,23	4,09	0,99	1,76
3.Barit Temizleme Atığı	2,09	0,88	5,08	5,08	1,36	0,84	0,93	1,42	1,22	6,13	0,66	0,85	1,27
2.Barit Temizleme Atığı	4,27	4,25	4,82	4,82	4,77	4,00	3,97	4,94	4,89	0,82	1,72	3,81	4,92
1.Barit Temizleme Atığı	10,49	10,51	6,44	6,44	10,33	12,62	12,40	10,65	12,04	1,58	36,68	12,76	11,62
Atık	66,04	82,78	26,65	26,65	81,44	81,41	81,07	81,05	80,19	83,25	56,85	81,58	80,42
Besleme	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

Çizelge 5.31.(devamı) Farklı toplayıcılar ile yapılan deney sonuçları

A-825 Toplayıcı	Ağırlık, %	Tenör, %											
		CaF_2	BaO	$BaSO_4$	CeO_2	MnO	SiO_2	La_2O_3	Nd_2O_3	ThO_2	U_3O_8	Fe_2O_3	Pr_6O_{11}
Barit Kons	2,69	20,26	15,51	23,61	2,65	1,70	13,50	1,70	0,55	0,02	0,00	10,10	0,31
Barit Temizleme 1 Atık	14,00	20,84	16,63	25,31	2,06	1,70	13,20	1,34	0,45	0,01	0,00	9,90	0,25
Atık	83,32	22,40	19,00	28,92	2,14	1,70	12,80	1,38	0,41	0,06	0,00	9,30	0,24
Besleme	100,00	22,12	18,57	28,27	2,14	1,70	12,87	1,38	0,42	0,05	0,00	9,41	0,24
		Verim, %											
		CaF_2	BaO	$BaSO_4$	CeO_2	MnO	SiO_2	La_2O_3	Nd_2O_3	ThO_2	U_3O_8	Fe_2O_3	Pr_6O_{11}
Barit Kons	2,69	2,46	2,24	2,24	3,32	2,69	2,82	3,30	3,51	1,14	3,19	2,89	3,44
Barit Temizleme 1 Atık	14,00	13,19	12,53	12,53	13,47	14,00	14,35	13,59	14,89	2,95	70,80	14,73	14,49
Atık	83,32	84,35	85,22	85,22	83,21	83,32	82,83	83,11	81,60	95,92	26,01	82,38	82,07
Besleme	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

A-827 Toplayıcı	Ağırlık, %	Tenör , %											
		CaF_2	BaO	$BaSO_4$	CeO_2	MnO	SiO_2	La_2O_3	Nd_2O_3	ThO_2	U_3O_8	Fe_2O_3	Pr_6O_{11}
Barit Kons	21,33	15,97	26,96	41,03	2,14	1,50	11,70	1,40	0,42	0,07	0,00	8,60	0,25
Atık	78,67	23,37	16,53	25,16	2,06	1,80	13,10	1,32	0,40	0,03	0,00	9,60	0,24
Besleme	100,00	21,80	18,75	28,54	2,08	1,74	12,80	1,34	0,41	0,04	0,00	9,39	0,24
		Verim, %											
		CaF_2	BaO	$BaSO_4$	CeO_2	MnO	SiO_2	La_2O_3	Nd_2O_3	ThO_2	U_3O_8	Fe_2O_3	Pr_6O_{11}
Barit Kons	21,33	15,63	30,66	30,66	22,02	18,43	19,49	22,38	21,99	40,64	10,68	19,54	22,04
Atık	78,67	84,37	69,34	69,34	77,98	81,57	80,51	77,62	78,01	59,36	89,32	80,46	77,96
Besleme	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

Çizelge 5.31. (devamı)Farklı toplayıcılar ile yapılan deney sonuçları

Na-oleat Toplayıcı	Ağırlık, %	Tenör, %											
		CaF_2	BaO	$BaSO_4$	CeO_2	MnO	SiO_2	La_2O_3	Nd_2O_3	ThO_2	U_3O_8	Fe_2O_3	Pr_6O_{11}
Barit Kons	25,33	20,84	30,16	45,90	1,80	1,20	9,20	1,18	0,34	0,14	0,00	6,40	0,21
Atık	74,67	22,60	14,62	22,25	2,09	1,80	13,70	1,34	0,43	0,01	0,00	10,30	0,25
Besleme	100,00	22,15	18,56	28,24	2,02	1,65	12,56	1,30	0,41	0,04	0,00	9,31	0,24
		Verim, %											
Barit Kons	25,33	23,83	41,16	41,16	22,55	18,44	18,55	23,05	21,46	80,03	29,93	17,41	22,00
Atık	74,67	76,17	58,84	58,84	77,45	81,56	81,45	76,95	78,54	19,97	70,07	82,59	78,00
Besleme	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

Dodesil Sülfat Toplayıcı	Ağırlık, %	Tenör, %											
		CaF_2	BaO	$BaSO_4$	CeO_2	MnO	SiO_2	La_2O_3	Nd_2O_3	ThO_2	U_3O_8	Fe_2O_3	Pr_6O_{11}
Barit Kons	26,07	15,00	30,13	45,86	1,85	1,30	11,00	1,23	0,36	0,15	0,00	7,30	0,21
Barit Temizleme 3 Atık	9,48	22,01	13,73	20,90	2,47	1,80	13,70	1,61	0,51	0,02	0,00	10,50	0,29
Barit Temizleme 2 Atık	16,76	22,98	13,96	21,25	1,93	1,70	13,30	1,26	0,44	0,01	0,00	10,20	0,24
Barit Temizleme 1 Atık	23,68	24,54	12,79	19,47	2,31	1,80	13,50	1,50	0,49	0,02	0,00	10,20	0,27
Atık	24,01	28,63	14,17	21,57	1,98	2,00	13,60	1,27	0,38	0,07	0,00	9,50	0,22
Besleme	100,00	22,54	17,93	27,29	2,06	1,70	12,86	1,34	0,42	0,06	0,00	9,30	0,24
		Verim, %											
Barit Kons	26,07	17,35	43,82	43,82	23,41	19,93	22,30	23,83	21,96	58,79	22,30	20,46	22,37
Barit Temizleme 3 Atık	9,48	9,26	7,26	7,26	11,34	10,03	10,10	11,35	11,55	3,08	6,95	10,69	11,56
Barit Temizleme 2 Atık	16,76	17,10	13,05	13,05	15,72	16,75	17,34	15,68	17,62	3,46	43,43	18,38	17,06
Barit Temizleme 1 Atık	23,68	25,79	16,89	16,89	26,50	25,06	24,86	26,49	27,26	7,67	17,94	25,96	27,07
Atık	24,01	30,51	18,98	18,98	23,03	28,23	25,40	22,65	21,61	27,01	9,39	24,52	21,95
Besleme	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

A-845 toplayıcı ile yapılan deney iyi koşul olarak seçilmiştir. 1000 g/t Na-silikat, 600 g/t sitrik asit ve 500 g/t A-845 kullanarak barit yüzdürülmüştür. Çizelgede en iyi koşulda (A-845) Barit kaba konsantre tenör ve verim dağılımları verilmiştir. Barit kaba konsantrede, %73,35 verimle %60,72 içerikli $BaSO_4$ kazanılmıştır.

