



**EMET KOLEMANİT ZENGİNLEŞTİRME TESİSİ
DÜŞÜK TENÖRLÜ KONSANTRESİNİN BOR
İÇERİĞİNİN YÜKSELTİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Sibel TOK

DANIŞMAN
Dr. Öğr. Üyesi Zehra Ebru SAYIN

MADEN MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI
Haziran 2018

Bu tez çalışması 16.FEN.BİL.37 Numaralı proje ile BAPK tarafından desteklenmiştir.

AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**EMET KOLEMANİT ZENGİNLEŞTİRME TESİSİ DÜŞÜK
TENÖRLÜ KONSANTRESİNİN BOR İÇERİĞİNİN
YÜKSELTİLMESİ**

Sibel TOK

DANIŞMAN

Dr. Öğr. Üyesi Zehra Ebru SAYIN

MADEN MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

Haziran 2018

TEZ ONAY SAYFASI

Sibel TOK tarafından hazırlanan “Emet Kolemanit Zenginleştirme Tesisi Düşük Tenörlü Konsantresinin Bor İçeriğinin Yükseltilmesi” adlı tez çalışması lisansüstü eğitim ve öğretim yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca 25/06/2018 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Maden Mühendisliği **Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Dr. Öğr. Üyesi Zehra Ebru SAYIN

Başkan : Dr. Öğr. Üyesi Yaşar Hakan GÜRSOY
Eskişehir Osmangazi Ünv. Mühendislik Fakültesi,

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Zehra Ebru SAYIN
Afyon Kocatepe Ünv. Mühendislik Fakültesi,

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Muhammed Fatih CAN
Afyon Kocatepe Ünv. Mühendislik Fakültesi,

Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Yönetim Kurulu’nun
..... tarih ve
..... Sayılı kararıyla onaylanmıştır.

.....
Enstitü Müdürü
(Prof. Dr. İbrahim EROL)

BİLİMSEL ETİK BİLDİRİM SAYFASI
Afyon Kocatepe Üniversitesi

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

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

beyan ederim.

25/06/2018

İmza

Sibel TOK

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

EMET KOLEMANİT ZENGİNLEŞTİRME TESİSİ DÜŞÜK TENÖRLÜ KONSANTRESİNİN BOR İÇERİĞİNİN YÜKSELTİLMESİ

Sibel TOK

Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Maden Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Zehra Ebru SAYIN

Dünyada önemli yere sahip olan bor rezervlerimizin etkin üretim yöntemleri ile üretilmesi önem arz etmektedir. Eti Maden İşletmeleri Emet Konsantratör Tesisi'nden temin edilen düşük tenörlü -3 mm tane boyutunda %32-36 B₂O₃ tenör aralığındaki yıkanmış ürün, satılabilir tenörde olmaması nedeniyle stokta bekletilmektedir. Üretimin yaklaşık %5'ini alan bu kısım, yılda 70.000-80.000 ton civarına ulaşmaktadır. Devam eden üretim ile yaklaşık 800.000 ton birikmiş ürün stokta bekletilmektedir.

Araştırmada, düşük tenörlü olması nedeniyle satışı mümkün olmayan 0-3 mm tane boyutundaki malzemenin B₂O₃ değerinin yükseltilerek satılabilir tenöre getirilmesi hedeflenmiştir. Bu kapsamda yapılan ilk araştırma kil açma/dağıtma çalışmalarıdır. Malzemenin elek analizi sonuçları dikkate alınarak cihazlar ve çalışma tane boyutları belirlenmiştir. Araştırmada; Sallantılı Masa, Multi Gravite Seperatör (MGS) ve Falcon Gravite Konsantratör ile çalışılmış ve en uygun sonuçlara MGS ile ulaşılmıştır. -1 mm tane boyutuna elenen, %27 B₂O₃ tenörlü malzeme, MGS ile 260 dev/dk tambur hızında, 4 l/dk su miktarında, 4 dev/sn frekans ve 20 mm genlik değerinde çalışılarak, %44,93 B₂O₃ tenörlü konsantre, %97,51 verim ile elde edilmiştir.

2018, xi + 82 sayfa

Anahtar Kelimeler: Kolemanit, MGS, Falcon Gravite Konsantratör, Sallantılı Masa.

ABSTRACT

M.Sc Thesis

THE BORON CONTENT ENHANCEMENT OF EMET COLEMANITE ENRICHMENT FACILITY LOW GRADE CONCENTRATE

Sibel TOK

Afyon Kocatepe University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Mining Engineering

Supervisor: Asst. Prof. Zehra Ebru SAYIN

It is important to produce with important production methods for our boron reserves having an important position in the world. The low grade product obtained from the Eti Mine Operations Emet Concentrator Plant and having a -3 mm grain size and washed in the 32-36% B₂O₃ grade range is kept in the stock because it is not in a sellable grade. This part, which is about 5% of the production, reaches around 70,000-80,000 tons per year. With ongoing production,, approximately 800,000 tonnes of accumulated product is kept as low-grade concentrate in stock.

In the study, it was aimed to make sellable the material in the range of 0-3 mm size, which can not be sold due to its low grade, by increasing the value of B₂O₃ of material. The first research carried out in this context is the clay-spreading and dispersal studies. Devices and working grain sizes were determined taking into account the sieve analysis results of the material. In the study; Shaking Table, Multi Gravite Separator (MGS) and then Falcon Gravite Concentrator and the most suitable results were reached with MGS. With a grade of 27% B₂O₃, MGS at 260 rpm, 4 l/min wash water, 4 g/s frequency and 20 mm amplitude, 44,93% B₂O₃ grade concentrate, 97,51% yield.

2018, xi + 82 pages

Keywords: Colemanite, MGS, Falcon Gravity Concentrator, Shaking Table.

TEŞEKKÜR

Bu araştırmanın konusu, deneysel çalışmaların yönlendirilmesi, sonuçların değerlendirilmesi ve yazımı aşamasında yapmış olduğu büyük katkılarından dolayı tez danışmanım Sayın Dr. Öğr. Üyesi Zehra Ebru SAYIN'a, tez çalışmamda maddi destek sağlayan 16.FEN.BİL.37 numaralı proje ile Üniversitemiz BAPK Birimine, desteklerinden dolayı Eti Maden İşletmeleri Emet Bor İşletme Müdürlüğü, İşletme Müdür Yardımcısı. Doç. Dr. Mehmet SAVAŞ'a, tez çalışmam boyunca benden maddi, manevi desteğini, emeğini ve her konuda öneri ve eleştirileriyle yardımlarını esirgemeyen eşim Turgut TOK'a, deneysel çalışmalarım sırasında yardımlarını gördüğüm hocalarıma teşekkür ederim.

Araştırmam boyunca moral ve motivasyon olarak hep arkamda olan anneme, babama ve kardeşlerime teşekkür ederim.

Sibel TOK
AFYONKARAHİSAR, 2018

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	Sayfa
ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ	ix
RESİMLER DİZİNİ	xi
1. GİRİŞ	xi
2. LİTERATÜR BİLGİLERİ	3
3. BOR HAKKINDA GENEL BİLGİLER	6
3.1 Bor'un Tarihi	6
3.2 Bor'un Özellikleri	6
3.3 Doğada Bor Minerallerinin Oluşumu	7
3.4. Türkiye Bor Yatakları	8
3.5 Bor Rezervleri	9
3.6 Bor Ürünleri ve Üretim Yöntemleri	10
3.7 Bor Ürünlerinin Kullanım Alanları	13
4. ZENGİNLEŞTİRME YÖNTEMLERİ	15
4.1. Gravite Yöntemi ile Zenginleştirme	16
4.1.1 Sallantılı masa	17
4.1.2 Multi gravite seperatör (MGS)	20
4.1.3 Falcon gravite seperatör	24
5. ETİ MADEN EMET BOR İŞLETME TESİSİ	29
5.1 Espey Açık Ocak ve Konsantratör Tesisi	30
6. MATERYAL ve METOT	32
6.1 Numune Temin ve Hazırlama	33
6.2 Karakterizasyon çalışmaları	34
6.2.1 Mineralojik analiz	35
6.2.2 Kimyasal analiz	35
6.2.3 Elek-Metal analizi	36
6.3. Deneysel Çalışmaların Tasarlanması	38
6.4. Mekanik Karıştırıcıda Kil Açma Çalışması	39
6.4.1 %30 Katı Oranında Mekanik Karıştırıcıda Kil Açma Deneyleri	41
6.4.2 %50 Katı Oranında Mekanik Karıştırıcıda Kil Açma Deneyleri	42

6.4.3 %70 Katı Oranında Mekanik Karıştırıcıda Kil Açma Deneyleri	44
6.4.4 Katı Oranlarının Belirlenmesi	45
7. ARAŞTIRMA ve BULGULAR	47
7.1 Sallantılı Masa ile Yapılan Çalışmalar	47
7.1.1 Sallantılı Masa ile Kil Atma Çalışması	49
7.1.2 Sallantılı Masa ile Zenginleştirme	50
7.2 Multi Gravite Seperatör (MGS) Deneysel Çalışmaları	54
7.3 Falcon Gravite Seperatör Deneysel Çalışmaları	62
8. SONUÇLAR ve TARTIŞMA	71
9. KAYNAKLAR	77
ÖZGEÇMİŞ	82



SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

B	Bor
μm	Mikrometre
dev/dk	Devir/dakika
dev/sn	Devir/saniye
t/s	Ton/saat
l/dk	Litre/dakika
B_2O_3	Bor Oksit
HCl	Hidroklorik Asit
NaOH	Sodyum Hidroksit
H_2O_2	Hidrojen Peroksit

Kısaltmalar

TMMOB	Türk Mühendis ve Mimar Odaları Birliği
BOREN	Ulusal Bor Araştırma Enstitüsü
XRD	X Işını Difraksiyon Spektroskopisi
XRF	X Işını Floresans Spektroskopisi
MGS	Multi Gravite Seperatör
G	Gravite Kuvvet
PKO	Pülpte Katı Oranı
EA	Elek Altı
ΣEA	Toplamalı Elek Altı
EÜ	Elek Üstü
BM	Besleme Malı

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 3.1 Elementel borun görüntüsü	6
Şekil 3.2 Borun kristal yapısı	6
Şekil 3.3 Neojen havzalarındaki bor yataklarının oluşumu	8
Şekil 3.4 Bor ürünleri akım şeması	13
Şekil 3.5 Dünya bor tüketiminin sektörel dağılımı	14
Şekil 4.1 Akışkan ortamlarda malzeme davranışı	17
Şekil 4.2 Akan su tabakasında katı hareketi üzerindeki eşik etkisi	20
Şekil 4.3 Laboratuvar tipi MGS ünitesi şematik gösterimi	21
Şekil 4.4 MGS'nin şematik görünümü	21
Şekil 4.5 Falcon gravite Seperatörün şematik görünümü	24
Şekil 4.6 Falcon seperatör ayırma haznesi	25
Şekil 4.7 Falcon seperatörün ayırma zonlarının şematik görünümü	26
Şekil 4.8 Falcon gravite seperatörde zenginleştirmenin şematik görünümü	27
Şekil 5.1 Espey konsantratör tesisi akım şeması	32
Şekil 6.1 Numunenin XRD analiz grafiği	35
Şekil 6.2 Elek- Metal eğrisi	37
Şekil 6.3 Deneysel çalışmalara ait akım şeması	39
Şekil 6.4 %30 katı oranında tane boyutuna bağlı Σ elek altı %Ağ eğrisi	42
Şekil 6.5 %50 katı oranında tane boyutuna bağlı Σ elek altı %Ağ eğrisi	43
Şekil 6.6 %70 katı oranında tane boyutuna bağlı Σ elek altı %Ağ eğrisi	45
Şekil 6.7 %50 katı oranında toplamalı elek altı dağılımı	46
Şekil 7.1 Sallantılı masa deneysel akım şeması	48
Şekil 7.2 MGS deneysel akım şeması	55
Şekil 7.3 Değişen katı oranı değerlerine göre tenör-verim eğrisi	57
Şekil 7.4 Değişen tambur devri (dev/dk) değerlerine göre tenör-verim eğrisi	58
Şekil 7.5 Değişen su basıncı (l/dk) değerlerine göre tenör-verim eğrisi	59
Şekil 7.6 Değişen genlik (mm) değerlerine göre tenör-verim eğrisi	60

Şekil 7.7 Değişen frekans (dev/sn) değerlerine göre tenör-verim eğrisi	61
Şekil 7.8 Falcon Gravite Seperatör deneysel akım şeması.....	62
Şekil 7.9 99 G (45 Hz) tenör - verim eğrisi.....	65
Şekil 7.10 123 G (50 Hz) tenör - verim eğrisi	66
Şekil 7.11 148 G (55Hz) tenör - verim eğrisi	67
Şekil 7.12 176 G (60 Hz) tenör - verim eğrisi	68
Şekil 7.13 200 G (63,89 Hz) tenör – verim eğrisi	69
Şekil 7.14 Deneysel çalışmalara ait akım şeması.....	71
Şekil 7.15 Önerilen örnek bir akım şeması	72



ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 3.1 Bor Minerallerinin Bulunduğu Yerler.....	8
Çizelge 3.2 Mineral Bazında Rezerv Miktarları	9
Çizelge 3.3 Dünya Bor Rezervleri	10
Çizelge 3.4 Bor Mineralleri ve Bileşiklerinin Kullanım Alanları	14
Çizelge 6.1 Numunenin Kimyasal Bileşimi	36
Çizelge 6.2 Elek Metal Analizi	37
Çizelge 6.3 Numunenin Kimyasal Bileşimin Tane Fraksiyonuna Göre Dağılımı	38
Çizelge 6.4 Mekanik Karıştırıcı Devir Hızları	41
Çizelge 6.5 %30 PKO Mekanik Karıştırıcı Sonucu Tane Boyut Dağılımı	42
Çizelge 6.6 %50 PKO Mekanik Karıştırıcı Sonucu Tane Boyut Dağılımı	43
Çizelge 6.7 %70 PKO Mekanik Karıştırıcı Sonucu Tane Boyut Dağılımı	44
Çizelge 7.1 Sallantılı Masa Çalışma Parametreleri	47
Çizelge 7.2 Kil Atma Parametreleri	49
Çizelge 7.3 Kil Atma Deneyi Sonuçları	50
Çizelge 7.4 Sallantılı Masada Farklı Su Miktarında Tenör-Verim Değerleri	51
Çizelge 7.5 Sallantılı Masada Farklı Eğimlerde Tenör-Verim Değerleri	52
Çizelge 7.6 Sallantılı Masada Farklı Hızlarda Tenör-Verim Değerleri	53
Çizelge 7.7 Farklı Genliklerde Tenör - Verim Değerleri	54
Çizelge 7.8 MGS Çalışma Parametreleri	55
Çizelge 7.9 MGS Farklı Katı Oranlarında Tenör - Verim Değerleri	57
Çizelge 7.10 MGS Farklı Tambur Devri Tenör - Verim Değerleri	58
Çizelge 7.11 MGS Farklı Su Basınçlarında Tenör - Verim Değerleri	59
Çizelge 7.12 MGS Farklı Genliklerde Tenör - Verim Değerleri	60
Çizelge 7.13 MGS Farklı Frekanslarda Tenör - Verim Değerleri	61

Çizelge 7.14 Falcon Gravite Seperatör Çalışma Parametreleri	63
Çizelge 7.15 Falcon Gravite Seperatör G Kuvveti Değişimi	64
Çizelge 7.16 99 G Kuvvetinde Tenör – Verim Değerleri	65
Çizelge 7.17 123 G Kuvvetinde Tenör – Verim Değerleri	66
Çizelge 7.18 148 G Kuvvetinde Tenör – Verim Değerleri	67
Çizelge 7.19 176 G Kuvvetinde Tenör – Verim Değerleri	68
Çizelge 7.20 200 G Kuvvetinde Tenör – Verim Değerleri	69
Çizelge 7.21 Zenginleştirme Çalışmaları Sonucu En Uygun Tenör - Verim Değerleri	70

RESİMLER DİZİNİ

	Sayfa
Resim 3.1 Kolemanit genel görünüm.....	11
Resim 3.2 Tinkal genel görünüm	11
Resim 3.3 Üleksit genel görünüm	11
Resim 4.1 Sallantılı masa genel görünümü	18
Resim 4.2 Sallantılı masa yüzeyi	19
Resim 4.3 MGS yoğun malzeme çıkış kısmı ve iç dizaynındaki küreyiciler	22
Resim 4.4 Pilot ölçekli MGS cihazı.....	23
Resim 4.5 MGS karıştırıcı hazne	23
Resim 4.6 Laboratuvar ölçekli Falcon Gravite Seperatör.....	27
Resim 4.7 Endüstriyel ölçekli Falcon Gravite Seperatör	28
Resim 5.1 Eti Maden espey açık ocak ve borik asit tesisin uydu görüntüsü	29
Resim 5.2 Emet bor işletme tesisi genel görünüm.....	30
Resim 5.3 Espey açık işletme genel görünüm	30
Resim 5.4 Espey konsantratör tesisi genel görünüm	31
Resim 6.1 Espey konsantratör tesisi stok sahası	33
Resim 6.2 Deneysel çalışmalar için getirilen kolemanit numunesi	34
Resim 6.3 Mekanik karıştırıcı genel görüntü ve karıştırıcı pervane tipi	40
Resim 6.4 Mekanik karıştırıcıda numune hazırlama	40
Resim 7.1 Holman Wilfley 800 model laboratuvar/pilot ölçekli sallantılı masa.....	48
Resim 7.2 MGS kalibrasyon şeması	56

1. GİRİŞ

Türkiye’de bilenen bor yatakları özellikle Kırka/Eskişehir, Bigadiç-Susurluk/Balıkesir, Kestelek/Bursa ve Emet/Kütahya’da bulunmaktadır. Türkiye’de rezerv açısından en çok bulunan bor cevherleri kolemanit ($2\text{CaO} \cdot 3\text{B}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) ve tinkal ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$)’dir. Türkiye’de önemli tinkal yatakları Kırka’da kolemanit yatakları ise Emet ve Bigadiç civarında bulunmaktadır. Bigadiç de az miktarda üleksit rezervi, Kestelek’te ise bazen üleksit yan ürün olarak elde edilmektedir.

Dünya bor rezervlerinin %72’sine sahip olan Türkiye, rezerv ve cevher kalitesi bakımından da çok önemli bir paya sahiptir. %72’lik oran ile Türkiye, dünyanın en büyük bor rezervlerine sahip olurken dünyada en çok bor kimyasalı üreten ülke konumundadır. Dünyadaki önemli bor yatakları Türkiye, Rusya ve ABD’dedir. Dünya ticari bor rezervleri ABD, Kaliforniya Eyaletinin güneyinde yer alan ‘Mojoba Çölü’, Güney Amerikada yer alan ‘And Kemer’i, Türkiye’nin yer aldığı ‘Güney-Orta Asya Orojenik Kemer’i ve Doğu Rusya olmak üzere 4 bölgede toplanmaktadır (Eti Maden 2018).

Ülkemizde üretilen işlenmemiş bor mineral ve maden üretiminin %80-85 rafine edilmiş bor ürünlerinin ise %70-80 talep fazlası olduğundan ihraç edilmektedir. Bor’un tüm özellikleri, çeşitliliği ve rezervlerinin yüksek olması nedeniyle Türkiye’deki bor mineral ve konsantrelerin üretim maliyetleri, diğer üretici ülkelere göre düşüktür. Dolayısı ile üretilen bor mineralleri dünya pazarlarında tercih edilmektedir. Bununla birlikte kaynakların etkin kullanımı açısından üretim koşulları gözden geçirilmelidir. Büyük üretim kayıp ve kaçakları bulunduğundan bu konuda araştırma ve geliştirilme yapılması gerekmektedir. Dünya ekonomisinin hızla şekil değiştirmesi nedeniyle rezervlerin etkin kullanımı ülke kaynaklarının rekabet edebilecek şekilde üretiminin irdelenmesi bir zorunluluktur (DPT 2001).