Çizelge 5.32. En iyi koşulda (A-845) barit kaba konsantre tenör ve verim dağılımları

	Ağırlık, %	**Tenör, %**											
Barit Kaba Konsantre	33,96	**CaF_2**	**BaO**	**$BaSO_4$**	**CeO_2**	**MnO**	**SiO_2**	**La_2O_3**	**Nd_2O_3**	**ThO_2**	**U_3O_8**	**Fe_2O_3**	**Pr_6O_{11}**
		11,73	39,89	**60,72**	1,00	0,82	6,42	0,66	0,22	0,02	0,00	4,68	0,15
		Verim, %											
		CaF_2	**BaO**	**$BaSO_4$**	**CeO_2**	**MnO**	**SiO_2**	**La_2O_3**	**Nd_2O_3**	**ThO_2**	**U_3O_8**	**Fe_2O_3**	**Pr_6O_{11}**
		17,22	73,35	**73,35**	18,56	18,59	18,93	18,95	19,81	16,75	43,15	18,42	19,58

A-825 toplayıcı ile yapılan deneyde barit kaba konsantre tenör ve verim dağılımları çizelgede verilmiştir. Barit kaba konsantrede %14,78 verimle %25,04 içerikli $BaSO_4$ kazanılmıştır. Bu toplayıcı ile barit verimi çok düşük kalmıştır. Bu toplayıcının baritin kazanılmasında uygun toplayıcı olmadığı görülmüştür.

Çizelge 5.33. A-825 toplayıcı ile yapılan barit kaba konsantre tenör ve verim dağılımları

	Ağırlık, %	**Tenör, %**											
Barit Kaba Konsantre	16,68	**CaF_2**	**BaO**	**$BaSO_4$**	**CeO_2**	**MnO**	**SiO_2**	**La_2O_3**	**Nd_2O_3**	**ThO_2**	**U_3O_8**	**Fe_2O_3**	**Pr_6O_{11}**
		20,75	16,45	25,04	2,15	1,70	13,25	1,40	0,46	0,01	0,00	9,93	0,26
		Verim, %											
		CaF_2	**BaO**	**$BaSO_4$**	**CeO_2**	**MnO**	**SiO_2**	**La_2O_3**	**Nd_2O_3**	**ThO_2**	**U_3O_8**	**Fe_2O_3**	**Pr_6O_{11}**
		15,65	14,78	14,78	16,79	16,68	17,17	16,89	18,40	4,08	73,99	17,62	17,93

A-827 toplayıcı ile yapılan deneyde barit kaba konsantre tenör ve verim dağılımları çizelgede verilmiştir. Barit kaba konsantrede %30,66 verimle %41,03 içerikli $BaSO_4$ kazanılmıştır.

Çizelge 5.34. A-8257 toplayıcı ile yapılan barit kaba konsantre tenör ve verim dağılımları

	Ağırlık, %	**Tenör , %**											
Barit kaba konsantre	21,33	**CaF_2**	**BaO**	**$BaSO_4$**	**CeO_2**	**MnO**	**SiO_2**	**La_2O_3**	**Nd_2O_3**	**ThO_2**	**U_3O_8**	**Fe_2O_3**	**Pr_6O_{11}**
		15,97	26,96	41,03	2,14	1,50	11,70	1,40	0,42	0,07	0,00	8,60	0,25
		Verim, %											
		CaF_2	**BaO**	**$BaSO_4$**	**CeO_2**	**MnO**	**SiO_2**	**La_2O_3**	**Nd_2O_3**	**ThO_2**	**U_3O_8**	**Fe_2O_3**	**Pr_6O_{11}**
		15,63	30,66	30,66	22,02	18,43	19,49	22,38	21,99	40,64	10,68	19,54	22,04

Na-oleat toplayıcı ile yapılan deneyde barit kaba konsantre tenör ve verim dağılımları çizelgede verilmiştir. Barit kaba konsantrede %41,16 verimle %45,90 içerikli $BaSO_4$ kazanılmıştır.

Çizelge 5.35. Na-oleat toplayıcı ile yapılan barit kaba konsantre tenör ve verim dağılımları

	Ağırlık, %	**Tenör, %**											
Barit kaba konsantre	25,33	**CaF_2**	**BaO**	**$BaSO_4$**	**CeO_2**	**MnO**	**SiO_2**	**La_2O_3**	**Nd_2O_3**	**ThO_2**	**U_3O_8**	**Fe_2O_3**	**Pr_6O_{11}**
		20,84	30,16	45,90	1,80	1,20	9,20	1,18	0,34	0,14	0,00	6,40	0,21
		Verim, %											
		CaF_2	**BaO**	**$BaSO_4$**	**CeO_2**	**MnO**	**SiO_2**	**La_2O_3**	**Nd_2O_3**	**ThO_2**	**U_3O_8**	**Fe_2O_3**	**Pr_6O_{11}**
		23,83	41,16	41,16	22,55	18,44	18,55	23,05	21,46	80,03	29,93	17,41	22,00

Sodyum dodesil sülfat toplayıcı ile yapılan deneyde barit kaba konsantre tenör ve verim dağılımları çizelgede verilmiştir. Barit kaba konsantrede %81,02 verimle %29,09 içerikli $BaSO_4$ kazanılmıştır. Üç kademe temizleme sonunda %45,86 tenörlü $BaSO_4$ %43,82 verimle alınmıştır.

Çizelge 5.36. Sodyum dodesil sülfat toplayıcı ile yapılan barit kaba konsantre tenör ve verim dağılımları

	Ağırlık, %	**Tenör, %**											
Barit kaba konsantre	75,99	**CaF_2**	**BaO**	**$BaSO_4$**	**CeO_2**	**MnO**	**SiO_2**	**La_2O_3**	**Nd_2O_3**	**ThO_2**	**U_3O_8**	**Fe_2O_3**	**Pr_6O_{11}**
		20,61	19,11	29,09	2,09	1,61	12,62	1,37	0,44	0,06	0,00	9,24	0,25
		Verim, %											
		CaF_2	**BaO**	**$BaSO_4$**	**CeO_2**	**MnO**	**SiO_2**	**La_2O_3**	**Nd_2O_3**	**ThO_2**	**U_3O_8**	**Fe_2O_3**	**Pr_6O_{11}**
		69,49	81,02	81,02	76,97	71,77	74,60	77,35	78,39	72,99	90,61	75,48	78,05

5.4.2. Bastırıcı Etkisi

Barit flotasyonu sonrasında florit ve NTE minerallerinin ayrılması amacıyla deneyler yapılmıştır. Deney koşulları çizelge 5.37.'de, deney sonuçları Çizelge 5.38'de verilmiştir.

Çizelge 5.37. Sitrik Asit ile Yapılan Flotasyon Deney Koşulları

Scrub: 2000 rpm / 15 dk -10 µm, Flotasyon 300 g numune, %20 katı, 2,5 lt hücre, Barit temizlemeler 1,2 lt hücre									
Aşama	**Na_2SiO_3 (g/t)**	**Sitrik Asit (g/t)**	**A-845 (g/t)**	**EDTA (g/t)**	**6493 (g/t)**	**MIBC**	**pH**	**Koşullandırma (dk)**	**Flotasyon (dk)**
Koşullandırma	1000	500	400			5 µl	9	15+15+15	3
Barit Temizleme 1		250				5 µl	9	3	2
Barit Temizleme 2							9		2
Koşullandırma				4000	100			15+15	
NTE Kons.									2

Çizelge 5.38. Sitrik Asit İle Yapılan Flotasyon Deney sonuçları

	Ağırlık, %	Tenör, %											
		CaF_2	BaO	$BaSO_4$	CeO_2	MnO	SiO_2	La_2O_3	Nd_2O_3	ThO_2	U_3O_8	Fe_2O_3	Pr_6O_{11}
Barit TA 1	7,49	28,34	11,99	18,25	3,12	1,58	12,81	2,06	0,61	0,34	0,00	9,15	0,24
Barit TA 2	1,60	23,00	18,00	27,40	3,01	1,09	10,00	2,06	0,59	0,31	0,00	6,10	0,24
Barit Kons	8,60	2,12	59,81	91,03	0,37	0,12	1,46	0,24	0,07	0,03	0,00	0,70	0,03
NTE Kons	4,90	17,78	28,61	43,54	2,43	1,13	10,47	1,64	0,47	0,24	0,00	6,67	0,19
Atık	77,40	28,48	7,78	11,84	3,10	1,83	15,64	2,03	0,60	0,30	0,00	10,98	0,24
	100,00	25,59	13,76	20,94	2,83	1,62	13,86	1,86	0,55	0,27	0,00	9,67	0,22
	Ağırlık, %	Verim, %											
		CaF_2	BaO	$BaSO_4$	CeO_2	MnO	SiO_2	La_2O_3	Nd_2O_3	ThO_2	U_3O_8	Fe_2O_3	Pr_6O_{11}
Barit TA 1	7,49	8,30	6,53	6,53	8,25	7,32	6,92	8,30	8,28	9,34	13,01	7,09	8,29
Barit TA 2	1,60	1,44	2,10	2,10	1,70	1,08	1,16	1,77	1,73	1,81	1,62	1,01	1,76
Barit Kons	8,60	0,71	37,40	37,40	1,14	0,64	0,91	1,12	1,09	1,07	11,30	0,62	1,10
NTE Kons	4,90	3,40	10,19	10,19	4,20	3,42	3,70	4,30	4,20	4,25	5,06	3,38	4,29
Atık	77,40	86,14	43,78	43,78	84,71	87,55	87,32	84,51	84,71	83,54	69,02	87,90	84,56
	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,0	100,0	100,0	100,0

Barit devresinde floritin bastırılması için 500 g/t sitrik asit eklenerek A-845 toplayıcı ile barit flotasyonu yapılmıştır. İki kademe temizleme sonrasında %91,03 tenörlü BaSO4 %37,40 verimle kazanılmıştır. Barit flotasyonu sonrasında NTE ve florit ayrılması aşamasında EDTA (Etilendi amin tetraasetik asit) eklenerek floritin bastırılması ve NTE minerallerinin yüzdürülmesi test edilmiştir. Çizelgeden atık verimlerine bakıldığında %86,14 CaF_2, %84,71 CeO_2, %84,51 La_2O_3 ve %84,71 Nd_2O_3 olduğu görülmüştür. Florit ve NTE mineralleri birbirinden ayrılamamıştır.

Sitrik asit yerine barit devresinde 4000 g/t EDTA kullanarak yapılan deneyde floritin bastırılması test edilmiştir. Toplayıcı olarak A-845 kullanılmıştır. Deney koşulları ve sonuçları Çizelge 5.39 ve Çizelge 5.40'da verilmiştir.

Çizelge 5.39. EDTA ile Yapılan Deney Koşulları

Scrub: 2000 rpm / 15 dk, -10 µm, Flotasyon 200 g numune, %15 katı, 1,2 lt hücre								
Aşama	**Na_2SiO_3 (g/t)**	**EDTA (g/t)**	**A-845 (g/t)**	**6493 (g/t)**	**MIBC**	**pH**	**Koşullandırma (dk)**	**Flotasyon (dk)**
Koşullandırma	1000	4000	400		5 µl	9	15+15+15+1	4
Barit Temizleme 1					5 µl	9	3	2
Barit Temizleme 2					5 µl	9,5	3	2
Koşullandırma				100		9	15	3

Çizelge 5.40. EDTA ile Yapılan Deney Sonuçları

	Ağırlık, %	Tenör, %											
		CaF_2	BaO	$BaSO_4$	CeO_2	MnO	SiO_2	La_2O_3	Nd_2O_3	ThO_2	U_3O_8	Fe_2O_3	Pr_6O_{11}
Barit TA 1	8,32	27,02	11,60	17,66	3,49	1,51	12,92	2,32	0,68	0,28	0,00	9,14	0,27
Barit TA 2	2,32	23,00	14,00	21,31	3,43	1,06	10,00	2,35	0,68	0,26	0,00	6,00	0,27
Barit Kons	14,99	10,60	52,94	80,57	1,01	0,14	1,51	0,71	0,19	0,08	0,00	0,76	0,08
NTE Kons	20,23	28,85	12,12	18,45	3,23	1,63	12,50	2,13	0,62	0,23	0,00	9,18	0,25
Atık	54,13	26,41	4,45	6,77	3,50	2,03	18,05	2,28	0,68	0,30	0,00	12,55	0,27
	100,00	24,51	14,09	21,44	3,07	1,60	13,83	2,02	0,59	0,25	0,00	9,66	0,23
	Ağırlık, %	Verim, %											
		CaF_2	BaO	$BaSO_4$	CeO_2	MnO	SiO_2	La_2O_3	Nd_2O_3	ThO_2	U_3O_8	Fe_2O_3	Pr_6O_{11}
Barit TA 1	8,32	9,18	6,85	6,85	9,46	7,86	7,77	9,57	9,54	9,17	9,58	7,87	9,53
Barit TA 2	2,32	2,18	2,31	2,31	2,60	1,54	1,68	2,71	2,65	2,39	3,93	1,44	2,67
Barit Kons	14,99	6,48	56,33	56,33	4,94	1,31	1,64	5,29	4,92	5,00	18,56	1,18	5,09
NTE Kons	20,23	23,82	17,41	17,41	21,28	20,61	18,28	21,32	21,11	18,25	11,29	19,22	21,24
Atık	54,13	58,34	17,10	17,10	61,72	68,68	70,63	61,11	61,78	65,20	56,64	70,29	61,47
	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

Deney sonuçları incelendiğinde, barit devresi kaba konsantrede %54,77 tenörlü $BaSO_4$ %65,49 verimle ve iki kademe temizleme sonunda %80,57 tenör ile $BaSO_4$ %56,33 verimle kazanılmıştır. Barit konsantresindeki CaF_2 ve NTE verimlerine bakıldığında %6,48 CaF_2 ve %5 NTE olduğu görülmüştür. Barit devresi sonrası NTE mineralleri kazanılmaya çalışıldığı flotasyon kademesinde %20 verimle NTE alınırken %23,82 verimle CaF_2 kazanılmıştır. Bu durum florit ve NTE minerallerinin aynı davrandığı ve ayrım olmadığı görülmüştür. Atık verimleri %58,34 CaF_2 ve %61 NTE olduğu görülmüştür

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tez çalışması ile nadir toprak elementleri (NTE), florit ve bariti içeren kompleks cevherden, fiziko- kimyasal yöntem olan flotasyon ile NTE minerallerinin kazanılması amaçlanmıştır. Bu projede sadece scrub (aşındırma) işlemi sonrası nadir toprak elementlerinin -10 µm tane boyunda kazanımı çalışılmıştır.

Eskişehir-Beylikova bölgesinden temin edilmiş olan cevherin kimyasal analiz sonucunda bileşiminin ağırlıkça %27,24 $BaSO_4$, %28,05 CaF_2, %1,31 CeO_2, %0,87 La_2O_3, %0,21 Nd_2O_3, %0,084 ThO_2 ve %0,001 U_3O_8'den oluştuğu bulunmuştur.