Bor mineralleri, maden yatakları genellikle killi ile birlikte bulunduğu ve tabakalı yapı gösteren bu yataklarda selektif madencilik yöntemleri uygulanamadığından, tüvenan bor cevherleri iri boyutta yan taşlarından kolayca

arındırılmasına rağmen, tane boyutu incelidikçe killerin bor mineralleri yüzeyine daha fazla yapışması bor minerallerinin kazanımını zorlaştırmaktadır. Mekanik aşındırma deneyleri bu zorlukların çözümü için bir alternatif yöntem oluşturmaktadır. Zenginleştirme tesislerinde, bor minerallerinde kil oluşumunun yaygın olarak bulunması nedeniyle mekanik aşındırıcılar ön konsantre üretmek amacıyla kullanılmaktadır. Aşındırma ile dağıtma işlemi, yüksek devirde çalışan pervaneler aracılığıyla ortam karıştırılmakta ve yüzeyleri kille kaplı cevher parçalarının taşıdığı kil, sürtünme ve darbe etkisi ile dağılmaktadır. Dağılan kil ve bor ise elenerek birbirinden ayrılmaktadır (Yegül 2007).

Bu çalışmanın amacı da, bor madenlerinin ülkemiz için önemine istinaden, kaynakların etkin ve verimli kullanılması açısından Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü Emet Bor İşletmesi zenginleştirme tesisindeki, %32-36 B_2O_3 tenör aralığında bulunan kolemanit yıkama tesisindeki -3 mm ürünü kilden uzaklaştırarak bor içeriğinin yükseltilmesi hedeflenmiştir.

Deneyisel çalışmalarda ilk olarak numunelere, çeşitli katı oranlarında ve karıştırma hızında mekanik aşındırma-dağıtma testleri yapılmıştır. Daha sonra yüksek tenörlü bir nihai ürün elde etmek amacıyla kolemanit yıkama tesisindeki düşük tenörlü ürünün gravite yöntemler ile zenginleştirilmesi hedeflenmiştir. Zenginleştirme cihazları karşılaştırmalı olarak tenör ve verim açısından incelenmiştir.

2. LİTERATÜR BİLGİLERİ

Bu bölümde literatürde şimdiye kadar yapılan çalışmalar derlenmeye çalışılmıştır. Çeşitli çalışmalar incelenmiş ve kil atmanın önemi vurgulanmıştır.

Emet kolemanit işletmesinin atıkları içerisindeki borların kazanılması amacıyla yapılan manyetik ayırma ve kalsinasyon zenginleştirme çalışmaları %71,94 verimle %41-42 B_2O_3 tenörlü konsantreler manyetik seperatörde kazanılmış, %65,89 verimle %57 B_2O_3 tenörlü konsantreler ise kalsinasyon çalışmaları sonucunda elde edilmiştir. Konsantrelerdeki demir ve arsenik içeriklerinin ise düşürüldüğü bildirilmiştir (Erkal ve Girgin 1992, Yamık 1998).

Sönmez vd. (1997), tesis ilk iri atıkları ile yaptıkları çalışmada, suda bekletme ardından mekanik dağıtma ve takiben manyetik seperatörde ayırma deneylerinin sonucunda başlangıçta %22-23 B_2O_3 tenörlü atığı %39,17 B_2O_3 tenörlü konsantreye dönüştürerek %64,73 B_2O_3 verim ile elde etmişlerdir. Diğer bir çalışmasında ise suda bekletme çalışmasını takiben mekanik karıştırıcıda açma/dağıtma sonrası ultrasonik dalgalarla zenginleştirme deneyleri yapılmışlardır. Yapılan çalışma sonucunda %83,79 B_2O_3 verimiyle %36,04 B_2O_3 tenörlü konsantre elde etmişlerdir. Demir ve arsenik içerikleri beslenen malzeme ile karşılaştırıldığında azaldığı tespit edilmiştir.

Çolak ve Mordoğan (1997), çalışmalarında Emet bölgesi Hisarcık kolemanit yatağını incelemişler ve bu yataktaki kil mineralinin %60-90 oranında simektit (Li içerikli saponit) olduğunu tespit etmişlerdir.

Yegül (2007), tarafından yapılan bir çalışmada, mekanik dağıtma ve yıkama işleminde ağırlıkça %75 katı, 1700 dv/dk ve 30 dk süreyi içeren testler sonucunda Simav ocağı kolemanit cevherinden %90,84 B_2O_3 verimle %41,72 B_2O_3 tenörlü konsantre elde edilirken, Acep ocağı üleksit cevherinden ise %80,48 B_2O_3 verimle %35,48 B_2O_3 tenörlü konsantre elde edilmiştir.

Aytekin vd. (1988) ve Yarar (1973) ayrı ayrı yapmış oldukları çalışmalarında, flotasyon yöntemi ile araştırılan bor zenginleştirmesinin öncelikle malzemenin mekanik karıştırıcı ile dağıtma işlemine tabi tutulması ardından sınıflandırma yöntemi ile kil içerikli şlamın uzaklaştırılması ve kili uzaklaştırılmış bor pülpte katı oranı ile çalışılması gerektiğinden bahsetmişlerdir.

Aytekin ve Bodruk (1992), Tübitak kapsamında yapmış oldukları kalsinasyon ile zenginleştirme çalışmalarında; konsantre, düşük tenörlü cevher ve atıkları kullanmışlardır. Araştırmalarında bor atıkları içindeki borun kalsinasyon yöntemi ile kilinden ayrılarak kazanılabileceğini göstermişlerdir.

Yalçın ve Gündoğdu (1985), yaptığı çalışmada ise simektit minerallerinin demir ve alüminyumca zengin olduğu belirtilmektedir.

Eti Maden (2010), bor sektörünün gelişimi hakkındaki raporunda, tüm tesislerde bor konsantresi üretiminde su ile yıkama yapılarak killi malzemenin uzaklaştırıldığını ve bu işlemi takiben boyuta göre sınıflandırma yapılarak kaba ve ince kilin uzaklaştırıldığından bahsedilmektedir. Bu ayrımın sonucunda ise büyük miktarlarda kaba ve ince artık depolarının oluştuğu bildirilmektedir. Atıklarla birlikte büyük oranda borun da kaybedildiğini ve bu durumun önem arz ettiğini bildirerek, artıkların stoklama ve çevre kirliliği sorunlarına neden olduğunu da raporunda açıklamaktadır.

Traher ve Warren (1976), çalışmalarında, kolemanit yüzeyine kilin yapışmasını flotasyon uygulamalarında şlam ile kaplama olarak tanımlamıştır. Bu durum ise reaktiflerin yüzdürülmek istenen bor mineralinin yüzeyine adsorplanmasını engellediğini ve sonuç olarak da verimi önemli derecede düşürdüğünü belirtmişlerdir.

Uçar vd. (2008), yapmış oldukları çalışmada, -3 mm atıkların flotasyonla zenginleştirilebilirliğini araştırmışlardır. Atık barajından alınan %26,3 B₂O₃ tenörlü numunenin flotasyonla zenginleştirilebilirliği araştırılmıştır. Zenginleştirilmesi sonucunda %46,23 B₂O₃ tenörlü konsantre %99,35 verimi ile elde edilmiştir.

Atık tenörü %1,22 B₂O₃'dir. Elde edilen konsantrenin genel beslemeye göre verimi ise %85,75'dir.

Sönmez E., Savaş, M. (1996), çalışmalarında, Emet Kolemanit işletmesi artıklarının kalsinasyonla zenginleştirilebilirliğini araştırmışlardır. Şlamı (-0,045 mm) atılmış numunenin 400°C'de 20 dakikalık sürede kalsinasyonu sonucunda %43,85 B₂O₃ içerikli konsantre, besleme malına göre %83,45 verimle elde edilmiştir.

Erkan vd. (2003), yapmış oldukları çalışmada, Eti Bor A.Ş. Emet Bor İşletmesi Hisarcık baraj atıklarındaki kolemaniti kazanmak amacıyla uyguladıkları jig ve sallantılı masada zenginleştirme araştırmalarında, %17,28 B₂O₃ tenöründe beslenen atıktan %22,31 B₂O₃ tenörlü bir ürünü %42,38 verim ile elde etmişlerdir. Çalışmalar sonucunda ince boyutta şlam atmanın gerekliliği görülmüştür.

Erkan vd. (2004), yapmış oldukları diğer bir çalışmada ise, Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü Emet Bor İşletmesi Espey baraj atıklarındaki kolemaniti kazanmak amacıyla jig ve sallantılı masada zenginleştirme araştırmalarında, %19,48 B₂O₃ tenöründe beslenen atıktan %31,13 B₂O₃ tenörlü bir ürün %25,75 verim ile elde etmişlerdir. Kazanılan kolemanit konsantrelerinin, daha sonraki zenginleştirme işlemleri için bir ön konsantre niteliğinde olduğunu, araştırma sonuçlarına göre atık barajının ve bundan sonra oluşacak stokların teknik, ekonomik, çevresel yönden değerlendirilmesinin mümkün olduğunu belirtmişlerdir. Çalışmanın aynı zamanda atıklar için bir ön çalışma olup, 0-3 mm baraj atıklarının zenginleştirilmesinde önce ince boyutta şlam atma, devamında jig + sallantılı masa yöntemine tabi tutulmasının daha iyi sonuç vereceğini belirtmişlerdir.

3. BOR HAKKINDA GENEL BİLGİLER

3.1 Borun Tarihi

Bor ve türevleri uzun yıllardan beri kullanılmaktadır. Tarihçesine bakılınca, Bor tuzlarının 4 bin yıl önce ilk kez Tibet'te kullanıldığı, Babiller tarafından değerli eşyaların ergitilmesinde, Mısırlılarca mumyalamada, Eski Yunan ve Romalılarca da zemine serpilerek arena temizliği için kullanıldığı saptanmıştır. 875 yılında ise, Araplar ilk kez bor tuzlarından ilaç yapmışlardır.

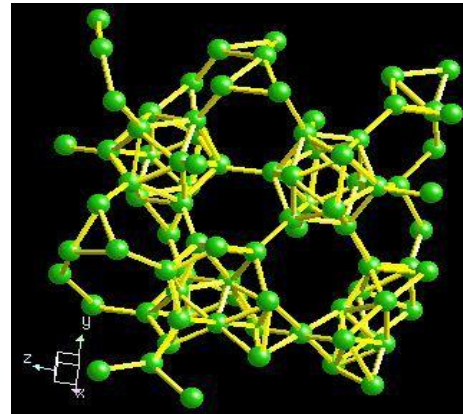
Bor içeren doğal minerallere genel olarak boratlar denilmekte ve boratlar insanoğlu tarafından binlerce yıldır kullanılmaktadır Türkiye'deki boratlar 13. yüzyıldan bu yana bilinmesine rağmen çok az miktarda kullanılmıştır. (Cebi ve Yersel 1994, Konuk ve Yersel 1993, Lyday 1995, Özkan 1994, Roskill 1995). Yurdumuzda ilk işletmenin 1861 yılında çıkartılan Maadin Nizannamesi uyarınca 1865 yılında bir Fransız şirketine 20 senelik işletme imtiyazı verilmesiyle başladığı bilinmektedir (BOREN 2018).

3.2 Borun Özellikleri

Bor simgesi “B” olarak gösterilmekte ve periyodik cetvelin 3A grubunun ilk ve en hafif üyesidir. Atom numarası 5 ve atom ağırlığı 10,81'dir. Ergime noktası yaklaşık 2300 °C'dir. Bor elementinin özgül ağırlığı 2,30-2,46 g/cm³ ve amorf toz halindeki rengi koyu kahverengi, çok gevrek, sert yapılı monoklinik kristal halinin rengi ise sarımsı kahverengidir.



Şekil 3.1 Elementel borun görüntüsü.



Şekil 3.2 Borun kristal yapısı (İnt.Kyn.1).

Çeşitli metal veya ametal elementlerle yaptığı bileşiklerin gösterdiği farklı özellikler, bor bileşiklerinin birçok endüstride kullanılmasına olanak sağlamaktadır.

Bor, bileşiklerinde metal dışı bileşikler gibi davranır, ancak, farklı olarak saf bor, karbon gibi elektrik iletkenidir. Kristalize bor, görünüm ve optik özellikleri açısından elmasa benzer ve neredeyse elmas kadar serttir.

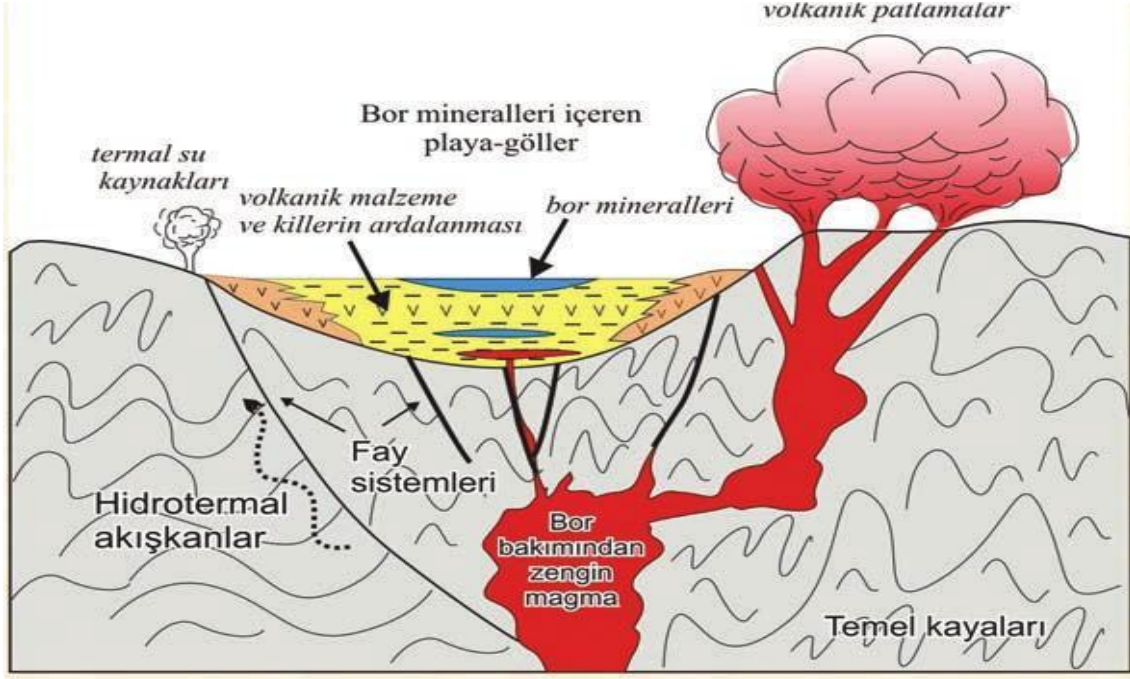
Tabiatta bor serbest halde bulunmamaktadır. Yaygın olarak bulunan bor minerallerinden bir tanesi bir tür alüminoborosilikat minerali olan ve yapısında %10'a kadar bor içerebilen Turmalin'dir. Bununla birlikte sanayide alkali ve toprak alkali bor mineralleri olarak kernit, tinkal, kolemanit ve üleksit kullanılmaktadır (BOREN 2018).

3.3 Doğada Bor Minerallerinin Oluşumu

Dünyadaki önemli borat yatakları kil ve kireç taşı tabakaları arasına sıkışmış evaporitler halinde oluşmuşlardır. Bor mineralinin kaynağı bölgelerdeki volkanik aktiviteye bağlıdır. Yüksek oranda bor içeren akışkanlar volkanik kaynaklar tarafından yatakların bulunduğu yere doğru taşınırlar. Çözünmüş halde bulunan bor bu yataklarda buharlaşmayla birlikte çökelmeye başlarlar. Bor minerali burada çökeldikten sonra kil ve kireç taşı çökellerinin oluşturduğu tabakanın altında kalarak jeolojik ortama yerleşir. Çözünürlükleri yüksek olan boratlar yüzey suları ile temasa geçerlerse çok kolay şekilde çözünürler. Bor elementi doğada oksijene bağlı olan yüksek afinitesinden dolayı yer kabuğunda serbest halde bulunmaz.

Denizsel olmayan ortamlarda oluşan bor yatakları örtü tabakasının çözünme olayından korunmak için yeterli olmadığı gösterir. Denizsel olmayan boratlar genellikle ticari olarak işlenen sodyum ve kalsiyumca zengin tinkal ve kolemanit gibi bor mineralleridir.

Türkiye'nin bilinen borat yataklanmasının tümü batı Anadolu'da yer almaktadır. Borat yatakları Bigadiç, Sultançayır, Kestelek, Emet ve Kırka bölgelerinde bulunmaktadır (Roskill, 1995). Şekil 3.3'de Batı Anadolu'daki Neojen havzalarındaki bor yataklarının oluşumunun çökelim modeli gösterilmiştir (Helvacı 2004).



Şekil 3.3 Neojen havzalarındaki bor yataklarının oluşumu (Helvacı 2015).

Doğada en yaygın olarak bulunan bor mineralleri ile bulundukları ülkeler Çizelge 3.1’de verilmiştir.

Çizelge 3.1 Bor Minerallerinin Bulunduğu Yerler.

Mineral Adı	Kimyasal Formülü	Bulunduğu Ülkeler
Tinkal	$\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$	Türkiye, ABD, Arjantin
Kernit	$\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	ABD, Arjantin
Kolemanit	$\text{Ca}_2\text{B}_6\text{O}_{11} \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	Türkiye, ABD, Meksika
Üleksit	$\text{NaCaB}_5\text{O}_9 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$	Türkiye, ABD
Probertit	$\text{NaCaB}_5\text{O}_9 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	ABD
Szaybelit	$\text{MgBO}_2(\text{OH})$	Kazakistan, Çin
Pandermit	$\text{Ca}_4\text{B}_{10}\text{O}_{19} \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	Türkiye
Datolit	$\text{Ca}_2\text{B}_4\text{Si}_2\text{O}_{12}$	Kazakistan, Rusya
Sasolit(doğal b. Asit)	H_3BO_3	İtalya
Göl suları	Erimiş Tuzlar	ABD, Şili, Bolivya

3.4. Türkiye Bor Yatakları

Türkiye’de yer alan bor yataklanmaları Balıkesir/Bigadiç-Susurluk, Bursa/Kestelek, Emet/Kütahya, Kırka/Eskişehir’de yer almaktadır Kolemanit ve tinkal rezervi ile en fazla bulunan bor cevherleridir. Tinkal yatakları oldukça önemlidir ve Eskişehir/Kırka’da bulunmaktadır, kolemanit yatakları ise Kütahya/Emet, Bursa/Kestelek ve Balıkesir/Bigadiç civarında yer almaktadır. Balıkesir/Bigadiç’de aynı zamanda üleksit yatakları da mevcuttur. Balıkesir/Sultançayır’ında ise pandemit yatakları bulunmaktadır (Eti Maden 2018).

3.5 Bor Rezervleri

Türkiye, dünyanın en büyük bor rezervlerine sahip olan ve en çok bor kimyasalları üretimini gerçekleştiren ülkedir. Türkiye’de işletilmekte olan başlıca Bor minerallerinin isimleri bulunduğu yerler itibari ile Çizelge 3.2’de ve Dünya bor rezervleri, ülkeler bazında Çizelge 3.3’de verilmektedir.

Çizelge 3.2 Mineral Bazında Rezerv Miktarları (Eti Maden 2015).

<i>Cevher Cinsi</i>	<i>Toplam (Milyon ton)</i>	<i>Pay (%)</i>
Kolemanit (Bigadiç)	591,6	18
Üleksit (Bigadiç)	45,5	1,39
Tinkal (Kırka)	832,7	25,3
Kolemanit + Propertit + Üleksit (Emet)	1.815,3	55,3
Toplam	3.285,1	100

Çizelge 3.3 Dünya Bor Rezervleri (Eti Maden 2015).

<i>Ülke</i>	<i>Toplam Rezerv (Bin ton B₂O₃)</i>	<i>Toplam Rezerv (% B₂O₃)</i>
Türkiye	955,297	72,1
ABD	80	6,7
Rusya	100	8,4
Çin	47	3,9
Arjantin	9	0,8
Bolivya	19	1,6
Şili	41	3,4
Peru	22	1,8
Kazakistan	-	-
Sırbistan	16,2	1,3
İran	1	0
Toplam	1.199.700	100

3.6 Bor Ürünleri ve Üretim Yöntemleri

Bor ürünleri ürünlerin menşesine göre gruplandırıldığında tabii boratlar, rafine edilmiş bor ürünleri, özel bor ürünleri veya bor kimyasalları olmak üzere üç gruba ayrılmaktadır.