Numune fraksiyonlarına ayrılarak SEM-MLA analizi yapılmıştır. NTE mineralinin, +500 µm fraksiyon boyutunda serbestleşme derecesi %1,43, -500+350 µm fraksiyon aralığında serbestleşme derecesi %0,91, -350+147 µm fraksiyon aralığında serbestleşme derecesi %2,24, -147+74 µm fraksiyon aralığında serbestleşme derecesi %7,38, -74+38 µm fraksiyon aralığında serbestleşme derecesi %16,78, -38+20 µm fraksiyon aralığında serbesleşme derecesi %48,19, -20+10 µm fraksiyon aralığında serbesleşme derecesi %68,53, -10 µm fraksiyon boyutunda serbesleşme derecesi %73,32 olarak belirlenmiştir. Mineral ikili veya üçlü kenetlenmeleri başlıca barit, florit ve illit, değişen daha az oranlarda monazit, Fe-oksit, Ba-Fe-Mn oksit, Pb- Mn oksit, Ba-Mn oksit ve diğer gang mineralleri ile yapmaktadır.

Kompozit numunede florit ve barit kristalleri, bastnazit kristallerine göre daha büyük, bastnazit kristali ise genellikle 5 mikronun altındadır. Cevherde, mika dışındaki gang mineralleri de genellikle küçük kristalli ve barit floritten daha kırılgandır. Bu özellikler dikkate alınarak, cevherdeki farklı mineralleri en zayıf olan birleşme yüzeylerinden ayırmak, kırılgan olanları ise ince tane boyu fraksiyonuna geçirerek kısmi ayırma sağlamak amacıyla aşındırma deneyleri yapılmıştır.

Deneylerde temsili -1 cm tane boyundaki numunelere, %75 palp yoğunluğunda 1000-1500- 2000-2500 devir/dak karıştırma hızlarında 5-10-15 dakika boyunca aşındırma testleri yapılmıştır. Aşındırılmış numuneler yaş eleme ile fraksiyonlarına ayrılarak tenör ve verim dağılımları belirlenmiştir.

Aşındırma deneylerinin sonuçları incelendiğinde, nadir toprak oksitlerinin -10 µm tane boyutuna, en yüksek verim ile 2000 dev/dak 15 dak koşulunda geçtiği görülmüştür. Daha yüksek devirlerde nadir toprak minerallerinin yanında barit ve florit geldiğinden dolayı bu devirde çalışılmaya karar verilmiştir. 2000 dev/dak 15 dakika sonunda - 10 µm tane boyutundaki tenör değerleri %30,97 CaF_2, %25,87 $BaSO_4$, %3,11 CeO_2, %2,15 La_2O_3, %0,80 Nd_2O_3, 0,19 ThO_2, %0,24 Pr_6O_{11}'dir. Verim değerleri ise %35,81 CaF_2, %27,78 $BaSO_4$, %74,89 CeO_2, %77,92 La_2O_3, %75,82 Nd_2O_3, %74,11 ThO_2 ve %77,62 Pr_6O_{11} olarak kazanılmıştır.

-10 µm tane boyutunda flotasyon çalışması yapılmıştır. Bu projede flotasyon aşaması iki kısım olarak çalışılmıştır:

- Barit ve floritin bastırılması ve nadir toprak oksitlerinin yüzdürülmesi
- Baritin yüzdürülmesi ardından florit ve nadir toprak minerallerinin birbirinden ayrılması

Barit ve floritin bastırılması ve nadir toprak oksitlerinin yüzdürülmesi için farklı bastırıcı ve bastırıcı dozajları test edilmiştir. Yapılan deneyler sonucunda bu şekilde NTE mineralleri yüzdürülememiştir. Bu nedenle baritin yüzdürülmesi ardından florit ve nadir toprak minerallerinin birbirinden ayrılması seçimine gidilmiştir. En iyi koşulda, 1000 g/t Na-silikat, 600 g/t sitrik asit ve toplayıcı olarak A-845 kullanarak barit yüzdürülmüştür. Üç kademe temizleme sonunda %93,69 tenörlü $BaSO_4$ %57,01 verimle alınmıştır. Atıkta kalan florit ve NTE mineralleri için yapılan deneylerde ayrım olmamıştır.

Nadir toprak mineralleri kazanımı için detaylı liç çalışmaları ve nadir toprak oksitlerinin ekstraksiyonuna yönelik SX, IX çalışmaları yapılarak kazanılması imkanlarının araştırılması gereklidir.

KAYNAKLAR DİZİNİ

Abaka-Wood GB, Addai-Mensah J, Skinner W. A study of flotation characteristics of monazite, hematite, and quartz using anionic collectors. International Journal of Mineral Processing. 2017;158:55- 62.

Abbruzzese, C., Urbanski, T.S., Piga,1991, Evalution of the selectivity on the La(III)-Ce(III) seperation with chelating extractans; Basic and applied aspects of rare earths 2nd workshop, TEMAV, p50.

Abeidu AM. The separation of monazite from zircon by flotation. Journal of the Less Common Metals. 1972;29:113-9.

Anonim (1976), Maden Mühendisleri Odası Barit Araştırma Grubu, Türkiye Madenciliğinde Gelişen Bir Dal: Barit, 15 (1), 1-7.

Anderson C. Improved understanding of rare earth surface chemistry and its application to froth flotation, PhD Thesis. Colorado, USA: Colorado School of Mines; 2015.

Andrews WH, Collins DN, Hollick CT. The Flotation of Rare Earths - A Contribution to Industrial Hygiene. AusIMM. Rotorua, New Zealand 1990.

Aplan,F.F.,1989, the processing of rare earth minerals, Rare Earths, R.G. Bautista and M.M. Wong (Eds.), TMS, 16-31.

Assis SM, Montenegro LCM, Peres AEC. Utilisation of hydroxamates in minerals froth flotation. Minerals Engineering. 1996;9:103-14.

Atak, S., 1982, Flotasyon ilkeleri ve uygulamaları, İ.T.Ü. Maden Fakültesi, Sayı 222, İstanbul, 220s.

Atakul, A., Küçükuysal, C., Sayı, K., Süer, S. 2007., Süs Taşları, ODTÜ Yayıncılık, Ankara.

Ayan, M. (1979). Dünyada barit ve geleceği. Jeoloji Mühendisliği Dergisi, 3(1), 59-64

Aydin, S. N., Zühre Bektur, ve F. N. Celebioglu. (1998). "MTA tabiat tarihi müzesinde sergilenen mineraller." Yayınlarından/Maden tetkik ve arama enstitüsü

Ayhan, A., 1987, Hüyük (Konya) ile Şarkikaraağaç (Isparta) arasında bulunan barit yataklarının incelenmesi: SÜ. Arş. Fonu Proje Rap., 45 s.

Azizi D, Larachi F, Latifi M. Ionic-liquid collectors for rare-earth minerals flotation Case of tetrabutylammonium bis(2-ethylhexyl)-phosphate for monazite and bastnäsite recovery. Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects. 2016;506:74-86.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Baba Y, Kubota F, Kamiya N, Goto M. Recent advances in extraction and separation of rare earth metals using ionic liquids. Journal of Chemical Engineering of Japan. 2010:1012090106-.

Balaram, V. (2019). "Rare earth elements: A review of applications, occurrence, exploration, analysis, recycling, and environmental impact." Geoscience Frontiers, Sayı.10(4), s.1285-1303.

Baldauf, H., Schubert, H. And Kramer, W., 1986, N-Acylamino Caboxylic Acids Seperation of Fluorite and Calcite, Aufberestungs-Technik, 235-241 p.

Baş, H., ve Temur, S., 1992, Çanakçı – Elmalı – Ardıçlı (Ulukışla/Niğde) yöresi barit yataklarının özellikleri; Selçuk Üni. Müh. – Mim. Fak. Derg., 7, 1-2, 47-61.

Bauer, D.J. and Lindstrom, R.E.,1968, Recovery of cerium and lantanum by ozonation of Lantanide solution: Bureau of Mines Report, RI7123, 9 p.

Baybörü, R., Kayabalı, I., Bakkaloğlu, A., Irkeç, T. ve Ender, I. 1983. Eskişehir- Sivrihisar-Kızılcaören köyü Fluoritli Baritli Komleks Cevher Sahasın ait Ara Rapor. MTA Rapor No: 7507 (yayımlanmamış).

Beer G, Dawes W, Brady AE, Bryson M, Sehlotho N. Development of a Metallurgical Flow Sheet for the Songwe Hill Rare Earth Project in Malawi. Conference of Metallurgists. Vancouver, Canada 2014.

Binnemans K. Lanthanides and actinides in ionic liquids. Chemical reviews. 2007;107:2592-614.

Boulanger J-F, Bazin C, Turgeon K. Effect of Depressants and Temperature on Bastnaesite and Monazite Flotation Separation from a Canadian Rare Earth Element (REE) Ore. Minerals. 2019;9:225.

Bulatovic SM. Collectors. In: Bulatovic SM, (editor). Handbook of Flotation Reagents. Vol. 1. Amsterdam: Elsevier; 2007. p. 5-41.

Bulatovic SM. Flotation of REO Minerals. In: Bulatovic SM, (editor). Handbook of Flotation Reagents: Chemistry, Theory and Practice. Amsterdam: Elsevier; 2010. p. 151-73.

Bulatovic SM. Interaction of Organic Regulating Reagents. In: Bulatovic SM, (editor). Handbook of Flotation Reagents. Amsterdam: Elsevier; 2007. p. 185-202.

Bulatovic SM. Modifying Reagents. In: Bulatovic SM, (editor). Handbook of Flotation Reagents. Amsterdam: Elsevier; 2007. p. 53-79.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Bulatovic SM. Use of organic polymers in the flotation of polymetallic ores: A review. Minerals Engineering. 1999;12:341-54.

Cao S, Cao Y, Liao Y, Ma Z. Depression Mechanism of Strontium Ions in Bastnaesite Flotation with Salicylhydroxamic Acid as Collector. Minerals. 2018;8:66.

Cao Z, Cao Y, Qu Q, Zhang J, Mu Y. Separation of bastnäsite from fluorite using ethylenediamine tetraacetic acid as depressant. Minerals Engineering. 2019;134:134-41.

Cao Z, Wang J, Cao Y. Selective depression mechanism of EDTA on Fluorite in Bastnaesite flotation. XXIX International Mineral Processing Congress. Moscow, Russia 2018.

Cengiz, O., Kuşçu, M., 2002, Şarkikaraağaç (Isparta) ile Hüyük (Konya) Arasındaki Barit Yataklarının Jeokimyasal özellikleri ve kökeni, MTA Dergisi, 123 – 124, s. 67- 89.

Chan TN. A New Beneficiation Process For Treatment Of Supergene Monazite Ore. Rare Earths: Resources, Science, Technology and Applications. San Diego: Minerals, Metals & Materials Society; 1992. p. 77-94.

Che L, Yu Y, Wang X, Zhang F. Study Flotatıon Of Rare Earth Mınerals By New Collector Dh XXII International Mineral Processing Congress Cape Town, South Africa 2003.

Cheng T-W, Holtham PN, Tran T. Froth flotation of monazite and xenotime. Minerals Engineering. 1993;6:341-51.

Cheng T-W, Partridge AC, Tran T, Wong PLM. The surface properties and flotation behaviour of xenotime. Minerals Engineering. 1994;7:1085-98.

Chi R, Xu S, Zhu G, Xu J, Qiu X. Beneficiation of Rare Earth Ore in China. In: Anjier JL, (editor). Light Metals. New Orleans, USA: The Minerals, Metals & Materials Society; 2001.

Choi HS, Whang KU. Surface Properties and Floatability of Zircon. The Canadian Mining and Metallurgical Bulletin 1963;56:466-8.

Cui H, Anderson CG. Fundamental Studies on the Surface Chemistry of Ancylite, Calcite, and Strontianite. Journal of Sustainable Metallurgy. 2017;3:48-61.

Cui H, Anderson CG. Alternative flowsheet for rare earth beneficiation of Bear Lodge ore. Minerals Engineering. 2017;110:166-78.

Cui J, Hope GA, Buckley AN. Spectroscopic investigation of the interaction of hydroxamate with bastnaesite (cerium) and rare earth oxides. Minerals Engineering. 2012;36-38:91-9.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Cuillo., P.A., Industral Minerals and Their Uses, Noyes Publications, New Jersey. 1996

Cyanamid, 1976, Mining chemicals Handbook, Mineral dressing notes, no26, U.S.A., 109p.

Deng T, Hill G. Flotation of REE Bearing Minerals from Silicate and Carbonate Host Deposits. Conference of Metallurgists. Vancouver, Canada 2014.

Devlet Planlama Teşkilatı. (2001). Madencilik ÖİK raporu endüstriyel hammaddeler alt komisyonu genel endüstri mineralleri IV, Ankara: Devlet Planlama Teşkilatı. 8. Kalkınma Raporu.

Dika, 2010, TRC3 Bölgesi (Mardin, Batman, Siirt, Şırnak) Yer Altı ve Yer Üstü Zenginlikleri Raporu, 16-19.

Dolak, İ. "Nadir toprak elementleri içeren barit ve fluorit cevherinin değerlendirilmesi" 2015.

Dudka S, Adriano DC. Environmental Impacts of Metal Ore Mining and Processing: A Review. Journal of Environmental Quality. 1997;26:590-602.

Duruibe JO, Ogwuegbu M, Egwurugwu J. Heavy metal pollution and human biotoxic effects. International Journal of physical sciences. 2007;2:112-8.

Eddy, W. H., Browning, J.S. and Hardeman, J. E., Selective Flotation of Fluorspar pre From İllinois, Bureau of Mines, U.S. Departman of the Interior and the University of Alabama, 10 p. 1964

Eisele,J.A. ve Bauer,D.J., Recovery and separation of rare-earth elements, barium and strontium fi-om bastnasite with sulfuric acid: Bureau of Mines Report, RI7990,10 p. 1974

Erdinç, H., 1993, Endüstriyel Hammaddeler, Balıkesir Üniversitesi Yayını, No: 2, Balıkesir, 78-81 s.

Eskişehir-Beylikova Kompleks Cevherinin Teknolojik Olarak Değerlendirilmesi ve Üretim Sürecinin Geliştirilmesi, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, 2019.

Espiritu ERL, da Silva GR, Azizi D, Larachi F, Waters KE. The effect of dissolved mineral species on bastnäsite, monazite and dolomite flotation using benzohydroxamate collector. Colloi ds and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects. 2018;539:319-34.

Espiritu ERL, Naseri S, Waters KE. Surface chemistry and flotation behavior of dolomite, monazite and bastnäsite in the presence of benzohydroxamate, sodium oleate and phosphoric acid ester collectors. Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects. 2018;546:254-65.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Espiritu ERL, Waters KE. Flotation studies of monazite and dolomite. Minerals Engineering. 2018;116:101-6.

Eyring,L., Progress in the science and technology of the rare earths. The Macmillan Company, Vol.1, 532 p. 1964

Fluorit 1979. Türkiye Sınai Kalkınma Bankası Araştırma Müdürlüğü Kimya Sektör Araştırma Yayınları, no:4 İstanbul. 100 s.