Tabii boratlar olarak isimlendirilen grupta, cevherin yıkama, kırma, eleme, sınıflandırma, öğütme gibi fiziksel işlemlerden geçirilmesi ile B₂O₃ konsantrasyonunun artırıldığı ürün grubudur.

Bu ürünler;

- ❖ Tinkal (Boraks),
- ❖ Kolemanit,
- ❖ Üleksit'tir.



Resim 3.1 Kolemanit genel görünüm.



Resim 3.2 Tinkal genel görünüm.



Resim 3.3 Üleksit genel görünüm.

Rafine edilmiş bor ürünleri, ham cevher veya konsantre olarak elde edilen malzeme kullanılarak, çözmeye veya kimyasal reaksiyona tabi tutulan malzeme, filtrasyon, kristalizasyon, kurutma gibi kimyasal işlemler sonucunda oluşan yeni ürünlerdir. Bu ürünler uygulanan sisteme veya kullanılan kimyasal maddeye göre çeşitlilik göstererek elde edilen ürünlerdir. Rafine ürünler hammadde olarak birçok endüstride kullanılmaktadır.

Bu ürünler;

- ❖ Sodyum perborat,
- ❖ Boraks dekahidrat,
- ❖ Boraks pentahidrat,
- ❖ Borik asit,

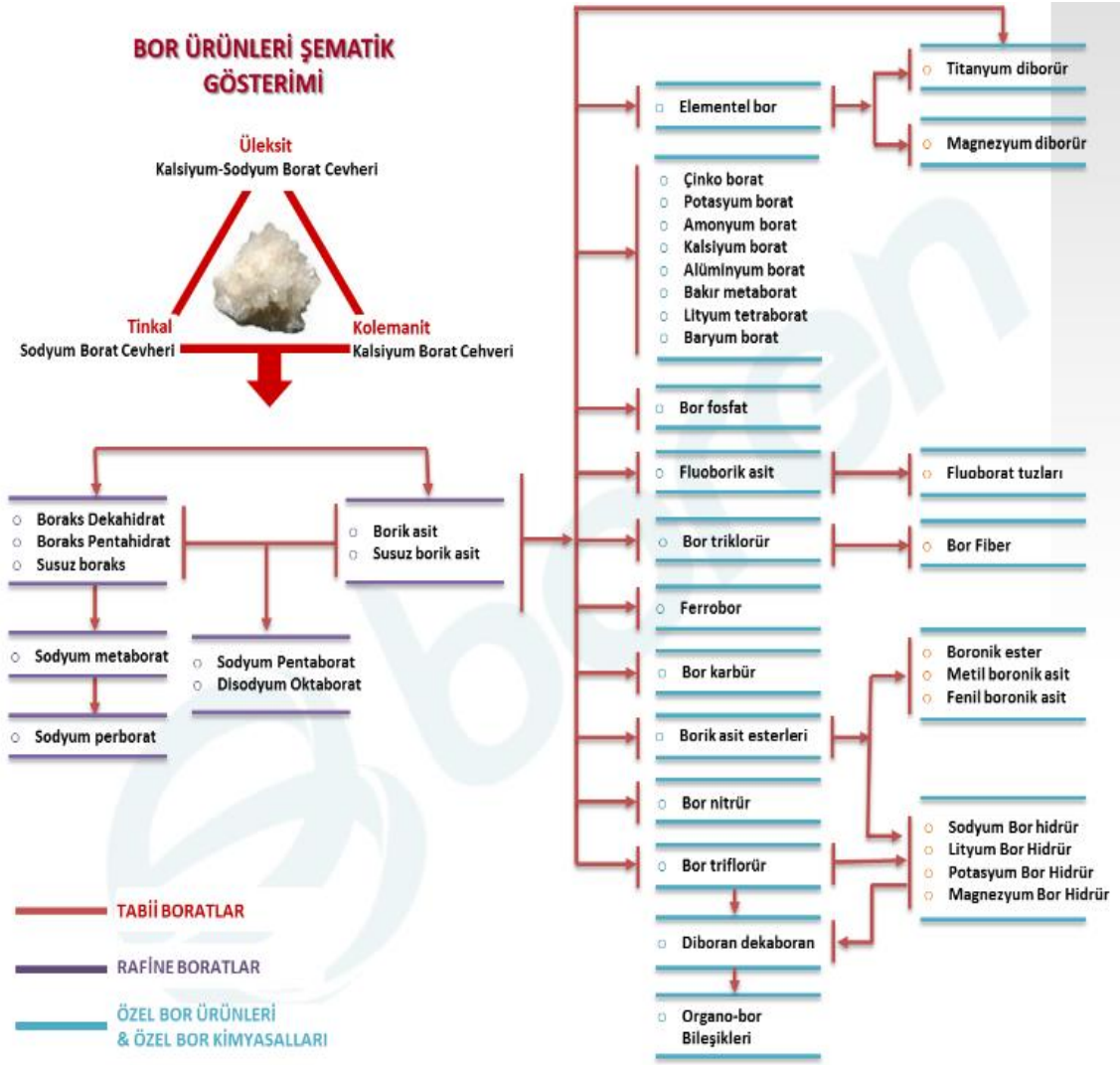
- ❖ Susuz boraks,
- ❖ Bor oksit,
- ❖ Disodyum oktaborat tetrahidrat (DOT 2001).

Özel Bor Ürünleri (Bor Kimyasalları); Borik asit ya da B_2O_3 'ün hammadde olarak kullanılmasıyla üretilen ürünlerdir. Özel bor ürünlerinin üretim ve tüketim miktarları rafine ürünlere göre çok azdır.

Bu ürünler;

- ❖ Çinko borat
- ❖ Ferrobor
- ❖ Özel sodyum boratlar
- ❖ Bor hidrürler
- ❖ Bor karbür
- ❖ Bor nitrür
- ❖ Elementel Bor
- ❖ İnorganik Boratlar
- ❖ Trimetilborat
- ❖ Bor-Azot bileşikleri
- ❖ Bor Halojenürler
- ❖ Fluoroborikasit
- ❖ Organobor bileşikleri
- ❖ Fluoroboratlar
- ❖ Borik asit esterleri olarak sıralanabilir (BOREN 2010).

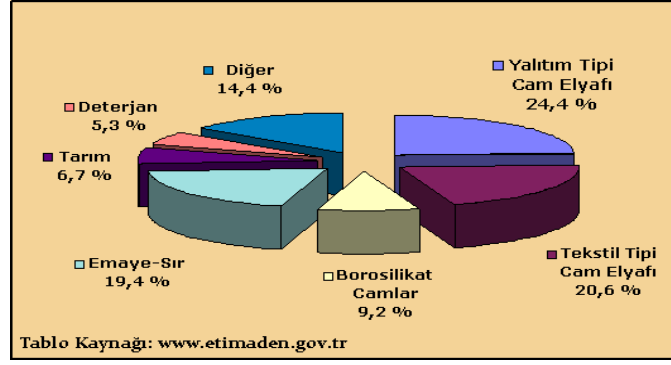
Şekil 3.5’de tabii boratların, rafine boratların ve özel bor ürünlerinin şematik gösterimi verilmektedir.



Şekil 3.4 Bor ürünleri akım şeması (BOREN 2018).

3.7 Bor Ürünlerinin Kullanım Alanları

Bor, bor alaşımları, bor tuzları ve organometalik bor kompleksleri hem kendi başlarına ileri teknoloji malzemesi olarak kullanılır hem de başka maddelere katılarak, maddeye ileri teknoloji malzemesi özelliği kazandırır. Bor ürünleri kimyasal etkilere olan dayanıklılığı, hafif olması, gerilmeye karşı olan direnci, ısıya dayanıklılığı gibi çeşitli özellikleri nedeniyle çok çeşitli sanayi kollarında kullanılmaktadır. Dünyadaki borun genel tüketim alanları dağılımı Şekil 3.5’de verilmiştir.



Şekil 3.5 Dünya bor tüketiminin sektörel dağılımı (İnt.Kyn.2).

Dünyada üretilen bor cevherlerinin ancak %10'u direkt olarak kullanım alanı bulurken, cevherlerin geriye kalan kısmı bor rafine ürünleri elde etmek için kullanılmaktadır. Çizelge 3.4'de genel olarak bor mineral ve bileşiklerinin kullanım alanları özetlenmiştir. Dünya bor tüketiminin yaklaşık olarak %80'ini ABD ve Batı Avrupa ülkeleri yapmaktadır (Ertün 2009).

Çizelge 3.4 Bor Mineralleri ve Bileşiklerinin Kullanım Alanları (Özmal 2005).

<i>Boraks Pentahidrat ve Dekahidrat, Susuz Boraks</i>	<i>Susuz Borik Asit</i>	<i>Sodyum Perborat</i>	<i>Borik Asit</i>
Gübre Fiberglas İzolasyon metalürji Cam ağartıcı Cam Yapıştırıcılar Kozmetik ve ilaç Tarım Fotoğraf Tekstil boyaları Dericilik Yün koruyucu Emaye, frit, sır metalürji	Antiseptik Kozmetik Yangın söndürücü Deri Tekstil boyaları metalürji Naylon tekstil sanayi Sabun ve deterjanlar Sır kaplama Fotoğraf	Deterjan ve ağartıcılar Dezenfektan Tekstil boyaları Cam boyaları	Cam Zirai mücadele Böcek öldürücü Tekstil boyaları Fotoğraf Sabun ve deterjanlar Naylon Tekstil boyaları Balmumu yumuşatıcı Ağaç koruyucu Sır kaplama Antiseptik Kozmetik Yangın söndürücü Sır kaplama metalürji Nükleer Sabun ve deterjanlar Tekstil-fiberglas
<i>Kalsiyum Borat cevheri</i>	<i>Kalsiyum Sodyum Borat Cevherleri</i>	<i>Sodyum Borat Cevherleri /Borlu Göl Suları</i>	
Cam Metalürji Nükleer Tekstil türü Fiberglas	Selülozik İzolasyon Fiberglas Metalürji Nükleer Cam	Rafine boraks penhidrad ve boraks dekahidrat, susuz boraks	

4. ZENGİNLEŞTİRME YÖNTEMLERİ

Madencilik sektörü makinaların gelişmesiyle daha etkin bir şekilde üretim yapabilmektedir. Endüstri devrimi yeni tekniklerle üretim artışına ve dolayısıyla refah artışına yol açmıştır. Ancak bu durum başlangıçta birçok sorunun çözümü gibi görülse de makinalaşma ile birlikte artan üretim kapasitesi, yeni ve konforlu ürünlere olan talebin artması, hammadde kullanımında olduğu gibi atık oluşumunu da etkin bir şekilde arttırmıştır. Bu durumdan madencilik sektörü de üretimini arttırması ile refaha ulaşırken, tesis çıkışı düşük tenörlü ürün sınıflarının miktarının artışı, atık oluşumu ve depolama sahalarıyla ilgili çeşitli sorunlar yaşayarak yakından etkilemiştir. Konu bor sektörü açısından incelendiğinde, çeşitli sektörlerde kullanımının gittikçe yaygınlaşması, bor üretimi ve üretim sırasında ortaya çıkan bor atık miktarını veya düşük tenörlü atık miktarını her geçen yıl arttırdığı görülmektedir. Türkiye, en önemli bor endüstri merkezlerinden biri olduğu çeşitli araştırma verileriyle ortaya konmuştur.

Dünyada yüksek tenörlü rezervlerin azalması sonucu düşük tenörlü rezervlerin işletilmesini de zorunlu hale getirilmiştir. Bu zorunluluğa ülkemiz açısından bakıldığında her ne kadar yüksek tenörlü ve Dünya rezervinin %72'lik kısmına sahip olsak da kaynakları etkin kullanmamız gerektiğini gündeme getirmiştir; Artan talepler doğrultusunda büyük tonajlarda cevherin işlenmesi gerekliliği gündemde olsa da düşük tenörlü rezervlerin yüksek kazanımlarla, ekonomik olarak zenginleştirilmesi de bir başka gerekliliktir.

Cevher hazırlama makinelerinin çalışma prensipleri, minerallerin yoğunluk, tane boyutu, yüzey özellikleri, iletkenlik ve manyetik duyarlılık, optik farklılıklar, gibi birkaç temel özellikleri üzerine kurulmuştur. Bu temel özellik farklılıklarının sonucu, mineraller değişik fiziksel ve kimyasal ortamlarda birbirinden farklı davranış göstermektedir. Örneğin yoğunlukları birbirinden farklı minerallerin engelli ve serbest çökme ortamındaki davranışları da farklıdır. Tenör düştükçe zenginleştirme işlemi için minerallerin daha çok özelliklerinin ayırma ve zenginleştirilmede kullanılması zorunlu hale gelmektedir.

Genel Zenginleştirme yöntemleri;

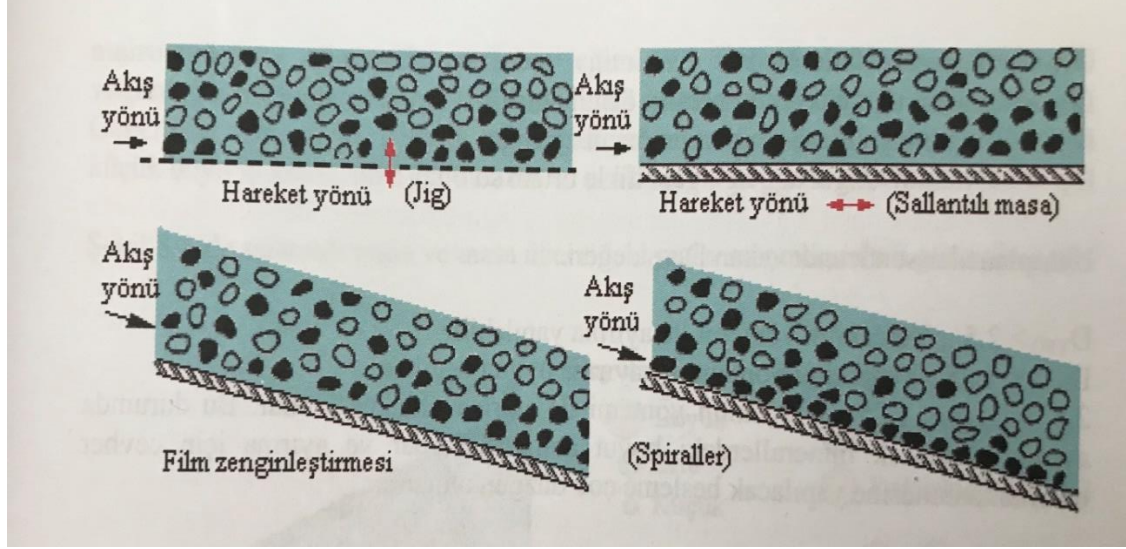
- Yıkama – Dağıtma ile Boyuta Göre Sınıflandırma ve Zenginleştirme
- Gravite yöntemi ile zenginleştirme
- Manyetik zenginleştirme
- Elektrostatik zenginleştirme
- Ağır ortam ayırıcıları ile zenginleştirme
- Flotasyon
- Kimyasal zenginleştirme

4.1. Gravite Yöntemi ile Zenginleştirme

Mineralleri birbirinden ayıran en önemli özellikleri yoğunlukları arasındaki farklılıktır. Yoğunluğu ve boyutu değişik malzemelerin akışkan ve hava ortamlarındaki davranışları farklıdır. Uygulanan merkezkaç kuvvetinin etkisi de minerallerin davranışlarını etkiler. Minerallerin yoğunluk farklarından yararlanılarak değişik fiziksel ortamlarda yapılan ayırma işlemlerinden oldukça başarılı zenginleştirme yapılabilmektedir. Günümüzde çoğu proses makinelerinde yoğunluğu farklı minerallerin, değişik ortamlarda gösterdikleri davranış farklılıklarından yararlanılarak ayırma ve zenginleştirme yapılmaktadır.

Gravite yöntemi ile zenginleştirmede; yıkanarak, kırılarak veya öğütülerek serbestleşmiş kıymetli mineral ile safsızlıklarının, özellikle su gibi akışkan bir ortamda yoğunluk ve tane şekilleri nedeni ile gösterdikleri davranış farklılıkları kullanılmaktadır.

Akışkan bir ortamda malzemelerin üzerlerine proses makinelerince uygulanan değişik kuvvetlerin etkisi altındaki davranış farklılıkları Şekil 4.1’de gösterilmiştir.



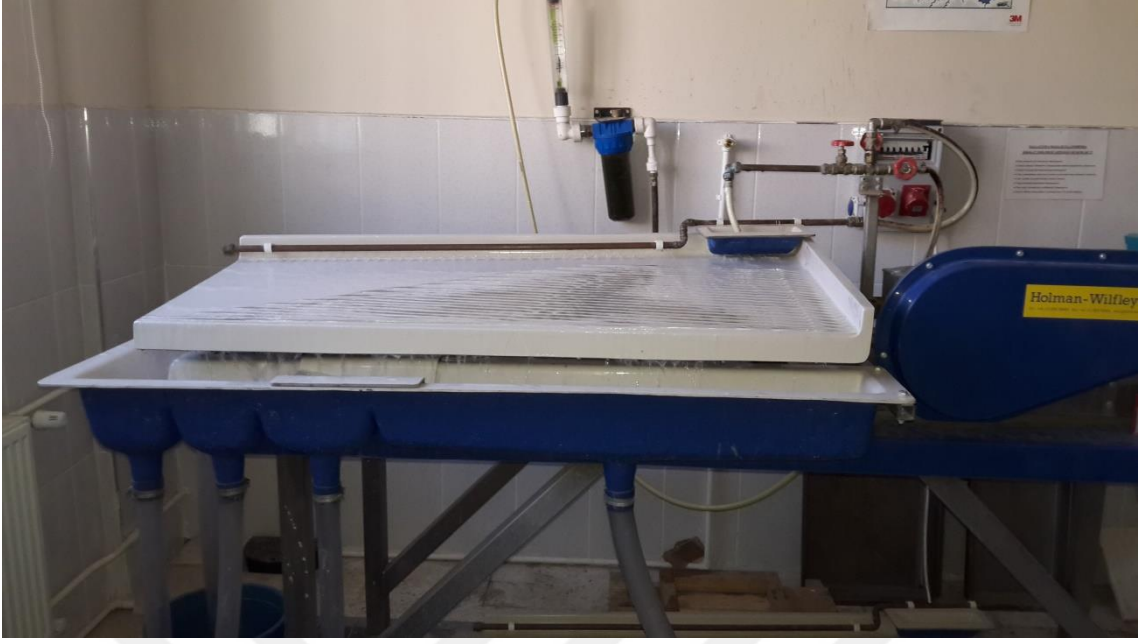
Şekil 4.1 Akışkan ortamlarda malzeme davranışı (Yıldız 2010).

Gravite ile zenginleştirme cihaz ve yöntemleri

1. Sarsıntılı masalar
2. Ağır ortam ayırıcıları
3. Jigler
4. Humprey spirali
5. Reichert konisi
6. Falcon Gravite Seperatörü
7. Multi Gravite Seperatör (MGS)
8. Knelson Gravite Seperatör

4.1.1 Sallantılı masa

Tabaka halinde akışkan ortamda ayırma yapan ve ayırıcı yüzeyi hareketli olan bir cihazdır (Resim 4.1). Sallantılı masalar, örneğin krom cevherlerinin gravite yöntem ile zenginleştirilmesinde günümüzde en çok kullanılan aygıtlardır. Sallantılı masa esas olarak, dikdörtgen, paralel kenar, dikdörtgene yakın yamuk veya V şeklinde bir yüzey üzerinde tabaka halinde akan akışkan ortam içindeki farklı yoğunluklardaki minerallerin yoğunluklarına göre yüzey üzerinde sınıflandırılması prensibini kapsar. Uygun bir mekanizma ile masanın uzun eksenini doğrultusunda ve geriye doğru olan hareketi daha hızlı olmak üzere ileri – geri hareket ettirilir (Gence 1985).



Resim 4.1 Sallantılı masa genel görünümü.

Sallantılı masa yüzeyindeki ayırmanın etkinliğini arttırmak için masa yüzeyi eşiklerle kaplanır. Eşiklerin yükseklikleri mekanizma kenarından yoğun mineral kenarına doğru azalarak kenarda sıfır olmak üzere üretilmektedir (Aydın 2001).