Fangji,L., Juying,W. and Xinglan,Z., 1989, A process on the recovery of rare earth minerals with a chelating collector: Rare Earths, R.G. Baustista and M.M. Wong(eds), TMS, 72-79.

Fawzy MM. Surface characterization and froth flotation of fergusonite from Abu Dob pegmatite using a combination of anionic and nonionic collectors. Physicochem Probl Miner Process. 2018;54:677- 87.

Ferron CJ, Bulatovic SM, Salter RS. Beneficiation of Rare Earth Oxide Minerals. In: Siribumrungsukha B, Arrykul, S., Sanguansai, P., Pungrassami, T., Sikong, L., Kooptarnond, K. , (editor). International Conference on Rare Earth Minerals and Minerals for Electronic Uses. Prince of Songklia University, Hat Yai, Thailand 1991.

Filippov LO, Dehaine Q, Filippova IV. Rare earths (La, Ce, Nd) and rare metals (Sn, Nb, W) as by- products of kaolin production – Part 3: Processing of fines using gravity and flotation. Minerals Engineering. 2016;95:96-106.

Förstner U, Wittmann GT. Metal pollution in the aquatic environment: Springer Science & Business Media, 2012.

Fuerstenau DW. The adsorption of hydroxamate on semi-soluble minerals. Part I: Adsorption on barite, Calcite and Bastnaesite. Colloids and Surfaces. 1983;8:103-19.

Fuerstenau, D. N. And Chander, S., 1985, Thermodynamics of Flotation, Advances in Mineral Processing, Arbiter Symposium, New Orleans, Louisiana, 121-136p.

Fuerstenau DW, Pradip. Zeta potentials in the flotation of oxide and silicate minerals. Advances in Colloid and Interface Science. 2005;114-115:9-26

Ganguli, R., Cook, D. R. (2018). “Rare earths: A review of the landscape.” MRS Energy & Sustainability, Sayı.5.

Gao Y, Gao Z, Sun W, Yin Z, Wang J, Hu Y. Adsorption of a novel reagent scheme on scheelite and calcite causing an effective flotation separation. Journal of Colloid and Interface Science. 2018;512:39- 46.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Gasparini,G.M., 1991, The use of complexing compounds for the separation and refining of metals; The ENEA's R and D activity on processes for the separation, and purification of rare earths: Basic and applied aspects of rare earths 2nd Workshop, TEMAV, p. 18.

Gençtan G., Düşük tenörlü fluorit cevherinin zenginleştirilmesi, 1975

Gerdel, M.A. ve Smith, R.W., 1989, The role of ligmn sülfonate in flotation of bastnasite from barite: Rare Earths, R.G. Bautista and M.M. Wong(eds.), TMS, 36-43.

Gibson CE, Kelebek S, Aghamirian M. Niobium oxide mineral flotation: A review of relevant literature and the current state of industrial operations. International Journal of Mineral Processing. 2015;137:82-97.

Goode JR, Payne R, Gao F, Brown J. The Recovery of Rare Earths, Uranium and Pyrite from Pele Mountain's Proposed Eco Ridge Mine Project. Conference of Metallurgists. Vancouver, Canada 2014.

Grogan R. M., 1960, Fluorspar and Cryolite eh. in İndustrial Minerals and Roks, American İnstitute of Mining, Metallurgical and Petroleum Engineers, New York, 3d ed., 376p.

Guadin A.M. Fluorspar, British Geological Survey, Natural Enviroment Research Council, February 1976.

Gupta SP. Hydroxamic acids: a unique family of chemicals with multiple biological activities: Springer, 2013.

Guy PJ, Bruckard WJ, Vaisey MJ. Beneficiation of Mt Weld Rare Earth Oxides by Gravity Concentration, Flotation and Magnetic Separation. Seventh Mill Operators' Conference. Kalgoorlie, Australia: The Australasian Institute of Mining and Metallurgy, 2000.

Gülovalı, M.Ç., Türkiye toryum cevherinden toryum ve lantanitlerin özütlenmesi: A.Ü.F.F.,Doktora Tezi 1982

Gündüz M., 1995, Eskişehir-Sivrihisar Kompleks Cevherinden Fluorit, Barit ve Bastnazit Kazanılması, MTA, Ankara

Gündüz, M. ve Girgin, İ., 1994, Seperation of Barite and Fluorite From Kızılcaören (Eskişehir) Bastnaesite Ore by Flotation, Proceedings of 5 th International Mineral Processing Symposium Cappadocia, Turkey, Edited by Demirel, H. And Ersayın, S., 275-282 p.

Hadley T, Catovic E. Beneficiation and Extraction of REE from Northern Minerals' Browns Range Heavy Rare Earth Project. Conference of Metallurgists. Vancouver, Canada 2014.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Hanna, H. S. ve Somasundaran, P., 1976, Flotation of Salt Type Minerals, Flotation, A.M. Gaudin Memorial Volume, AIME, New York, 197-255p.

Harada T, Owada S, Takiuchi T, Kurita M. A flotation study for effective separation of the heavy mineral sands. XVIII International Mineral Processing Congress. Vol. 41993. p. 10.

Harbi HM, Eldougdoug AA, El-Shahawi MS. Mineral processing and extraction of rare earth elements from the Wadi Khamal Nelsonite Ore, Northwestern Saudi Arabia. Arabian Journal of Geosciences, 2011;4:353-63.

Harrison RM, Laxen D. Lead pollution. Causes and Control: Springer; 1981.

Houot R, Cuif JP, Mottot Y, Samama JC. Recovery of Rare Earth Minerals with Emphasis on Flotation Process. In: Siribumrungsukha B, Arrykul, S., Sanguansai, P., Pungrassami, T., Sikong, L., Kooptarnond, K., (editor). International Conference on Rare Earth Minerals and Minerals for Electronic Uses. Hat Yai, Thailand 1991. p. 301-24.

Houot R. Beneficiation of phosphatic ores through flotation: Review of industrial applications and potential developments. International Journal of Mineral Processing. 1982;9:353-84.

Hope GA, Woods R, Parker GK, Buckley AN, McLean J. A vibrational spectroscopy and XPS investigation of the interaction of hydroxamate reagents on copper oxide minerals. Minerals Engineering. 2010;23:952-9.

Humphries, M. (2010). Rare earth elements: the global supply chain. Washington Dc: Diane Publishing.

İnan, K., Tanyolu, E., 1982, Mineraloji, Doyuran Matbaası, İstanbul, 315 s.

Jamshidi, E., Ale Ebrahim, H.A. (2008), New clean process for barium carbonate preparation by barite reduction with methane, Chemical Engineering and Processing, 47 (9-10), 1567–1577.

Jeong C, Cho H. Concentration of Rare Earth Elements by Flotation of REE Ores from Mushgai, Khudag Area, Mongolia. XXVII International Mineral Processing Congress. Chile 2014.

Jha, A. R. (2014). Rare Earth Materials Properties And Applications. Florida: CRC Press Taylor & Francis Group

Jordens A, Marion C, Kuzmina O, Waters KE. Physicochemical aspects of allanite flotation. Journal of Rare Earths. 2014;32:476-86.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Jordens A, Cheng YP, Waters KE. A review of the beneficiation of rare earth element bearing minerals. Minerals Engineering. 2013;41:97-114.

Jordens A, Marion C, Grammatikopoulos T, Hart B, Waters KE. Beneficiation of the Nechalacho rare earth deposit: Flotation response using benzohydroxamic acid. Minerals Engineering. 2016;99:158-69.