Malzeme, masanın bir köşesinden pülp olarak beslenmekte ve masanın üst bölümünden yıkama suyu ilave edilmektedir (Resim 4.2). Mineraller ile safsızlıkları arasındaki yoğunluk ve boyut farklılıkları, akış sürecinde masanın eğimi ve ileri-geri salınım hareketi ile masa yüzeyindeki çitalardan kaynaklanan akış farklılıkları gibi sebeplerle minerallerin sınıflandırılması sağlanmaktadır. Genellikle ağır-iri taneler masanın en uzak kısmına doğru ilerlerken, hafif-ince taneler ise masanın en kısa mesafesine doğru suyun sürüklemeye kuvvetinin etkisiyle ilerleme eğilimindedirler.



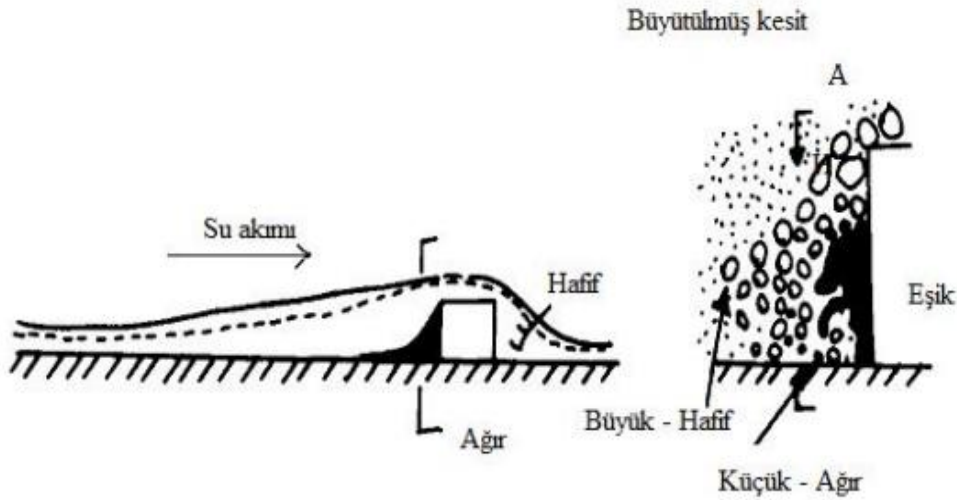
Resim 4.2 Sallantılı masa yüzeyi.

Masalarda malzemeler genellikle konsantre, ara ürünler ve atık olarak ayrılmaktadır. Alınan ara ürün tekrar masaya beslenebildiği gibi, yeterli serbestleşme sağlanmadığı takdirde öğütme devresine geri de gönderilebilmektedir.

Sallantılı masaların kapasitesi ve özelliklerine göre masaya beslenen malzemenin boyutu, masanın hızı, eğimi, hareket genliği, yıkama suyu miktarı ve beslenen malzeme miktarı değişiklik göstermektedir.

Sallantılı masalara beslenen malzemenin katı oranı değişmekle birlikte mineraller için yaklaşık %20-25, kömür için %35-40'tır. Konsantre, ara ürün ve atıktaki katı oranları ise sırasıyla, yaklaşık olarak %80, %70, %20'dir (Hoşten 2002).

Endüstride kullanılan sallantılı masalar; iri cevher ve ince cevher (şlam) masası olmak üzere iki gruba ayrılırlar. İri cevher masaları yüksek ve sık eşikli, şlam masaları ise alçak ve seyrek eşikli bazen de eşiksizdir (Şekil 4.2). Eşikler akış koşullarını değiştirir ve eşikler arasında engelli çöküş klasifikasyonu olur. Bunun sonucunda hem etkili bir ayırma yapılabilir hem de masa kapasitesi artar (Önal 1985).



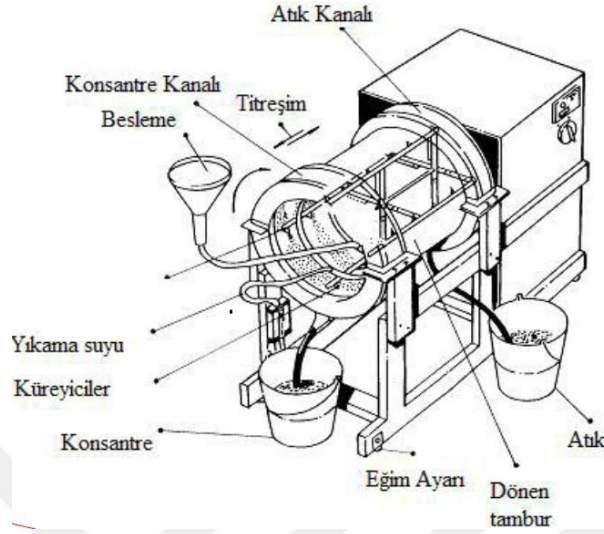
Şekil 4.2 Akan su tabakasında katı hareketi üzerindeki eşik etkisi (Bayat 2009).

Sallantılı masalarda çalışma planı hazırlanırken dikkat edilmesi, incelenmesi gereken parametreler arasında besleme malı tane boyutu, ayrımı yapılacak olan minerallerin özgül ağırlığı, masa üzerindeki eşiklerin konumu, sallantılı masanın kapasitesi, sallantılı masanın hızı ve genliği, tüm bu parametrelerin yanı sıra özellikle masanın eğimi, yıkama suyu miktarı dikkat edilmesi gereken parametrelerdir. Tüm bu parametrelerin ışığında malzemeye uygun çalışma parametreleri belirlenmelidir.

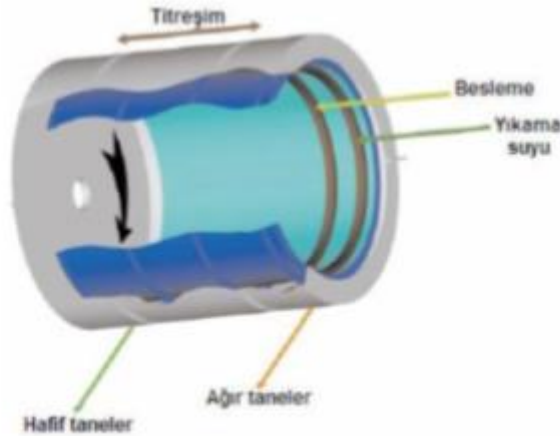
4.1.2 Multi gravite seperatör (MGS)

Multi Gravite Seperatör İngiliz Teknoloji Grubu desteğinde, Richart Mozley tarafından ince ve çok ince boyutlu minerallerin ayrılması amacıyla geliştirilmiştir. Endüstriyel ölçekte kullanımı gerçekleştirilen bu gravite cihazı, sallantılı masa düzeninin bir tambur şekline dönüştürülerek kullanılması prensibi ile tanımlanabilir (Şekil 4.3). MGS ana gövdesi bir silindirden oluşmaktadır ve bu silindirin eğim yukarı duran dairesel kısım kafes sistem ile kapatılmış eğim aşağı yer alan dairesel kısmı ise tamamen kapalıdır (Şekil 4.4). Bu silindirin tambur hareketini sağlayan eksantrik şaft tarafından tahrik edilen, tamburla aynı yönde fakat tambura göre biraz daha hızlı dönen ve üzerinde küreyiciler bulunan bir ünite vardır. Bu tamburun belirli dev/dk'da döndürülmesiyle mineral taneleri tambur içinde yoğunluklarına göre sınıflandırılmaktadır.

Bu durumda sadece dev/dk'nın değil, yıkama suyu miktarı, besleme hızı, tane boyutu, frekansı ve genliği de etkindir.



Şekil 4.3 Laboratuvar tipi MGS ünitesi şematik gösterimi (Traore vd. 1995).



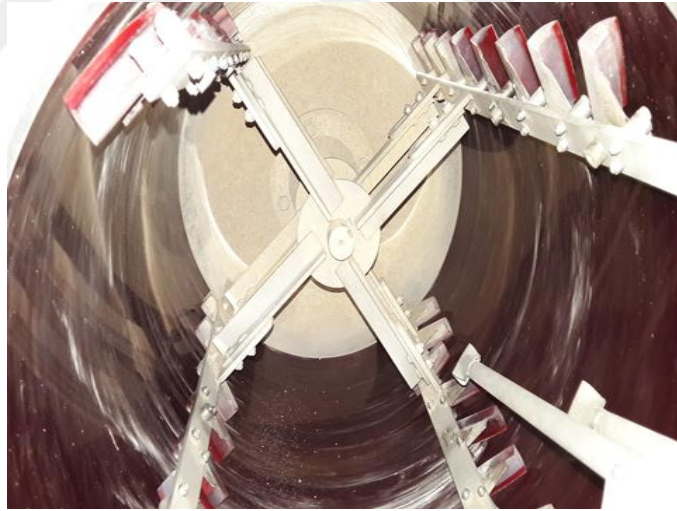
Şekil 4.4 MGS'nin şematik görünümü (Traore vd. 1995).

Mineral tanelerinin birbirinden ayrılması tambur içinde gerçekleşir. Malzemeye uygun olarak pülp oranı %10-50 arasında seçilerek belirli bir besleme hızında hareketli tamburun merkezinden içine beslenir.

Malzeme tambura akış yönünde ve sallantılı masalardaki harekete benzer ileri-geri hareketi ile verilir. Genlik ve titreşim frekansı tambur hareketinin, zenginleştirilecek malzeme boyutuna göre ayarlanır.

Beslenen malzemeye göre genellikle, iri besleme için yüksek genlik gerekirken, ince besleme için yüksek frekans daha iyi bir ayırma sağlar. MGS için titreşim frekansı 4-6 cm/s arasında değişirken genlik 12,7-19,0 mm arasında değişir. Tambur 160-240 dev/dk hız ile dönerek taneler üzerine yerçekimi kuvvetinin 8-22 katı kadar bir kuvvet uygular (Chan vd. 1991a, 1991b, Cordingley 1997).

Tambur yatayla 0-9° arasında bir açı yapacak şekilde hazırlanarak, iç yüzey üzerinde tabaka halinde akan akışkan ortamda zenginleştirme yapılmaktadır. Tamburun dönmesiyle birlikte, özgül ağırlığı yüksek olan taneler, akışkan tabaka içinde çökerek tambur yüzeyine tutunurlar ve merkezkaç kuvvetinin etkisi ile yarı katı bir tabaka oluştururlar. Çöken yoğun tanelerden oluşan bu yatak, sıyrıcılar yardımıyla hafif eğimli tamburun üst kısmından alınır (Resim 4.3).



Resim 4.3 MGS yoğun malzeme çıkış kısmı ve iç dizaynındaki küreyiciler.

MGS içinde (Resim 4.4) hafif tanelerin yoğun tanelerden etkili bir şekilde ayrılması, ağır malzemelerin alındığı yere yakın ve tabaka üzerine verilen yıkama suyu sayesinde meydana gelir. Yoğun mineral çıkış kısmının 15 cm kadar aşağısından ve merkezden konumlu verilen yıkama suyu yoğun malzeme ile eğim yukarı taşınan hafif malzemenin yıkanarak eğim aşağı uzaklaştırılmasını sağlamaktadır.

Yıkama suyu sürekli olarak beslenir. Hafif taneler eğim aşağıda bulunan alt çıkıştan dışarı alınır (Wills ve Napier-Munn 2006). Resim 4.5’de MGS’ye beslenen malzemenin verildiği besleme ünitesi görülmektedir.



Resim 4.4 Pilot ölçekli MGS cihazı.

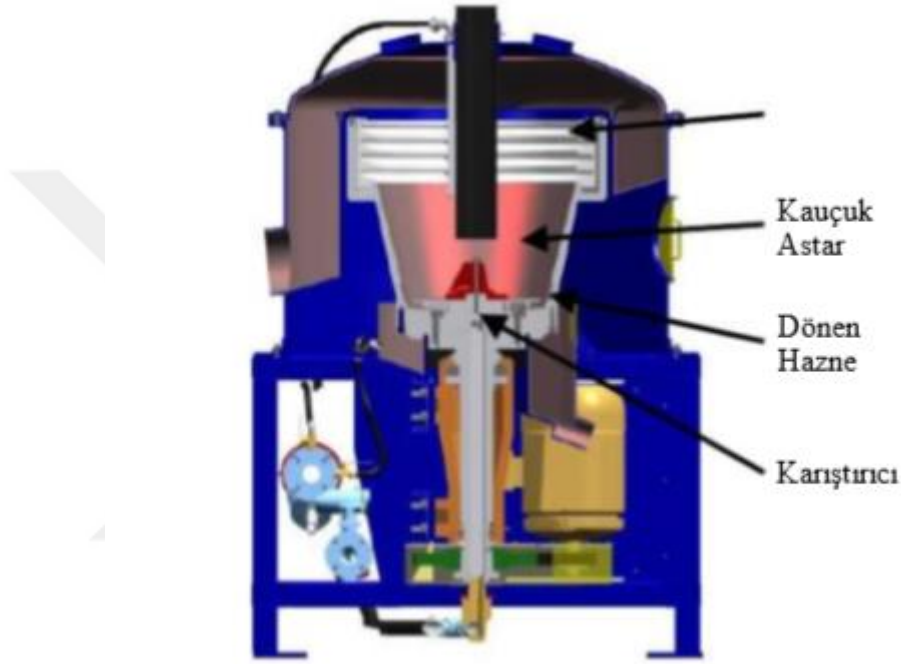


Resim 4.5 MGS karıştırıcı hazne.

MGS ünitesinde; yıkama suyu miktarı, tambur eğim açısı, besleme miktarı ve hızı, tambur dönüş hızı, titreşim büyüklüğü/yoğunluğu, pülp te katı oranı önemli işletme parametreleri arasındadır (Chan vd. 1994).

4.1.3 Falcon gravite seperatör

Falcon Gravite Seperatör, düşey eksenli ve akışkan yataklı olan, gelişmiş bir gravite ayırıcısıdır (Şekil 4.5). Falcon Gravite Seperatör santrifüj etkisinden doğan kuvvet 300 G'ye kadar çıkabilmektedir. Bu yüzden Falcon Gravite Seperatör, yüksek kapasite ve düşük ayırma yoğunluklarında çalışabilmektedir (Parekh ve Abdel-Khalekh 2002, McAlister 1992, Ancia vd. 1997, McAlister ve Armstrong 1998).

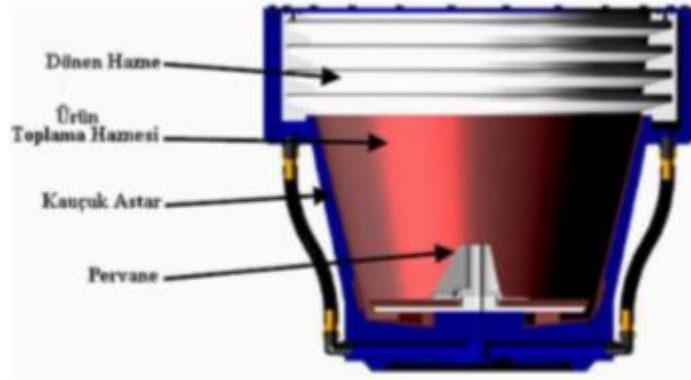


Şekil 4.5 Falcon Gravite Seperatörün şematik görünümü (Gillis 2011).

Falcon Gravite Seperatör, düşük su tüketimi ile yüksek tenörlü konsantre üretebilmesi, uygulama şartlarının çok detaylı olmaması dolayısıyla çok fazla tecrübe gerektirmemesi, düşük bakım ve işletme maliyet giderleri gibi özellikleri ile gravite ayırıcılar arasında yerini almıştır (McAlister 1992, Parekh ve Abdel-Khalekh 2002, McAlister ve Armstrong 1998, Ancia vd. 1997).

Kesikli bir makine olan Falcon Gravite Seperatörün ayırma konisi, dikey olarak yerleştirilmiş, pürüzsüz iç çepere sahip bir hazneden oluşmuştur (Şekil 4.6).

Bu haznenin üçte birlik üst kısmında, konsantrenin temizlenmesi esnasında yıkama suyunun verildiği deliklere sahip bir konsantre bölmesi vardır (McAlister ve Armstrong 1998).



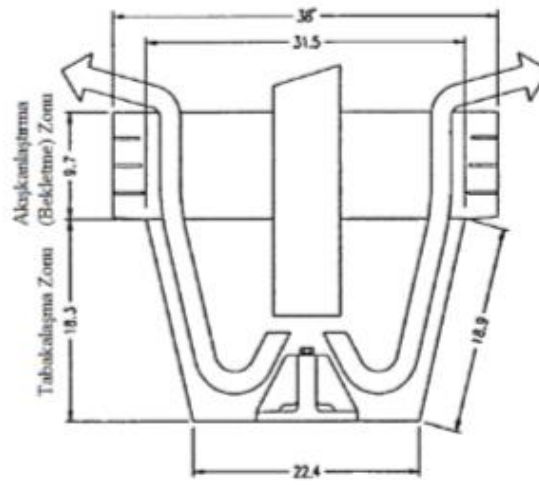
Şekil 4.6 Falcon seperatör ayırma haznesi (McAlister vd. 1998).

Falcon Gravite Seperatörü, taneler arasındaki ayrımı sağlamak üzere mineraller arasındaki özgül ağırlık farklarından yararlanmaktadır. Besleme, merkeze yerleştirilmiş besleme oluğundan dikey olarak pülp halinde yapılmaktadır. Besleme malı besleme haznesinin tabanında sabitlenmiş olan karıştırıcının üstüne yapılmaktadır. Haznenin üstündeki bu karıştırıcı, pülpü haznenin duvarına doğru fırlatır ve malzeme üzerine 200 G uygulanacak bir hızda dönen bir rotor ile ivmelendirilir. Oldukça yüksek santrifüj kuvvete sahip olan cihaz, tanelerin özgül ağırlıkları arasındaki farkı artırırken haznenin geometrisi de ağır tanelerin tutulmasına ve hafif tanelerin ise proses suyuyla uzaklaştırılmasına yardımcı olmaktadır.

Falcon Gravite Seperatörde minerallerin ayrılması iki ayrı zonda gerçekleşir (Şekil 4.7). Numune ilk olarak tabakalaşma zonuna beslenmektedir. Tabakalaşma zonunda, pülpteki ağır mineral taneleri, hazne duvarı boyunca yukarı hareket ederek, gang yatağındaki hafif taneler arasından süzülüp, hazne çeperine ulaşmaya çalışmaktadır. Haznenin bu kısmında mineral taneleri kaba bir şekilde yoğunluk farkına göre tabakalaşmaya başlamaktadır. Oluşmaya başlayan bu tabakalaşmada, yatağın altında ağır taneler, üstünde ise hafif taneler bulunur.

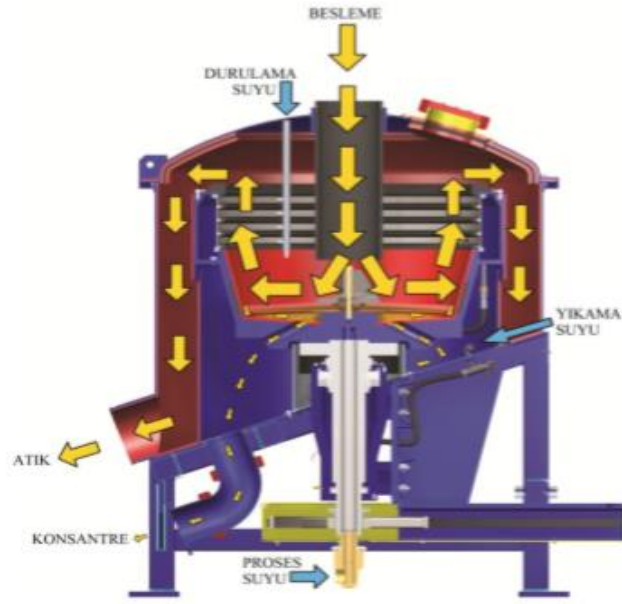
Böylece haznenin alt kısmında, ağır taneler, üstte ise hafif taneler olacak şekilde tabakalanmış olan yatak, ağır tanelerin ayırma çentikleri içinde hapsolacağı, hafif tanelerin ise haznenin üzerinden çıkacağı ikinci kısım olan akışkanlaştırma zonuna girmektedir.

Akışkanlaştırma veya diğer adıyla bekletme zonunda, ayırma çentikleri içerisine verilen su ile engelli çöküş ortamı oluşturulur. Falcon Gravite Seperatörde, akışkanlaştırma suyu, haznenin üst kısmında bulunan ayırma çentikleri içerisindeki küçük çaplı deliklerden püskürtülür.



Şekil 4.7 Falcon seperatörün ayırma zonlarının şematik görünümü (Ancia vd. 1997).

Besleme haznesinin hemen üstünde yer alan yıkama suyunun verilerek akışkanlaştırdığı ortam özel tasarlanmış oluklar vasıtasıyla tanelerin yoğunluklarına göre tabakalanmasını sağlar. Ağır taneler içerisinde kalmış olabilecek hafif taneler dışa doğru gönderilmektedir. Hafif taneler yıkama suyunun da yardımıyla yukarıya tırmanarak haznenin üst kısmından sistemi terk etmektedir. Ağır/yoğun taneler ise ayırma olukları içinde kalmaktadır (Lins vd. 1992, Laplante vd. 1994, Honaker vd. 1995, Huang 1996, Abela 1997, Ancia vd. 1997, McAlister 1992, McAlister ve Armstrong 1998, Parekh ve Abdel-Khalekh 2002). Falcon Gravite Seperatörle zenginleştirmenin şematik görünümü Şekil 4.8'de görülmektedir.



Şekil 4.8 Falcon gravite seperatörde zenginleştirmenin şematik görünümü (Gillis 2011).

Laboratuvar ölçekte üretimi yapılan Falcon Gravite Seperatörün aynı zamanda endüstriyel alanda uygulamaları da mevcuttur. Resim 4.6’da laboratuvar ölçekli, Resim 4.7’de ise endüstriyel ölçekli Falcon Gravite Seperatör ayırıcıları görülmektedir.



Resim 4.6 Laboratuvar ölçekli Falcon Gravite Seperatör.



(a)



(b)



(c)

Resim 4.7 Endüstriyel ölçekli Falcon Gravite Seperator (Abdel-Khalekh 2002).

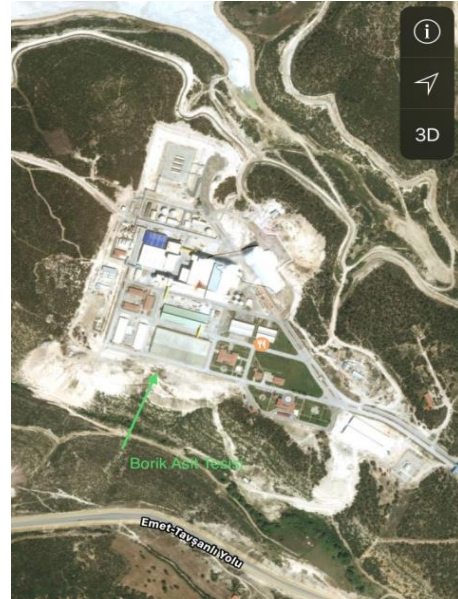
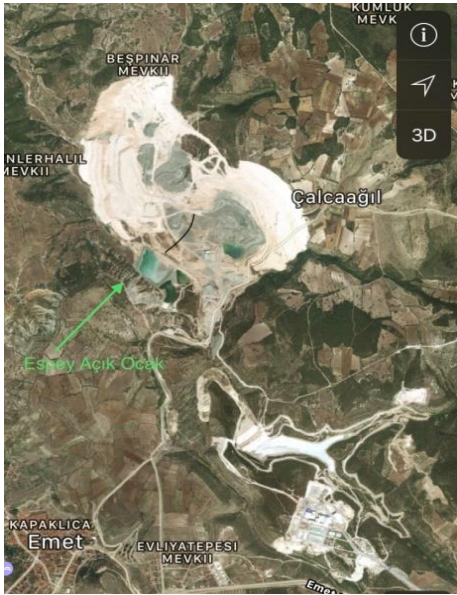
5. ETİ MADEN EMET BOR İŞLETME TESİSİ

Emet Bor İşletme Müdürlüğü, Kütahya İlinin 100 km güneybatısında Emet İlçesinde bulunmaktadır. Maden sahaları; güneyde Hisarcık'a 4 km mesafedeki Hamamköy ile kuzeyde Emet'e 3,5 km mesafedeki Espey bölgesini içine almaktadır. 1958 yılında Etibank-Emet Kolemanit Maden İşletmesi Şantiye Şefliği olarak kurulmuş ve daha sonra 24.02.1962 tarihinde Müessese Müdürlüğüne dönüştürülmüştür. Resim 5.1 ve 5.2'de Eti Maden İşletmelerine ait uydu ve genel görünümü verilmiştir.

31.01.2004 tarihi itibarıyla de Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü'ne bağlı Emet Bor İşletme Müdürlüğü olarak faaliyetlerini sürdürmektedir. İşletme Müdürlüğünde halen Hisarcık ve Espey olmak üzere 2 adet açık ocakta kolemanit cevherleri çıkartılmakta, konsantratör tesislerinde işlenmektedir. Üretilen konsantrelerin bir kısmı Bandırma'daki Borik Asit Fabrikasına gönderilmekte, çoğunluğu da Emet'teki tesislerde öğütülerek Borik Asit'e dönüştürülmektedir.

Ürünleri:

- ❖ Konsantre ($2\text{CaO} \cdot 3\text{B}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$)
- ❖ Borik Asit (H_3BO_3)



Resim 5.1 Eti Maden Espey açık ocak ve borik asit tesisin uydu görüntüsü.



Resim 5.2 Emet bor işletme tesisi genel görünüm.

5.1 Espey Açık Ocak ve Konsantratör Tesisi

Tüvenan kolemanit cevherinin basamak üzerlerindeki örtü dekapaj ile temizlendikten sonra üretim faaliyetlerine başlanmaktadır. Tüvenan kolemanit cevher üretimi mayıs-eylül ayları arasında yapılmaktadır. Patlatılacak olan basamak üzerinde delikler açılıp dinamitler yerleştirildikten sonra güvenli bir ortam sağlanıp patlatma gerçekleştirilmektedir. Patlatma yöntemiyle, alınmak istenilen basamaktaki toprak gevşetilmektedir. Gevşetilen toprak ekskavatörler vasıtasıyla kamyonlara yüklenip konsantratör tesisine getirilip stoklanır.



Resim 5.3 Espey açık işletme genel görünüm.

Stoklardan alınan kolemanit cevherinin beslendiği konsantratör tesisinde; kırma, yıkama, eleme ve triyaj yöntemleriyle çalışan fiziksel bir zenginleştirme tesisidir.

Konsantratör tesisine getirilen ve tenörü %27-28 B_2O_3 olan kolemanit cevheri uygulanan fiziksel işlemlerden sonra tenörü %40-45 B_2O_3 'lere çıkartılır.



Resim 5.4 Espey konsantratör tesisi genel görünüm.

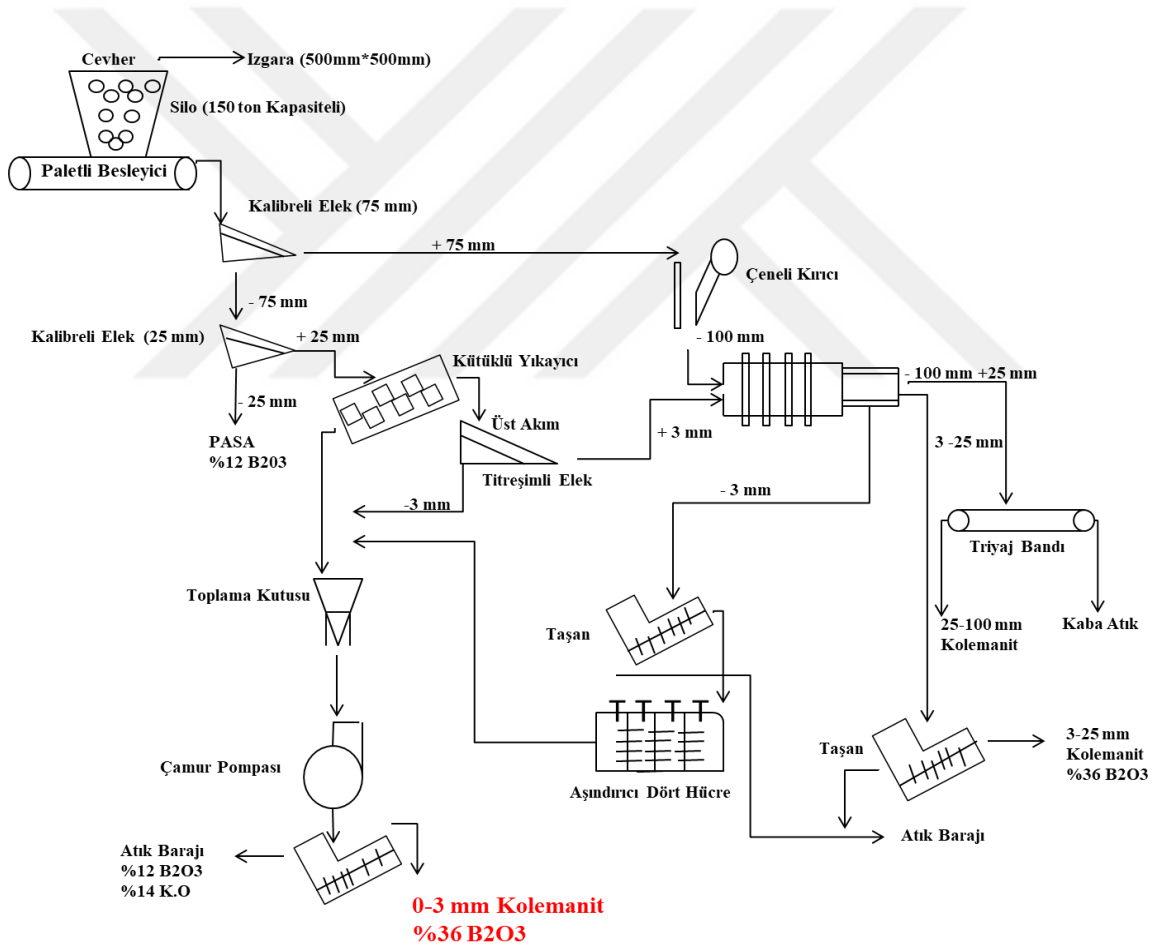
Stoklardan alınan kolemanit cevheri, konsantratör silosuna beslenir. Silo altındaki kalibreli eleğe beslenerek 75-500 mm boyutlarındaki cevherlere ayrılır. Çeneli kırıcılara yollanarak 100 mm boyutuna gelmesi sağlanır. Daha sonra tromel yıkayıcıya beslenir. Tromel yıkayıcıdan sonra bantlarla 25 mm aralıklı ikinci eleğe beslenir ve burada 25-75 mm boyutlarında cevherler alınır. Kalan kısım atık sahasına yollanır. İkinci eleğe beslendikten sonra alınan 25-75 mm boyutlarındaki cevher, kütüklü yıkayıcıya gönderilir ve elek açıklığı 3 mm ve 25 mm olan eleklerden geçirilir. Eleklerden geçen kolemanit cevheri 0-3 mm, 3-25 mm ve 25-75 mm boyutlarında olmak üzere üç kısma ayrılır.

0-3 mm tane boyutuna ayrılan kısım 1. klasifikatöre gönderilir. 3-25 mm tane boyutunda ayrılan kısım ise konsantre ürün olarak ayrılır. 25-75 mm boyutundaki diğer kısım ise tromel yıkayıcıya beslenir.

Çeneli kırıcıdan gelen 100 mm altındaki tüvenan kolemanit cevheri ile kütüklü yıkayıcıdan gelen 25-75 mm boyutundaki kolemanit cevherleri tromel yıkayıcıda yıkanmaktadır. Tromel yıkayıcı da yıkanan cevherler eleklerden geçirilerek üç kısma ayrılırlar.

0-3mm boyutu 1. klasifikatörden sonra aşındırıcı hücreye gönderilir. Aşındırıcı hücreden toplama kutusuna gönderilir ve daha sonra çamur pompalarıyla hidrosiklona beslenir. Buradan 2. Klasifikatöre gönderilip şlamından ayrılan cevher, 0-3 mm konsantre cevher olarak alınmaktadır. 25-100 mm tane boyutundaki cevherler triyaj ünitesinde gönderilir ve burada ayıklanarak son zenginleştirme işlemi yapılır. Cevher içindeki kil, kalker ve kalsit gibi mineraller ile bünyesindeki arsenik istenilmemektedir ve konsantre cevherden ayrılır.

Espey Konsantratör tesisinde zenginleştirme işlemlerinin aşamalarını gösteren akım şeması Şekil 5.1’de verilmiştir.



Şekil 5.1 Espey konsantratör tesisi akım şeması.

6. MATERYAL ve METOT

6.1 Numune Temin ve Hazırlama

Deneysel çalışmalarda kullanılan numune, Eti Maden İşletmeleri Emet Bor İşletmesi'ne ait Kütahya/Emet ilçesinde bulunan Espey Konsantratör tesisi stok sahasından temin edilmiştir (Resim 6.1). Ocaktan patlatma sonrası konsantratör tesisine nakledilen tüvenan cevher kırıcılarda boyut küçültme işlemini takiben yıkama-dağıtma ve sınıflandırma ünitelerine gönderilmektedir. Prosesden geçen cevher, tesis çıkışında boyuta göre satışa sunulmaktadır. Numune, tesis çıkışında yer alan ürünlerden -3mm tane boyutuna sahip % 32-36 B₂O₃ düşük tenörlü olarak tabir edilen stoktan alınmıştır. Numune, stoğun farklı noktalarından alınmıştır ve hava koşullarından etkilenecek farklı özellikler göstermesi ihtimali göz önünde bulundurularak, üzerindeki tabakanın sıyrılarak alınmasıyla numune temini sağlanmıştır.



Resim 6.1 Espey konsantratör tesisi stok sahası.

Stoktan alınan 200 kg'lık düşük tenörlü kolemanit numunesi deneysel çalışmalar için Afyon Kocatepe Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü Cevher Hazırlama ve Zenginleştirme Laboratuvarına getirilmiştir. 200 kg'lık numune çuvallardan boşaltılarak önce harmanlanarak ardından 65°C'ye ayarlı kurutma dolabında nemi uzaklaştırılmıştır (Resim 6.2). Harmanlanarak kurutulan numune, bölme işlemine tabi tutularak deneyler için eş numuneler hazırlanmıştır. Ardından 1'er kg'lık paketler halinde poşetlenmiştir. Numune bölme ve azaltma işlemlerinde konileme-dörtleme ve Jones Riffle Tip numune bölücü kullanılmıştır.



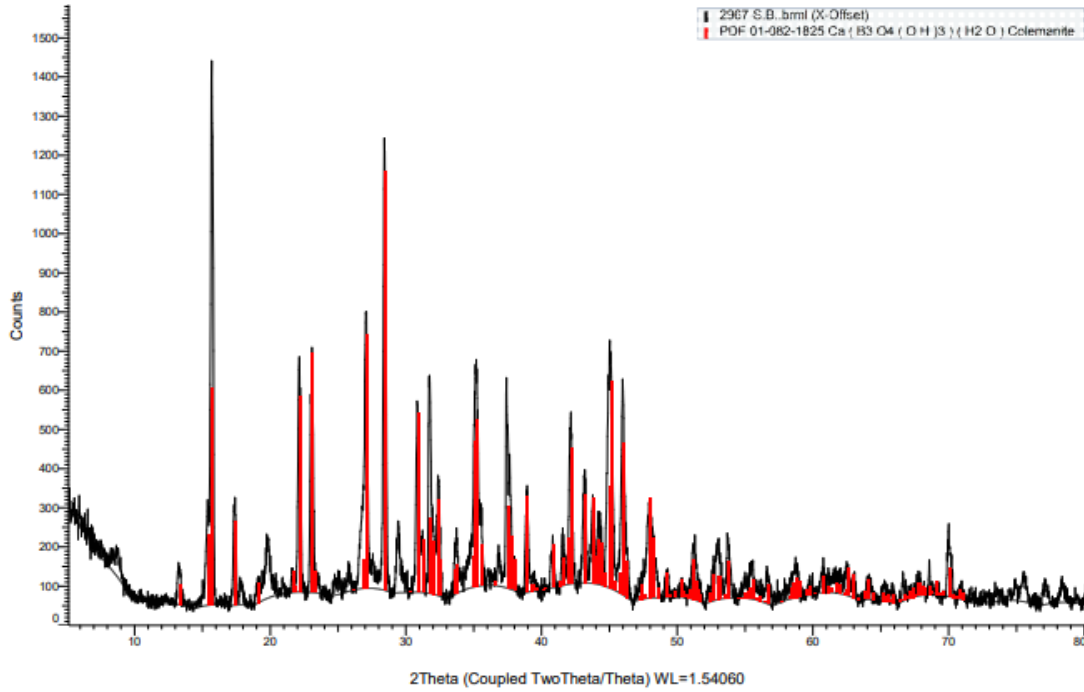
Resim 6.2 Deneysel çalışmalar için getirilen kolemanit numunesi.

6.2 Karakterizasyon çalışmaları

Çalışma koşullarının belirlenmesi amacıyla numune mineralojik analiz, kimyasal analiz, elek metal analizi olmak üzere bir dizi karakterizasyon testi işlemlerine tabi tutulmuştur.

6.2.1 Mineralojik analiz

Numunenin mineral bileşiminin saptanması amacıyla XRD analizi yaptırılmıştır. Hazırlanan analiz numunesi, Afyon Kocatepe Üniversitesi Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi (TUAM)’nde XRD çekimi ve analizi yaptırılmıştır. XRD analizi sonucunda numune içeriğinin kolemanitin yanı sıra önemli miktarda silisyum dioksit ve kalsiyum oksit içerdii belirlenmiştir (şekil 6.1).



şekil 6.1 Numunenin XRD analiz grafiği.

6.2.2 Kimyasal analiz

Numune içeriğindeki element miktarlarını belirlemek için malzeme halkalı değirmende öğütölerek numune azaltma işlemi yapılmıştır. Ardından kimyasal analiz için, Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü Emet Bor İşletmesi Analiz Laboratuvarlarına gönderilmiştir. Numuneye ait kimyasal analiz sonucu Çizelge 6.1’de verilmiştir. Çizelgedeki veriler incelendiğinde düşük tenörlü konsantrenin %32,90 B₂O₃ tenörü ile oldukça yüksek bir değere sahip olduğu görölmektedir.

Çizelge 6.1 Numunenin Kimyasal Bileşimi.

<i>Bileşik</i>	<i>Sonuç (%)</i>
B ₂ O ₃	32,90
SiO ₂	18,0
Fe ₂ O ₃	2,45
Al ₂ O ₃	5,65
CaO	17,00
MgO	4,82
SrO	1,59
SO ₄	0,129
Na ₂ O	0,113
As	105
K ₂ O	2,08
Kızdırma Kaybı (lg)	14,20
Kaba Nem	8,226

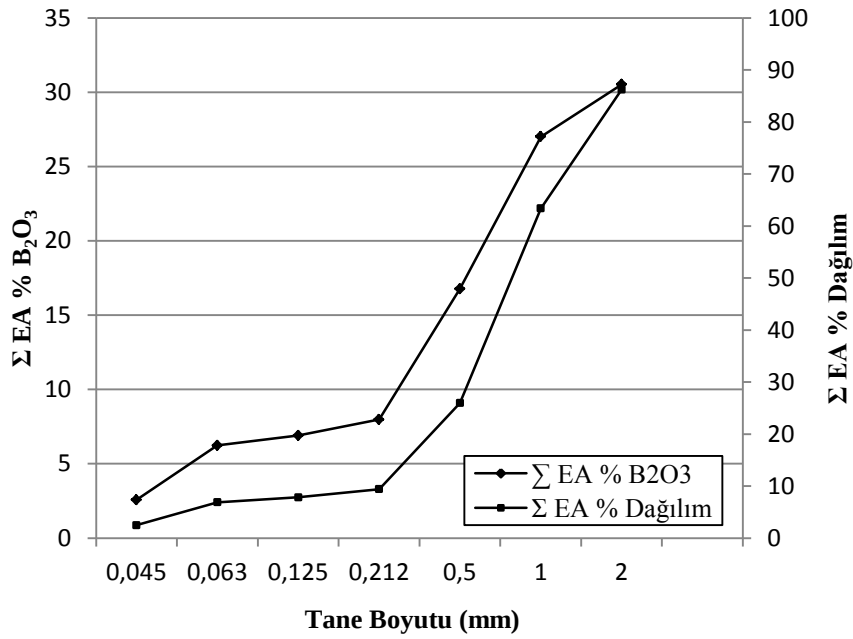
6.2.3 Elek-Metal analizi

Elek-Metal analizleri için numune hazırlama aşamasında poşetlenmiş malzemeden 1 adet numune alınmıştır. Numuneye ait tane boyut dağılımının belirlenebilmesi için 2 mm, 1 mm, 0,5 mm, 0,212 mm, 0,125 mm, 0,063 mm, 0,045 mm açıklıklı elekler kullanılmıştır. Numune görsel olarak incelendiğinde kil içeriğinin yüksek ve iri killi topakların mevcut olduğu görülmüştür. Bu nedenle çalışmaya mekanik karıştırıcıda açma deneyleri ile başlanmış açma deneyleri sonucu optimize edilen deney şartları ile elek-metal analizi yapılmıştır.