Jordens A, McCarthy S, Waters KE. The Effect of Activating Ions on the Adsorption of a Benzohydroxamic Acid Collector onto a Rare Earth Silicate. Conference of Metallurgists. Vancouver, Canada 2014.

Jordens A, Zhiyong Y, Cappuccitti F. The Application of Florrea 8920, a New Hydroxamate -Based Flotaiton Collector for the Flotation of Rare Earth Minerals. XXVIII International Mineral Processing Congress Proceedings. Quebec, Canada 2016.

Kasey,J.B.,1956, Method of treating rare earth ores: U.S.A. patent, No.2735747, 5p.

Kayabalı, İ; 1985, Kızılcaören Köyü Civarındaki Komleks Cevher Yatağı Maden Jeolojisi, M. T. A. Raporu, Ankara

Kırıkoğlu, M.S., 1990, Endüstriyel Hammaddeler, İ.T.Ü. Yayını, No: 1418, İstanbul, 55-75s.

Krishnamurthy N. and C. K. Gupta, Extractive metallurgy of rare earths, Taylor Francis, 2015.

Kurama, H., 1991, Oksitli minerallerin flotasyon mekanizması, Anadolu Üni. Maden Müh. Böl. Mesleki gelişme semineri, Esk., 40s.

Kuzvart, M., 1984, Industrial minerals and rocks; Elsevier, London, 445 s.

Lekili, M. (2002), Dolgu maddesi kalitesinde, Maden Bülteni, No: 063.

Li F, Wang J, Zeng X. A Process on the Recovery of RE Minerals With a Chelating Collector. In: Bautista RG, Wong MM, (editors). Rare Earths, Extraction, Preparation and Applications. Warrendale, USA: The Minerals, Metals and Materials Society; 1988. p. 71-9.

Li-Min, S. and Yu, Z.C., 1987, Studies on the application of mixer-settlers with double mixers in each stage to the extraction and separation of rare earth metals: Separation Processes in Hydrometallurgy G.A. Davies(ed.),154- 173.

Li M, Gao K, Zhang D, Duan H, Ma L, Huang L. The influence of temperature on rare earth flotation with naphthyl hydroxamic acid. Journal of Rare Earths. 2018;36:99-107.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Li R. An Investigation into using ionic liquids for rare earth mineral flotation, MEng Thesis. Montreal, Canada: McGill University; 2018.

Lucas, J.; Lucas, P.;Mercier, T.L.; Rollat, A.; Davenport, W. (2015). Rare Earths Science, Technology, Production And Use. Amsterdam: Elsevier.

Lucas, B.H. and Ritcey, G.M., 1975, Examination of a rare earth SX circuit for posible upgrading of the yttrium product:CIM Bulletin, Vol. 68, No:753 124-130.

Luo J, Chen X. Research Into the Recovery of High-Grade Rare-Earth Concentrate From Baotou Complex Iron Ores, China. Mineral Processing and Extractive Metallurgy. 1984:663-75.

Mackey,T.S., 1986, Recent devolepment in U.S.A. rare Earth tecnology; Advances in mineral processing, P.Somasundaran(ed.), AIME, 509-534.

Maden ve Petrol İşleri Genel Müdürlüğü 2020 (http://www.mapeg.gov.tr/maden_istatistik.aspx)

Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü 2020 (https://www.mta.gov.tr/v3.0/bilgi-merkezi/il-maden-potansiyelleri)

Marion C, Li R, Williams H, Hundt D, Waters KE. A physico-chemical investigation into the separation of zircon and quartz by flotation. IMPC 2018 - 29th International Mineral Processing Congress 2019. p. 4062-72.

McEwen R, Hansen GW, Lee GF. Single-Stage Flotation of Alkali Feldspars, Ilmenite, Rutile, Garnet, and Monazite, with Mixed Cationic/Anionic Collectors. Transactions of the Society of Mining Engineers. 1976;260:97-100.

McKetta Jr. and John, J. Encyclopedia of chemical processing and design. (Volume 36 - Phosphorus to Pipeline Failure: Subsidence Strains). CRC press. 1990

Morrice E, Wong MM. Flotation of Rare Earths From Bastnasite Ore United States Department of the Interior Bureau of Mines; 1982.

M.T.A., 1979, Türkiye Fluorit Envanteri, Maden Tetkik Arama Enstitüsü Yayını, No:176, Ankara, 32s.

Murthy, J. S. N., Reddy, P.V.V. (2012), Solid-state reaction between barium sulfate and carbon, Chemical Engineering Communications, 199 (8) 966-990.

Musson, G.H., 1977 Fluorspar, SME Mineral Processing Handbook. Weiss, N.L., Editoar, Volume 2, Section 23, 9p.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Nadeau O, Cayer A, Pelletier M, Stevenson R, Jébrak M. The Paleoproterozoic Montviel carbonatite-hosted REE–Nb deposit, Abitibi, Canada: Geology, mineralogy, geochemistry and genesis. Ore Geology Reviews. 2015;67:314-35.

Nagaraj D. The chemistry and application of chelating or complexing agents in minerals separations. Reagents in mineral technology: Routledge; 2018. p. 273-350.

Negeri T, Boisclair M. Flotation-Magnetic Separation Hybrid Process for Concentration of Rare Earth Minerals Contained in a Carbonatite Ore. XXVIII International Mineral Processing Congre ss Proceedings. Quebec, Canada 2016.

O' Driscoll,M., 1988, Rare earths enter the dragon: Industrial Minerals, 21-55.

Owens CL, Nash GR, Hadler K, Fitzpatrick RS, Anderson CG, Wall F. Zeta potentials of the rare earth element fluorcarbonate minerals focusing on bastnäsite and parisite. Advances in Colloid and Interface Science. 2018;256:152-62.

Önal, G., 1980, Flotasyon dışındaki cevher hazırlama yöntemleri, İ.T.Ü. Maden Fakültesi, İstanbul, 70-146s.

Özcan, Ö., Bulutcu, A. N., Recepoğlu, O, ve Tolun, R., 1988, Flotation of Fluorite and Scheelite by Oleoyl Sarcosine, 2. Uluslararası Cevher Hazırlama Sempozyumu, Aytekin, Y., Editor, İzmir, 197-207 p.

Özdağ, H., 1991, Gravite ayırması, Anadolu Ün. Mad. Müh. Bölümü Mesleki gelişme semineri, Esk., 37s.

Palmer BR, Gutierrez BG, Fuerstenau MC. Mechanisms involved in the flotation of oxides and silicates with anionic collectors Part I. Transactions of the Metallurgical Society of AIME. 1973;258:257- 60.

Pavez O, Peres AEC. Effect of sodium metasilicate and sodium sulphide on the floatability of monazite-zircon-rutile with oleate and hydroxamates. Minerals Engineering. 1993;6: 69-78.

Pavez O, Peres AEC. Technical note bench scale flotation of a brazilian monazite ore. Minerals Engineering. 1994;7:1561-4.

Pavez O, Brandao PRG, Peres AEC. Adsorption of oleate and octyl-hydroxamate on to rare-earths minerals. Minerals Engineering. 1996;9:357-66.

Pavez O, Peres A. Flotation of monazite-zircon-rutile with sodium oleate and hydroxamates. XVIII International Mineral Processing Congress, Sydney. Vol. 4 1993. p. 1007-12.

Pereira CA, Peres AEC. Flotation concentration of a xenotime pre -concentrate. Minerals Engineering. 1997;10:1291-5.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Polkin SI, Ilie P, Solnyshkin VI, Zakharov AE. Selective Desorption of Sodium Oleate from Pyrochlore, Zircon and Monazite by Sodium Sulfide. In: Plaksin IN, (editor). Flotation Properties of Rare Metal Minerals. New York, USA: Primary Sources; 1967. p. 46-56.