Numunenin optimum şartlarda mekanik karıştırıcıda açılmasının ardından belirlenen elekler kullanılarak numune elenmiştir. Elek analizi çalışmasının ardından fraksiyonlar ayrı ayrı susuzlandırılıp kurutulmuştur. Kurutma işlemini müteakip tartımları alınan ürünler kimyasal analize gönderilmek üzere halkalı değirmende uygun şartlarda (100 mikron altına geçecek şekilde) öğütülmüştür. Çalışma sonucunda elde edilen veriler Çizelge 6.2’de verilmiştir.

Çizelge 6.2 Elek Metal Analizi.

Tane Boyutu (mm)	% Ağ	% B ₂ O ₃	% Dağılım	Kümülatif Elek Altı ΣEA		
				% Ağ.	% B ₂ O ₃	% Dağılım
-3 + 2	9,30	47,61	13,79	100,00	32,11	100,00
-2 + 1	15,36	47,72	22,83	90,70	30,52	86,22
-1 + 0,5	25,62	46,90	37,42	75,34	27,01	63,39
-0,5 + 0,212	11,90	44,69	16,56	49,72	16,77	25,97
-0,212 + 0,125	1,35	37,23	1,57	37,82	7,98	9,41
-0,125 + 0,063	1,00	30,74	0,96	36,47	6,90	7,84
-0,063 + 0,045	4,50	31,38	4,40	35,47	6,23	6,88
-0,045	30,97	2,57	2,48	30,97	2,57	2,48
Besleme Malı Hesapla	100	32,11	100,00	-	-	-
Besleme Malı Analiz	-	32,90	-	-	-	-



Şekil 6.2 Elek- Metal eğrisi.

Çizelge 6.3’de elek analizine ait kimyasal analiz sonuçları karşılaştırmalı olarak verilmektedir. Çizelge incelendiğinde iri tane boyutlarında B₂O₃ tenörünün %47 civarında olduğu ancak tane boyutunun küçülmesi ile tenöründe düştüğü -0,045 mm tane boyutunda ise ani bir düşüş ile %2,57 B₂O₃ değerinde kaldığı görülmektedir.

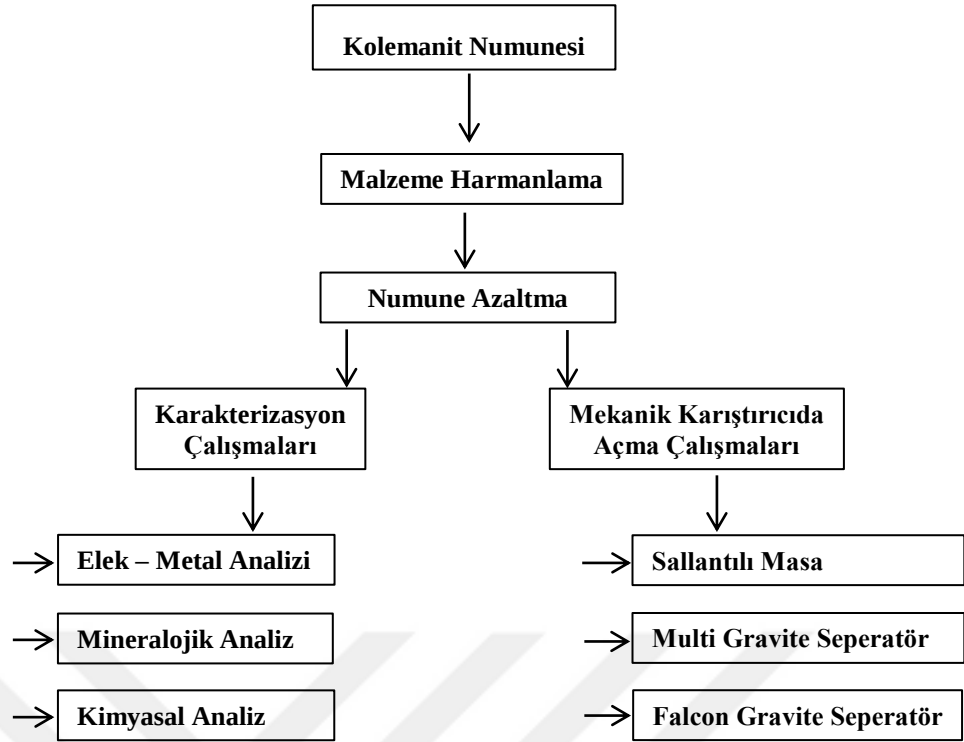
% SiO₂, %Fe₂O₃, %Al₂O₃, %MgO ve %K₂O verileri incelendiğinde ise tane boyutunun küçülmesiyle birlikte bu bileşenlerin miktarının da arttığı görülmektedir. Bu durum düşük tenörlü konsantre içeriğindeki mevcut kilin spodümen tip bir kil olduğuna işaret etmektedir.

Çizelge 6.3 Numunenin Kimyasal Bileşimin Tane Fraksiyonuna Göre Dağılımı.

Tane Fraksiyonu mm	B ₂ O ₃ %	SiO ₂ %	Fe ₂ O ₃ %	Al ₂ O ₃ %	CaO %	MgO %	SrO %	SO ₄ %	As (ppm)	Na ₂ O %	K ₂ O %
-3 + 2	47,61	0,78	0,3	-	26,4	0,75	1,94	0,0957	210	0,021	0,0346
-2 + 1	47,72	0,604	0,31	-	26,5	0,667	1,92	0,0784	190	0,0183	0,0611
-1 + 0.5	46,9	1,54	0,35	0,203	25,9	0,891	1,88	0,0918	272	0,0197	0,152
-0.5 + 0.212	44,69	3,73	0,48	0,769	24,4	1,39	1,83	0,203	579	0,0255	0,375
-0.212 + 0.125	37,23	7,3	0,85	1,78	22,3	2,19	1,72	0,0375	495	0,034	0,66
-0.125 + 0.063	30,74	11,3	1,28	2,79	19,5	3,17	1,59	0,123	838	0,0457	1,04
-0.063 + 0.045	31,38	10,5	1,01	2,55	20,3	2,75	1,6	0,14	1150	0,0469	1,09
-0,045	2,57	29	3,39	7,77	9,73	6,98	1,2	0,059	293	0,0803	2,39
BM Toplam	32,9	18	2,45	5,65	17	4,32	1,59	0,129	105	-	2,08

6.3. DeneySEL Çalışmaların Tasarlanması

Karakterizasyon çalışmaları sonucu elde edilen verilerden malzemenin %30 civarında kil içeriği olduğu ve bu kilin uzaklaştırılmasının gerekliliği görülmüştür. Kil atma çalışması ile kilin uzaklaştırılarak tenörün artırılabilceği saptanmıştır. Elde edilen veriler dikkate alınarak Şekil 6.3’de çalışmanın başından itibaren geçirilen aşamaları ve devamında uygulanan yöntemleri gösteren genel akım şeması oluşturulmuştur. Akım şemasından da anlaşılacağı üzere, çalışmaya öncelikle kil açma çalışmaları ile başlanmıştır ardından kil uzaklaştırmaya ait uygun yöntem belirlenmesi için bir dizi test yapılmıştır.



Şekil 6.3 Deneysel çalışmalara ait akım şeması.

6.4. Mekanik Karıştırıcıda Kil Açma Çalışması

Karakterizasyon çalışmaları sonucu elde edilen verilerden malzemenin %30 civarında kil içeriği olduğu ve bu kilin uzaklaştırılmasının gerekliliği görülmüştür. Kil açma çalışmalarında Heidolph RZR 2021 marka mekanik karıştırıcı kullanılmıştır. Daha önce hazırlanmış numune poşetlerinden alınarak hazırlanan %30, %50 ve %70 katı sıvı oranındaki malzemeler farklı sürelerde (15dk, 30,dk ve 45dk) ve farklı devirler de çalıştırılarak mekanik karıştırıcıda açma/dağıtma işlemine tabi tutulmuştur.

Mekanik karıştırıcı ile yapılan açma/dağıtma deneylerinde;

- ❖ Pervanenin taban yüksekliği
- ❖ Pervane tipi

sabit tutulup,

- ❖ Süre
- ❖ Pervane dönüş hızı
- ❖ Katı/Sıvı oranı

değiştirilerek malzeme üzerindeki etkileri incelenmiştir (Resim 6.3).



Resim 6.3 Mekanik karıştırıcı genel görünümü ve karıştırıcı pervane tipi.

Mekanik karıştırıcı da hazırlanan numuneler Resim 6.4’de gösterilmiştir. Numune cihaza ilk beslendiğinde malzemenin hareketlenmesi, askıda kalması, zaman içerisinde fiziksel görünümünün değişiklik göstermesi nedeniyle Çizelge 6.4’de görüldüğü gibi farklı devir hızlarında karıştırılarak optimize edilmeye çalışılmıştır.



(a)



(b)

Resim 6.4 Mekanik karıştırıcıda numune hazırlama.

Mekanik karıştırıcı ile kil açma çalışmalarında yapılan ön testlerde malzemenin askıda tutulması ve açılma durumu gözlemlenerek Çizelge 6.4’de verilen süre ve karıştırma hızları baz alınmıştır. Örneğin 15 dk süre ile mekanik karıştırıcı çalışmalarında 5 dk 1100 dev/dk geri kalan 10 dk’da ise 1400 dev/dk’da çalışılmıştır.

Çizelge 6.4 Mekanik Karıştırıcı Devir Hızları.

<i>Toplam Süre</i>	<i>Devir Hızı ve Süre Dağılımları</i>	
	5 dakika	10 dakika
15 dakika	1100 dev/dk	1400 dev/dk
	15 dakika	15 dakika
30 dakika	1100 dev/dk	1400 dev/dk
	25 dakika	20 dakika
45 dakika	1100 dev/dk	1400 dev/dk

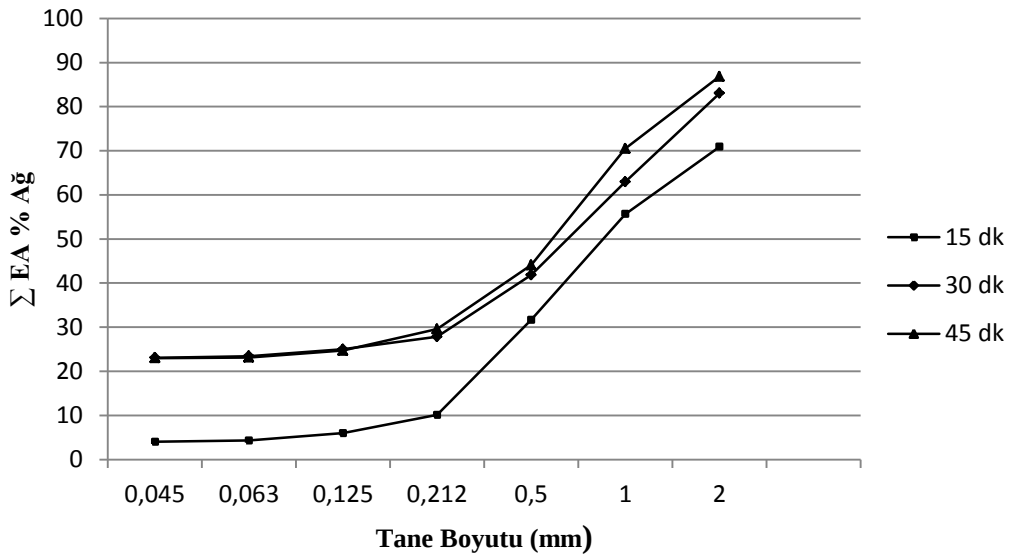
6.4.1 %30 Katı Oranında Mekanik Karıştırıcıda Kil Açma Deneyleri

Ön konsantre niteliğindeki malzeme içerisinde bulunan kolemanit ve kil minerallerini serbest hale getirmek için mekanik karıştırıcı kil açma ve dağıtma çalışmalarına %30 katı oranında başlanmıştır.

Çizelge 6.4’de verilen, süre ve devir değişimlerindeki uygulama koşulları kullanılarak 15, 30 ve 45 dakikalık karıştırma sürelerinde çalışılmıştır. Karıştırma süresi bitimini müteakiben malzemeye belirli elekler ile elek analizi yapılarak açılma ve sınıflandırma durumu gözlemlenmiştir. Çizelge 6.5’de %30 katı oranında yapılan çalışma için süre değişkeninde $\sum EA$ %Ağ değerine bağlı tane boyut dağılımları verilmiştir. Şekil 6.4’de ise çalışmaya ait $\sum EA$ %Ağ eğrileri hazırlanmıştır. Elde edilen veriler ışığında 45 dk’lık sürede yapılan çalışmada kil minerallerinin daha iyi dağıtılarak açıldığı tespit edilmiştir.

Çizelge 6.5 %30 PKO Mekanik Karıştırıcı Sonucu Tane Boyut Dağılımı.

Tane Boyutu (mm)	$\Sigma EA \% A\check{g}$		
	15 Dakika	30 Dakika	45 Dakika
-3 + 2	100,00	100,00	100,00
-2 + 1	70,9	83,01	86,84
-1 + 0,5	55,64	62,95	70,49
-0,5 + 0,212	31,68	41,82	44,08
-0,212 + 0,125	10,12	27,82	29,57
-0,125 + 0,063	5,97	24,97	24,71
-0,063 + 0,045	4,29	23,42	23,15
-0,045	4,01	23,08	23



Şekil 6.4 %30 katı oranında tane boyutuna bağlı Σ elek altı %Aġ eğrisi.

6.4.2 %50 Katı Oranında Mekanik Karıştırıcıda Kil Açma Deneyleri

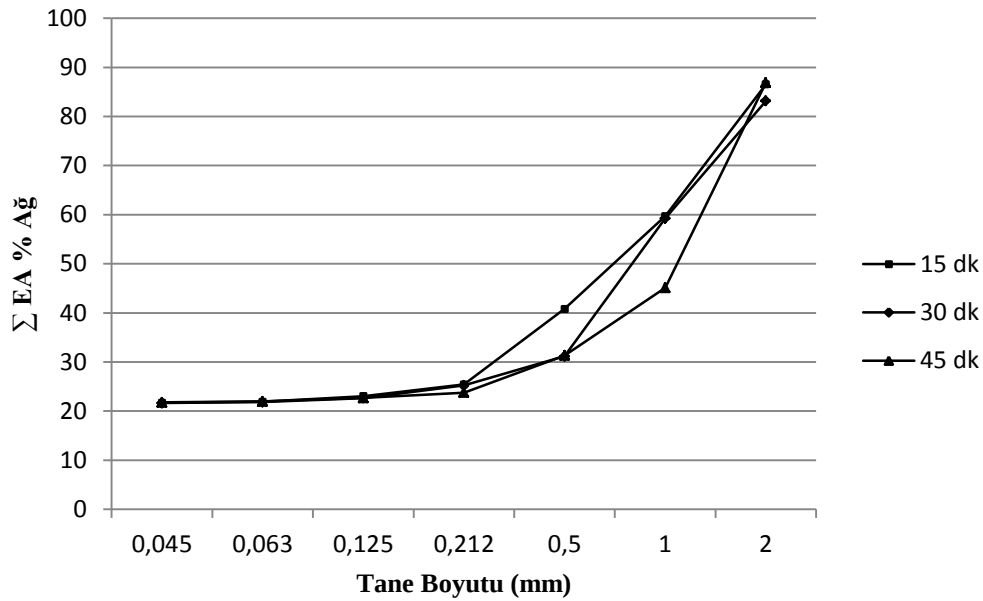
% 30 katı oranında 15 dakika 30 dakika 45 dakika mekanik karıştırıcıda açma dağıtma çalışmalarının ardından yapılan gözlemler ve analizler sonucu, %50 katı oranında çalışılmasına karar verilmiştir. Çizelge 6.4 göz önünde bulundurularak 15-30-45 dakikalık mekanik karıştırıcıda açma ve dağıtma çalışmaları yapılmıştır.

Karıştırma süresi bitimini müteakiben malzemeye elek analizi yapılarak açılma ve sınıflandırma durumu gözlemlenmiştir.

Çizelge 6.6'da %50 katı oranında yapılan çalışma için süre değişkeninde $\sum EA \%Ağ$ değerine bağlı tane boyut dağılımları verilmiştir. Şekil 6.5'de ise çalışmaya ait $\sum EA \%Ağ$ eğrileri hazırlanmıştır. Elde edilen veriler ışığında 45 dk'lık karıştırma süresinde yapılan çalışmada kil minerallerinin daha iyi dağıldığı tespit edilmiştir.

Çizelge 6.6 %50 PKO Mekanik Karıştırıcı Sonucu Tane Boyut Dağılımı.

Tane Boyutu (mm)	$\sum EA \%Ağ$		
	15 Dakika	30 Dakika	45 Dakika
-3 + 2	100,00	100,00	100,00
-2 + 1	86,55	83,16	86,87
-1 + 0,5	59,71	59,25	45,12
-0,5 + 0,212	40,81	31,15	31,31
-0,212 + 0,125	25,42	25,22	23,78
-0,125 + 0,063	23,06	22,66	22,69
-0,063 + 0,045	21,91	21,83	21,98
-0,045	21,72	21,63	21,79



Şekil 6.5 %50 katı oranında tane boyutuna bağlı $\sum$ elek altı %Ağ eğrisi.

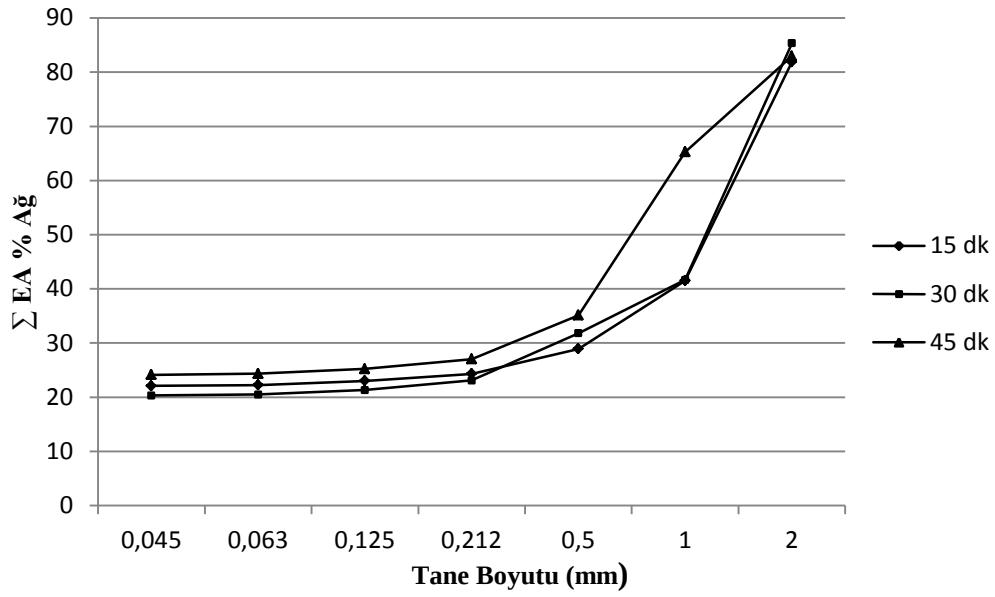
6.4.3 %70 Katı Oranında Mekanik Karıştırıcıda Kil Açma Deneyleri

% 50 katı oranında 15 dakika 30 dakika 45 dakika boyunca mekanik karıştırıcıda açma dağıtma çalışmalarının ardından yapılan gözlemler ve analizler sonucu, %70 katı oranında çalışılmasına karar verilmiştir. Bu çalışmada da Çizelge 6.4 göz önüne alınarak 15-30-45 dakikalık mekanik karıştırıcıda açma ve dağıtma çalışmaları yapılmıştır.