Pope MI, Sutton DI. The correlation between froth flotation response and collector adsorption from aqueous solution. Part I. Titanium dioxide and ferric oxide conditioned in oleate solutions. Powder Technology. 1973;7:271-9.

Pradip, Fuerstenau DW. The adsorption of hydroxamate on semi-soluble minerals. Part I: Adsorption on barite, Calcite and Bastnaesite. Colloids and Surfaces. 1983;8:103-19.

Pradip, Fuerstenau DW. Adsorption of hydroxamate collectors on semisoluble minerals Part II: Effect of temperature on adsorption. Colloids and Surfaces. 1985;15:137-46.

Pradip, Fuerstenau DW. The role of inorganic and organic reagents in the flotation separation of rare-earth ores. International Journal of Mineral Processing. 1991;32:1-22.

Rao SR. Surface chemistry of froth flotation: volume 1: fundamentals: Springer Science & Business Media; 2013.

Ren J, Wang W, Luo J, Zhou G, Tang F. Progress of Flotation Reagents of Rare Earth Minerals in China. Journal of Rare Earths. 2003;21:1-8.

Ritchey, G.M. ve Ashbrook, A.W., 1979, Solvent Extraction, Elsevier scientific publishing company.

Sarvaramini A, Azizi D, Larachi F. Hydroxamic acid interactions with solvated cerium hydroxides in the flotation of monazite and bastnäsite—Experiments and DFT study. Applied Surface Science. 2016;387:986-95.

Satur JV, Calabia BP, Hoshino M, Morita S, Seo Y, Kon Y, et al. Flotation of rare earth minerals from silicate–hematite ore using tall oil fatty acid collector. Minerals Engineering. 2016;89:52-62.

Somasundaran, P. And Ananthapadmanabhan, K. P., 1985, Solution Chemistry of Flotation, Advences in Mineral Processing, Arbiter Symposium, New Orleans, Louisiana, 137-150 p.

Spedding, F.H. and Powell,J,E., 1954, Methods for separating rare earth elements in quantity as developed at Iowa State College: Journal of Metals, Vol.200,1131-1135.

Sreenivas T, Padmanabhan NPH. Surface chemistry and flotation of cassiterite with alkyl hydroxamates. Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects. 2002;205:47-59.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Shufang, H. and Sheng, L., 1988, Research on flotation of bastnasite from monazite: Rare Earth-W, Ti, Zr, RE, Sb'1988,.360-364.

Sorensen E, Lundgaard T. Selective flotation of steenstrupine and monazite from Kvanefjeld Lujavrite – report for the Danish atomic energy commission. Roskilde: Danish Atomic Energy Commission; 1966.

Sun X, Ji Y, Chen J, Ma J. Solvent impregnated resin prepared using task-specific ionic liquids for rare earth separation. Journal of Rare Earths. 2009;27:932-6.

Sun X, Waters KE. Development of Industrial Extractants into Functional Ionic Liquids for Environmentally Friendly Rare Earth Separation. ACS Sustainable Chemistry & Engineering. 2014;2:1910- 7.

Sun X, Luo H, Dai S. Solvent extraction of rare-earth ions based on functionalized ionic liquids. Talanta. 2012;90:132-7.

Sutherland, K. L. And Wark, W. I., 1955, Principles of Flotation, Division of Industrial Chemistry, C.S.I.R.O., Australasion İnstitue of Mining and Metallurgy.

Tarhan, M., Gülovalı,M.Ç. ve Somer,Ş.N., 1983, Toryum ve lantanitlerin özütlenmesi; Türkiye'nin U ve Th kaynaklarının değerlendirilmesi semineri tebliğleri, 353-361.

Tolun, R. Ve Enuysal, M., vd., 1980, Fluorit-Kalsit Mineral Karışımının Selektif Flotasyonu ve Türkiye'deki Cevherlere Uygulaması, T.B.T.A.K., Proje No: 267, MAG. No:8, 41s.

Tsunekawa,M., Takamori,T. and Yuan,Z.Z., 1988, Some chemical properties of collectors to be used for selective flotation of rare earth minerals: Rare Earths-W, Th, Zr, RE, Sb'1988, 383-388

U.S. Geological Survey, Mineral Commodity Summaries, January 2022 (https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2023/mcs2023-barite.pdf)

Uras, Y., 2007. Pöhrenk (Kırşehir) Florit Yataklarının Kökensel İncelenmesi. Yayınlanmamış Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana

Yang X, Satur JV, Sanematsu K, Laukkanen J, Saastamoinen T. Beneficiation studies of a complex REE ore. Minerals Engineering. 2015;71:55-64.

Yıldız, N. (2014). Cevher Hazırlama ve Zenginleştirme. Ankara

Yu B, Oyediran YO, Robart M. Flotation Development Testwork on REE Samples from the Strange Lake Alkalic Complex. XXVIII International Mineral Processing Congress Proceedings Quebe c, Canada 2016.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Yu J, Ge Y, Hou J. Behavior and mechanism of collophane and dolomite separation using alkyl hydroxamic acid as a flotation collector. Physicochemical Problems of Mineral Processing. 2016;52.

Wang CH, Qiu XY, Hu Z, Li HW, Wang T, Zou JJ. Study on Improved Beneficiation Technology for Rare Earth Ores. XXVI International Mineral Processing Congress. New Deli, India 2012.

Williams, R.L., 1967, Resonnaissance of yttrium and rare-earth resources in Northern New Jersey: Bureau of Mines report, RI6885.

Xia L, Hart B, Loshusan B. A Tof-SIMS analysis of the effect of lead nitrate on rare earth flotation. Minerals Engineering. 2015;70:119-29.

Xinmen, Z. ve Linsen,L., 1988, Discussion on the regularites and mechanism of the flotation seperation of bastnasite and monazite: Rare Earths-W, Ti, Zr, RE, Sb'1988,354-359.

Zadra, J.B., Engel,A-L., Shedd,E.S. and Rice,A.C., 1952, Concentration of bastnasite and other cerium ores with analytical methods: Bureau of mines report, RI 4919,15p.

Zakharov AE, Ilie P, POLKIN SI, Solnyshkin VI. Reaction of sodium sulfide with pyrochlore, zircon, and monazite in flotation with sodium oleate. In: Plaksin IN, (editor). Flotation Properties of Rare Metal Minerals. New York, USA: Primary Sources; 1967. p. 71-82.

Zhang J, Edwards C. A review of rare earth mineral processing technology. 44th Annual Meeting of The Canadian Mineral Processors. Ottawa, Canada 2012.

Zhang, J.; Zhao, B.; Schreiner, B. (2016). Separation hydrometallurgy of rare earth elements. Switzerland: Springer International Publishing.

Zhang W, Honaker R. A fundamental study of octanohydroxamic acid adsorption on monazite surfaces. International Journal of Mineral Processing. 2017;164:26-36.

Zhang W, Honaker RQ, Groppo JG. Flotation of monazite in the presence of calcite part I: Calcium ion effects on the adsorption of hydroxamic acid. Minerals Engineering. 2017;100:40-8.

Zhang W, Honaker RQ. Flotation of monazite in the presence of calcite part II: Enhanced separation performance using sodium silicate and EDTA. Minerals Engineering. 2018; 127:318-28.

Zhang Y, Anderson C. A comparison of sodium silicate and ammonium lignosulfonate effects on xenotime and selected gangue mineral microflotation. Minerals Engineering. 2017;100:1-8.