Karıştırma süresi bitimini müteakiben malzemeye elek analizi yapılarak açılma ve sınıflandırma durumu gözlemlenmiştir. Çizelge 6.7’de %70 katı oranında yapılan çalışma için süre değişkeninde elek altı değerine bağlı tane boyut dağılımları verilmiştir. Şekil 6.6’da ise çalışmaya ait elek altı eğrileri hazırlanmıştır. Elde edilen veriler ışığında 45 dk’lık sürede yapılan çalışmada kil minerallerinin daha iyi dağıtıldığı/açıldığı görülmüştür.

Çizelge 6.7 % 70 PKO Mekanik Karıştırıcı Sonucu Tane Boyut Dağılımı.

Tane Boyutu (mm)	$\Sigma EA \% Ağ$		
	15 Dakika	30 Dakika	45 Dakika
-3 + 2	100,00	100,00	100,00
-2 + 1	81,89	85,36	82,96
-1 + 0,5	41,51	41,66	65,25
-0,5 + 0,212	28,93	31,81	35,13
-0,212 + 0,125	24,31	23,11	27,04
-0,125 + 0,063	23,01	21,33	25,22
-0,063 + 0,045	22,24	20,5	24,35
-0,045	22,1	20,33	24,14



Şekil 6.6 %70 katı oranında tane boyutuna bağlı Σ elek altı %Ağ eğrisi.

6.4.4 Katı Oranlarının Belirlenmesi

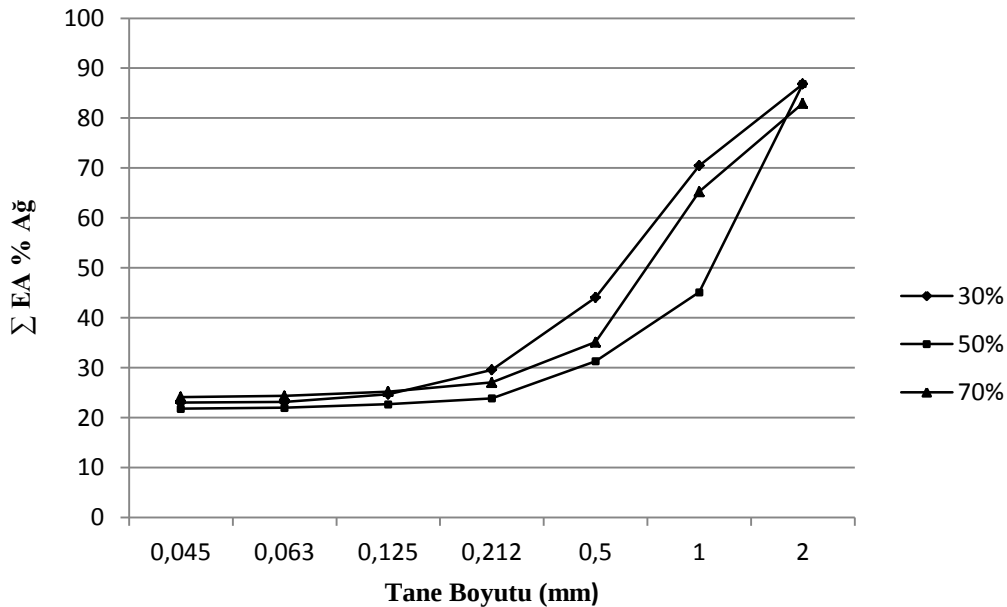
Pülpte katı oranları belirleme çalışmalarında 15 dakika, 30 dakika ve 45 dakika karıştırma süresinde %30, %50, %70 katı oranlarında deneyler yapılmıştır. Belirlenen sürelerde değişen pervane devir hızında, mekanik karıştırıcı pervanesi itme yönü yukarı doğrudur ve tek pervane kullanılarak deneyler yapılmıştır. Elde edilen deney sonuçları Çizelge 6.5, Çizelge 6.6 ve Çizelge 6.7’de verilmiştir.

Düşük tenörlü kolemanit konsantresinin killlerinden ayrılması için farklı katı oranlarında ve sürelerde 9 eş numune üzerinden yapılan aşındırma ile kil açma ve dağıtma deneyleri sonucunda en uygun katı oranı %50 pko, en uygun süre 45 dakika ve en uygun devir hızı ise ilk 25 dakika 1100 dev/dk, kalan 20 dakikada 1400 dev/dk olarak belirlenmiştir. Ediz vd. 2004’de yapmış oldukları, Kestelek Bor İşletmesi -3 mm klasifikatör çökeninin çeşitli pervaneli dağıtıcılar kullanarak zenginleştirmesi çalışmasında 10 farklı tipte pervane kullanmıştır. Seçtikleri pervane tipinde, pülpte katı oranı ve aşındırma sürelerini tespit etmişlerdir. 3’lü pervane tipinde, 1400 dev/dk pervane dönüş hızında, %50 katı oranında, -3+0.1 mm tane boyutundaki konsantreyi, 24 dk aşındırma süresi sonunda % 37,09 B₂O₃ tenör ve % 96,04 verimle elde edilebileceği açıklamışlardır.

Çalışmalarının sonucunda, her ne kadar, pülpde katı oranının ve aşındırma süresinin fazla olması durumunda, süspansiyona geçen kil miktarının artacağı, bu durumun ortamın viskozitesini artırarak tanelerin hareketini zorlaştıracağı ve sürtünme-aşındırma etkisinin azalacağı belirtilse de, çalışmamızda karıştırma süresi uzun tutularak tam açılma sağlanmış, gravite kuvvetten yararlanan cihazların seçilerek kullanımı ile ince boyuttaki malzemelerin uzaklaştırılması ve yakın verimle daha yüksek tenörlü ürünlerin elde edilmesi sağlanmıştır.

% 30 pko da yapılan çalışmada pülpdeki katı oranı az olması dolayısıyla tanelerin birbirine sürtünerek aşındırması zorlaştığı için tam olarak bir kil açma işlemi gerçekleştirilememiştir. %70 pko da ise, yüksek pko olması nedeniyle başlangıçta iyi bir açılma görülse de ilerleyen sürelerde balçık kıvamına geldiğinden makinayı zorladığı tespit edilmiştir.

Bütün çalışma koşulları incelendiğinde, 45 dakika karıştırma süresinde mekanik karıştırıcıda en iyi açma ve dağıtma çalışmasının Şekil 6.7’de görüldüğü üzere, %50 pko’da sağlandığı tespit edilmiştir.



Şekil 6.7 45 dakika süreye bağlı Σ elek altı %Ağ eğrisi.

7. ARAŞTIRMA ve BULGULAR

Araştırmada, stok sahasında bekletilen ortalama %32-36 B₂O₃ tenörüne sahip, tesiste “düşük tenörlü” olarak tabir edilen kolemanit ön konsantresi ile çalışılmıştır. Tesiste düşük tenörlü olması nedeniyle satışı yapılamayan ve stok sahasında hâlihazırda bekletilen düşük tenörlü kolemanit konsantresi içerisinde yer alan kilin uzaklaştırılarak tenörün satılabilir hale getirilmesi hedeflenmiştir. Bu kapsamda numunenin karakteristik özellikleri ve yapılan çalışmalar incelenerek; Sallantılı Masa, Multi Gravite Seperatör, Falcon Gravite Konsantratörünün kullanılarak kolemanit ön konsantresinden kilin uzaklaştırılmasında en etkin yöntemin belirlenmesi amaçlanmıştır.

7.1 Sallantılı Masa ile Yapılan Çalışmalar

Sallantılı masa ile yapılan çalışmada; mineraller ile safsızlıkları arasındaki yoğunluk ve boyut farklılıkları, akış sürecinde masanın eğimi ve ileri-geri salınım hareketi ile masa yüzeyindeki eşiklerin etkisi malzemeyi masa üzerinde yönlendirmektedir. Oluşan akış farklılıkları minerallerin konsantre, ara ürün ve atık olarak sınıflandırılmasını sağlamaktır.

Sallantılı masa ile yapılan deney çalışmaları, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Cevher Hazırlama Laboratuvarındaki Holman Wilfley 800 model laboratuvar/pilot ölçekli cihaz ile gerçekleştirilmiştir (Resim 7.1).

Sallantılı masa uygulama parametreleri çalışmalarında; eğim, salınım sayısı, genlik, yıkama ve besleme suyu miktarı değiştirilerek en uygun zenginleştirme koşulu saptanmaya çalışılmıştır (Çizelge 7.1).

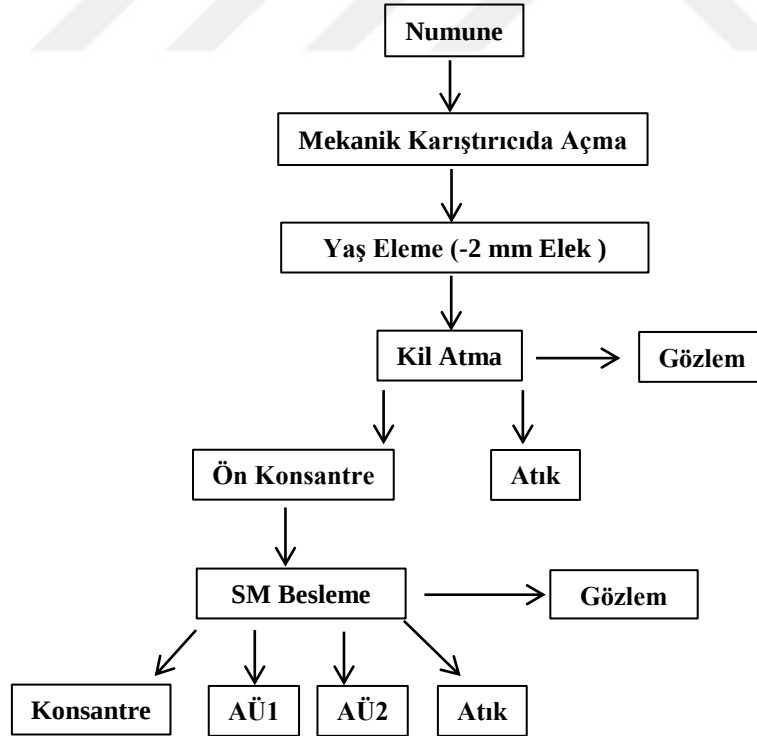
Çizelge 7.1 Sallantılı Masa Çalışma Parametreleri.

Tane Boyutu (mm)	Katı Oranı (%)	Besleme Süresi (dk)	Eğim (°)	Yıkama Suyu		
				Miktarı (m ³ /s)	Genlik (mm)	Hız (dev/dk)
-2	30	5	5	10	0,8	6
			6	15	1	7
			7	20	1,4	9

Sallantılı masada yapılan test çalışmaları iki kademedede gerçekleştirilmiştir. İlk kademedede, düşük tenörlü kolemanit konsantresinde bulunan kili uzaklaştırmak için kil atma deneyleri yapılmıştır. İkinci kademedede ise kilden uzaklaştırılan malzeme tekrar sallantılı masaya beslenerek malzeme üzerindeki etkisinin tespit edilmesi hedeflenmiştir. Sallantılı masa çalışmalarında toplam 20 farklı test gerçekleştirilmiştir. Şekil 7.1’de Sallantılı masa deneysel akım şeması gösterilmiştir.



Resim 7.1 Holman Wilfley 800 model laboratuvar/pilot ölçekli sallantılı masa.



Şekil 7.1 Sallantılı masa deneysel akım şeması.

7.1.1 Sallantılı Masa ile Kil Atma Çalışması

Sallantılı masaya beslenen kolemanit ön konsantresi mekanik karıştırıcıda optimize edilen %50 katı oranı 45 dk karıştırma süresi ve Çizelge 6.4’de belirtilen devir ayarları kullanılmıştır. Açma/dağıtma süresi sonunda numune -2 mm’lik elekten geçirilmiştir. Ardından %30 pko ayarlanarak sallantılı masaya beslemek için hazırlanmıştır. Erkan vd. 2003’te Hisarcık Bölgesi kolemanit konsantratör tesisi baraj atıklarının sallantılı masada zenginleştirilmesi çalışmalarında, %17,28 B₂O₃ tenöründe besledikleri atıktan %22,31 B₂O₃ tenörlü bir ürünü %42,38 verim ile elde etmişlerdir. Çalışmaları sonucunda ince boyutta şlam atmanın gerekliliğini belirtmişlerdir.

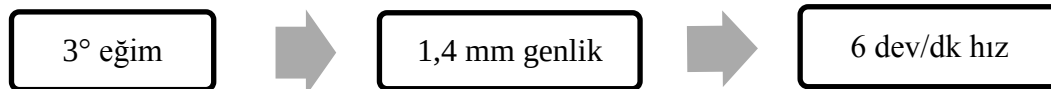
Düşük tenörlü kolemanit konsantresinden kil uzaklaştırmak amacıyla sallantılı masada kullanılan parametreler eğim, salınım sayısı, genlik, yıkama ve besleme suyu miktarı olmak üzere Çizelge 7.2’de verilen değerler seçilmiştir.

Çizelge 7.2 Kil Atma Parametreleri.

<i>Tane Boyutu (mm)</i>	<i>Katı Oranı (%)</i>	<i>Yıkama Suyu Miktarı (m³/s)</i>	<i>Besleme Süresi (dk)</i>	<i>Eğim (°)</i>	<i>Genlik (mm)</i>	<i>Hız (dev/dk)</i>
				2	0,8	5
-2	30	20	3	3	1	6
				4	1,4	9

Bu kademede, kolemanit ön konsantresinde bulunan kili uzaklaştırmak için yapılan kil atma deneylerinde %30 pko, 3 dk besleme süresi ve -2 mm tane boyutu sabit tutularak Çizelge 7.2’de verilen eğim, genlik ve hız değerlerinin farklı kombinasyonlarda denenmiştir. Her parametre kombinasyonu ile yapılan çalışma, besleme malının masa üzerindeki hareketleri, yönelimi ve toplandığı hazne çıkışları incelenerek gözleme dayalı olarak yorumlanmıştır.

Optimum sonuçlara,



değerlerinde ulaşılmıştır. Bu çalışma sonucu elde edilen ürünlere ait %Ağırlık ve

%B₂O₃ tenörü Çizelge 7.3’de verilmiştir. Çizelgeden de anlaşılacağı üzere kil atma çalışması sonunda %98,07 verim ve %43,66 B₂O₃ tenörü ile konsantre elde edilmiştir. Atık tenörü ise %1,66 B₂O₃ olarak analiz edilmiştir.

Çizelge 7.3 Kil Atma Deneyi Sonuçları.

	% Ağ	% B ₂ O ₃	% Verim
Konsantre	65,86	43,66	98,07
Kil	34,15	1,66	1,93
Toplam	100	29,32	100,00

Optimum kil atma parametrelerinin belirlenmesinin ardından sallantılı masa ile zenginleştirme çalışmalarına geçilmiştir. Ancak bu aşamada besleme malı olarak kullanılan malzemeye optimum parametreler kullanılarak kil atma çalışması yapılmış ardından zenginleştirme çalışmalarına geçilmiştir. Kilden uzaklaştırılan malzeme tekrar sallantılı masaya beslenerek tenör verim değişiklikleri incelenmiştir. Sallantılı masaya kil atma çalışmasının ardından beslenen malzemenin tenörü ise % 45,80 B₂O₃ olarak analiz edilmiştir.

7.1.2 Sallantılı Masa ile Zenginleştirme

Sallantılı masa deneylerinde masa yüzeyinin temiz olmasına dikkat edilmiştir. Masa çalıştırıldığında masa yüzeyi tamamen su filmi ile kaplanıncaya kadar beklenmiştir. Çizelge 7.1’de verilen parametreler ışığında yapılan çalışmalarda, %30 pko, -2 mm tane boyutlu malzeme, 5 dk besleme süresi sabit tutularak, eğim, genlik, hız ve yıkama suyu miktarı değişken parametreleri kullanılmıştır. Deney sonucunda konsantre, ara ürün ve atık olarak nitelenen ürünler masanın farklı bölmelerinden elde edilmiştir.

Sallantılı masalarda kolemanit ön konsantresine bağlı olarak eğim, salınım sayısı, genlik, yıkama ve besleme suyu miktarları etkisinin araştırılması üzerine yapılan deneylerden elde edilen sonuçlar sırasıyla Çizelge 7.4, Çizelge 7.5, Çizelge 7.6 ve Çizelge 7.7’de verilmiştir. Her bir parametre için yapılan deney gruplarından (tenör ve verim açısından) elde edilen optimum değerler bir sonraki deneylerde sabit parametreler

olarak alınmıştır. Bu aşamada yapılan çalışmada, çizelge 6.2’de görüldüğü gibi tane boyutunun azalmasıyla % B₂O₃ tenör değerlerinin azaldığı ve %46 B₂O₃ tenörünün altında olduğu görülmektedir. Sallantılı masada kil atma çalışmalarından sonra tekrar zenginleştirme çalışmaları yapılarak bu düşük tenör değerlerinin %46 B₂O₃ seviyelerine çıkarılması hedeflenmiştir.

Çizelge 7.4 incelendiğinde eğim 6°, hız 7dev/sn, genlik 1,4mm, 10, 15 ve 20 m³/s olan su miktarlarının artışına bağlı olarak en uygun konsantre sonucuna 20 m³/s yıkama suyunda %45,13 B₂O₃ tenör ve % 24,33 B₂O₃ verim ile ulaşılmıştır. Ancak ara ürünler ve atık da değerlendirmeye alındığında sonuçların yetersiz olduğu görülmüştür.

Çizelge 7.4 Sallantılı Masada Farklı Besleme Su Miktarında Tenör-Verim Değerleri.

<i>Yıkama Suyu Miktarı (m³/s)</i>	<i>Ürünler</i>	<i>%Ağ</i>	<i>%B₂O₃</i>	<i>%Verim</i>
10	Konsantre	18,8	44,52	18,42
	AÜ1	36,06	45,81	36,35
	AÜ2	22,13	46,15	22,47
	Atık	23,01	44,95	22,76
	BM	100	45,80	100,00
15	Konsantre	16,78	44,55	16,38
	AÜ1	26,24	46,39	26,68
	AÜ2	18,95	46,49	19,31
	Atık	38,03	45,15	37,63
	BM	100	45,80	100,00
20	Konsantre	24,54	45,13	24,33
	AÜ1	27,31	45,92	27,56
	AÜ2	29,82	45,94	30,10
	Atık	18,33	44,71	18,01
	BM	100	45,80	100,00

Çizelge 7.5 incelendiğinde sallantılı masanın hız 7dev/sn, genlik 1,4mm, besleme su miktarı 20m³/s, 5, 6, 7 derece eğimlerde çalıştırılması eğim artışına bağlı olarak tenör ve verimin önce çıktığı ardından düştüğü görülmüştür.

Eğim artışı sonucu elde edilen veriler incelendiğinde en uygun konsantre eldesi sonucuna 6° eğimde %45,13 B₂O₃ tenör ve % 24,33 B₂O₃ verim ile elde edildiği sonucuna varılmıştır. Ancak ara ürünler ve atık da değerlendirmeye alındığında sonuçların yetersiz olduğu görülmüştür.

Çizelge 7.5 Sallantılı Masada Farklı Eğimlerde Tenör-Verim Değerleri.

<i>Eğim (°)</i>	<i>Ürünler</i>	<i>%Ağ</i>	<i>%B₂O₃</i>	<i>%Verim</i>
5	Konsantre	14,85	44,03	14,47
	AÜ1	22,59	45,63	22,81
	AÜ2	33,73	44,68	33,35
	Artık	28,83	46,05	29,38
	BM	100	45,80	100,00
6	Konsantre	24,54	45,13	24,33
	AÜ1	27,31	45,92	27,56
	AÜ2	29,82	45,94	30,10
	Artık	18,33	44,71	18,01
	BM	100	45,80	100,00
7	Konsantre	2,32	42,61	2,16
	AÜ1	10,21	45,75	10,20
	AÜ2	19,77	46,24	19,96
	Artık	67,7	45,8	67,69
	BM	100	45,80	100,00

Çizelge 7.6 incelendiğinde sallantılı masanın eğim 6°, genlik 1,4mm, besleme su miktarı 20m³/s, hız 6, 7, 9 dev/sn'de çalıştırılmasına bağlı olarak tenör ve verimin önce çıktığı ardından düştüğü görülmüştür. Saniyedeki devir artışı değerlendirildiğinde en uygun konsantre eldesi sonucuna 7 dev/sn'de %45,13 B₂O₃ tenör ve % 24,33 B₂O₃ verim ile elde edildiği sonucuna varılmıştır. Ancak ara ürünler ve atık da değerlendirmeye alındığında sonuçların yetersiz olduğu görülmüştür.

Çizelge 7.6 Sallantılı Masada Farklı Hızlarda Tenör - Verim Değerleri.

Hız (dev/sn)	Ürünler	%Ağ	%B ₂ O ₃	%Verim
6	Konsantre	3,15	41,93	2,89
	AÜ1	7,1	44,9	6,97
	AÜ2	42,47	45,93	42,66
	Atık	47,28	45,91	47,48
	BM	100	45,80	100,00
7	Konsantre	24,54	45,13	24,33
	AÜ1	27,31	45,92	27,56
	AÜ2	29,82	45,94	30,10
	Atık	18,33	44,71	18,01
	BM	100	45,80	100,00
9	Konsantre	20,14	44,61	19,68
	AÜ1	26,7	45,89	26,84
	AÜ2	23,61	46,14	23,86
	Atık	29,55	45,78	29,63
	BM	100	45,80	100,00

Çizelge 7.7 incelendiğinde sallantılı masanın eğim 6°, hız 7dev/sn, besleme su miktarı 20 m³/s, genliğinin 0,8 - 1 - 1,4 mm değerlerine ayarlanması ile yapılan çalışmalarda tenör ve verimin genlik değerinin artışıyla birlikte arttığı tespit edilmiştir. Genlik 1,4 mm değerinde ulaşılan konsantre için en uygun sonuçlara ise %45,13 B₂O₃ tenör ve % 24,33 B₂O₃ verim ile elde edildiği sonucuna varılmıştır. Ancak ara ürünler ve atık da değerlendirmeye alındığında sonuçların yetersiz olduğu görülmüştür.

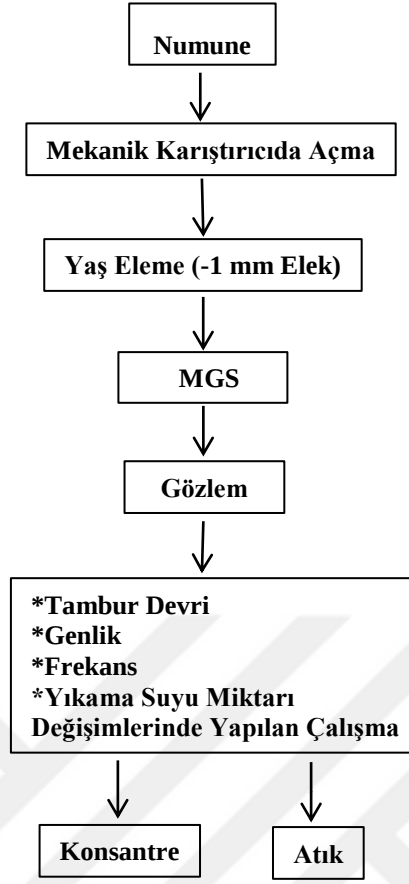
Çizelge 7.7 Sallantılı Masada Farklı Genliklerde Tenör-Verim Değerleri.

<i>Genlik (mm)</i>	<i>Ürünler</i>	<i>%Ağ</i>	<i>%B₂O₃</i>	<i>%Verim</i>
0,8	Konsantre	19,85	44,91	19,62
	AÜ1	23,98	46,01	24,28
	AÜ2	28,04	45,47	28,06
	Atık	28,13	45,3	28,04
	BM	100	45,80	100,00
1	Konsantre	21,15	44,83	20,74
	AÜ1	22,52	46,24	22,78
	AÜ2	24,8	45,95	24,93
	Atık	31,53	45,75	31,55
	BM	100	45,80	100,00
1,4	Konsantre	24,54	45,13	24,33
	AÜ1	27,31	45,92	27,56
	AÜ2	29,82	45,94	30,10
	Atık	18,33	44,71	18,01
	BM	100	45,80	100,00

Sallantılı masada yapılan zenginleştirme çalışmaları sonucunda ilgili çizelgeler incelendiğinde atık ve konsantre değerleri arasında bir fark olmadığı analizler ile tespit edilmiştir. Sallantılı masa için kil atmanın en uygun ve yeterli bir yöntem olduğu, % 45,80 B₂O₃ tenörünün satılabilir nitelik taşıdığı sonucuna varılmıştır.

7.2 Multi Gravite Seperatör (MGS) Deneysel Çalışmaları

Multi Gravite Seperatör (MGS) ünitesine beslenen düşük tenörlü kolemanit konsantresinin hazırlanmasında mekanik karıştırıcıda optimize edilen %50 katı oranı 45 dk karıştırma süresi ve Çizelge 6.4’de belirtilen devir ayarları kullanılmıştır. Açma/dağıtma süresi sonunda numune -1 mm’lik elekten geçirilerek %30 pko ayarlanıp MGS’ye beslemek üzere hazırlanmıştır. MGS deneysel akım şeması Şekil 7.2’de gösterilmiştir.



Şekil 7.2 MGS deneysel akım şeması.

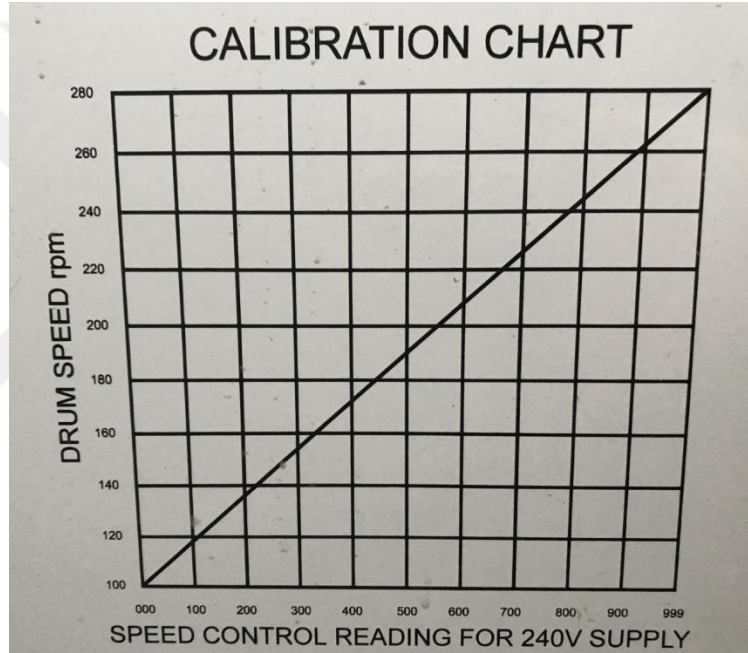
MGS ünitesinde; tambur dönüş hızı ve eğimi, titreşim genliği ve frekansı, yıkama suyu miktarı ve besleme katı/sıvı oranı işletme parametreleri; tane boyutu da cevher özelliği olarak önemlidir. Söz konusu bu parametrelerin optimum değerleri bazı koşullar sabit tutulmak üzere belirlenmeye çalışılmıştır (Çizelge 7.8).

Çizelge 7.8 MGS Çalışma Parametreleri.

Tane Boyutu (mm)	Katı Oranı (%)	Besleme Süresi (dk)	Eğim Açısı (°)	Tambur Dönüş Hızı (dev/dk)	Yıkama Suyu Miktarı (l/dk)	Genlik (mm)	Frekans (dev/sn)
-1	30	7	3	240	2	10	4
				260	4	15	4,8
				280	5	20	5,7
					6		

Her deney için mekanik karıştırıcıda açma/dağıtma işlemine tabi tutulan ve -1 mm'ye elenerek hazırlanan yaklaşık 3 kg numune kullanılmıştır. -1 mm boyutuna elenerek hazırlanan numune, 2,3 l/dk pülp besleme hızına ayarlanan prestaltik pompa ile yapılmıştır.

Tambur dönüş hızı (240, 260, 280 dev/dk) (Resim 7.2), titreşim genliği (0,8, 1, 1,4 mm), tambur eğimi, titreşim frekansı, yıkama suyu miktarı ve besleme katı oranının etkisini araştırmak üzere farklı parametrelerde yapılan deneylerden elde edilen sonuçlar sırasıyla verilmiştir.



Resim 7.2 MGS kalibrasyon şeması.

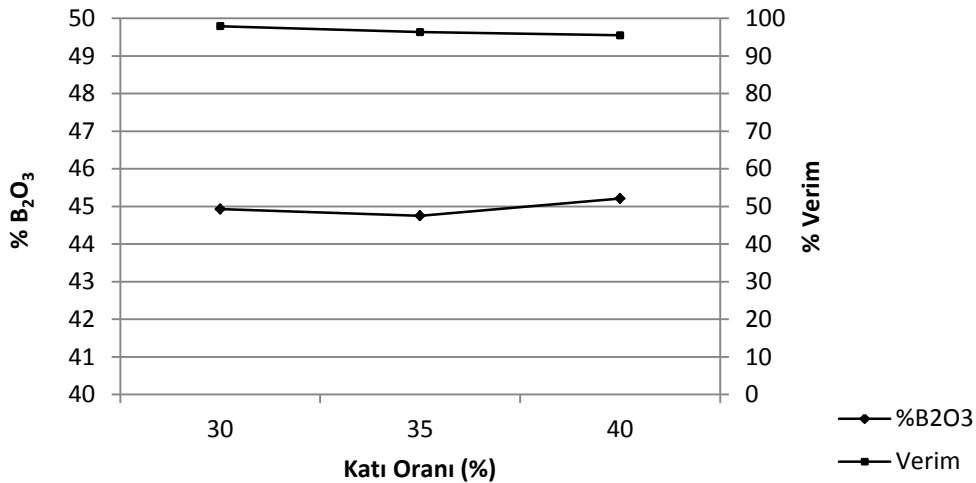
Her bir parametre için yapılan deney gruplarından (tenör ve verim açısından) elde edilen veriler karşılaştırılarak en uygun değerler bir sonraki deneylerde sabit parametreler olarak alınmıştır. Her parametrenin sabit kabul edilen ilk değerleri, literatürdeki ortalama değerlerdir.

MGS ile yapılan deneylerde, tambur dönüş hızı, titreşim genliği, titreşim frekansı, yıkama suyu miktarı ve besleme katı oranının kolemanit ön konsantresinden kili uzaklaştırmaya etkisi araştırılmıştır.

İlk olarak sabit tambur dönüş hızı 260 dev/dk, su 4 l/dk, frekans 4 dev/sn, genlik 20 mm olan farklı katı oranlarında (%30, %35, %40), düşük tenörlü kolemanitten kil ayırmaya MGS'nin etkisine bakılmıştır. Çizelge 7.9 ve Şekil 7.3'deki veriler incelendiğinde %30 pülpte katı oranında verim %97,91, %35 pülpte katı oranında verim %96,36 ve %40 pülpte katı oranında verim %95,48 olduğu tespit edilmiştir. Elde edilen verilerden anlaşılacağı üzere %30 pülpte katı oranında daha iyi bir ayırım yapılmış ve verim artışı elde edilmiştir.

Çizelge 7.9 MGS Farklı Katı Oranlarında Tenör-Verim Değerleri.

% Katı Oranı	Ürünler	% Ağ	%B ₂ O ₃	%Verim
30	Konsantre	61	44,93	97,91
	Atık	39	1,5	2,09
	BM	100	27,99	100,00
35	Konsantre	54,80	44,75	96,36
	Atık	45,20	2,05	3,64
	BM	100	25,45	100,00
40	Konsantre	52,33	45,21	95,48
	Atık	47,67	2,35	4,52
	BM	100	24,78	100,00

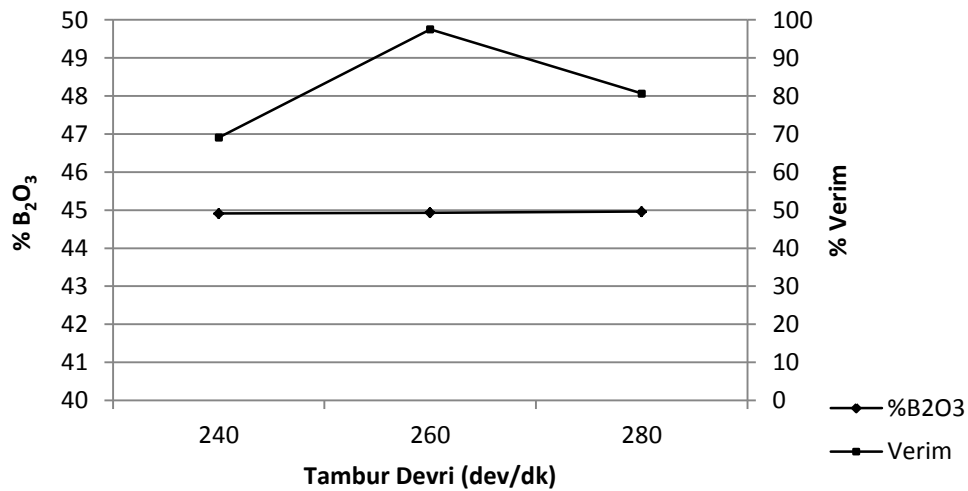


Şekil 7.3 Değişen katı oranı değerlerine göre tenör-verim eğrisi.

Belirlenen katı oranında çalışma verimini daha da artırmak için, pülpde katı oranı % 30 olarak sabit alınmış, yıkama suyu 4 l/dk, frekans 4 dev/sn, genlik 20 mm alınarak farklı tambur devirlerinde MGS'nin ayırmaya etkisine bakılmıştır. Çizelge 7.10 ve Şekil 7.4'de verilen veriler incelendiğinde 240 dev/dk'da verimin %69,10, 260 dev/dk'da verimin %97,51 ve 280 dev/dk'da verimin %80,64 olduğu görülmüştür. Yapılan bu çalışmada elde edilen verilere incelendiğinde 240 dev/dk'da tambur yavaş döndüğü için malzemenin atığa kaçtığı ve 280 dev/dk'da ise tambur çok hızlı döndüğü için malzemenin tambura yapıştığı görülmüştür. Bu sebeplerden dolayı tambur devri için en iyi parametre 260 dev/dk olarak belirlenmiştir.

Çizelge 7.10 MGS Farklı Tambur Devirlerinde Tenör-Verim Değerleri.

Tambur Devri (dev/dk)	Ürünler	% Ağ	%B ₂ O ₃	%Verim
240	Konsantre	41,69	44,91	69,10
	Atık	58,31	14,36	30,90
	BM	100,00	27,1	100,00
260	Konsantre	56,71	44,93	97,51
	Atık	43,29	1,50	2,49
	BM	100,00	26,13	100,00
280	Konsantre	48,44	44,96	80,64
	Atık	51,56	10,14	19,36
	BM	100	27,01	100,00

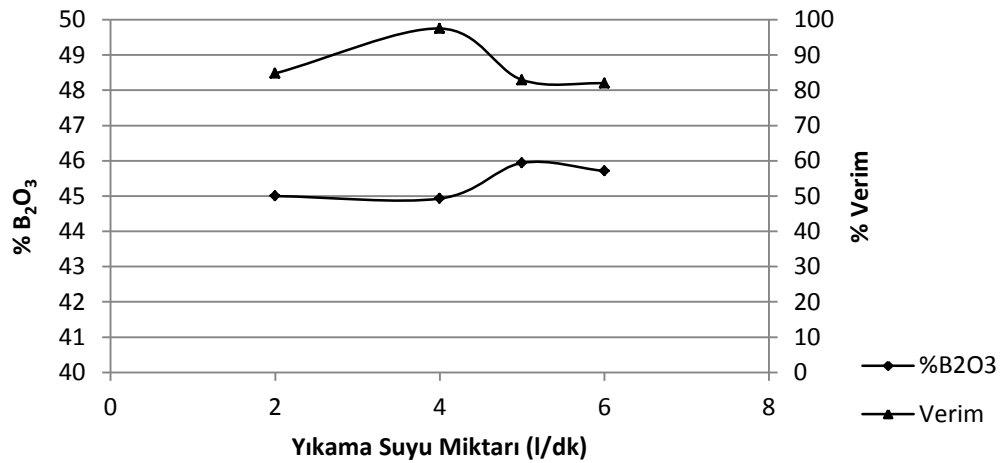


Şekil 7.4 Değişen tambur devri (dev/dk) değerlerine göre tenör-verim eğrisi.

Çizelge 7.11 ve Şekil 7.5’de verilen veriler incelendiğinde % 30 katı oranında, frekans 4 dev/sn, genlik 20 mm, tambur devri 260 dev/dk, yıkama suyu miktarı değişkenleri 2, 4, 5, 6 l/dk olarak belirlenen deneyler gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde 4 l/dk yıkama suyu miktarında %44,93 B₂O₃ konsantre %97,51 verimle elde edilmiştir. Bu kısımdaki atık %1,5 B₂O₃ tenörüne sahipken verimi %2,49’dur.

Çizelge 7.11 MGS Farklı Yıkama Suyu Miktarlarında Tenör-Verim Değerleri.

Yıkama Suyu (l/dk)	Ürünler	%Ağ	%B ₂ O ₃	%Verim
2	Konsantre	50,96	45,00	84,78
	Atık	49,04	8,39	15,22
	BM	100,00	27,05	100,00
4	Konsantre	56,71	44,93	97,51
	Atık	43,29	1,5	2,49
	BM	100	26,13	100,00
5	Konsantre	48,90	45,94	82,94
	Atık	51,10	9,04	17,06
	BM	100,00	27,08	100,00
6	Konsantre	48,44	45,71	81,97
	Atık	51,56	9,44	18,03
	BM	100,00	27,01	100,00



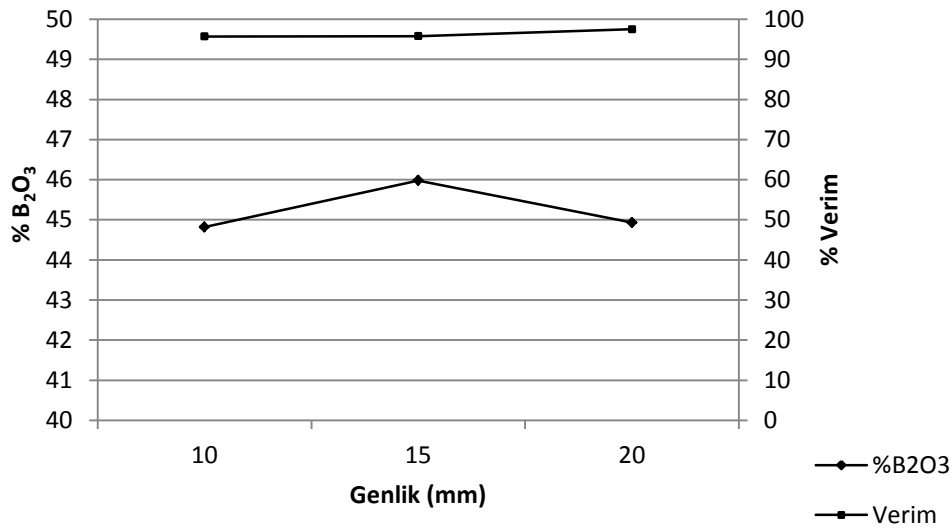
Şekil 7.5 Değişen yıkama suyu miktarı (l/dk) değerlerine göre tenör-verim eğrisi.

Çizelge 7.12 ve Şekil 7.6’da görüldüğü üzere % 30 katı oranında, frekans 4 dev/sn, tambur devri 260 dev/dk, yıkama suyu miktarı 4 l/dk, genlik değerinin değişimi baz alınarak bir dizi test yapılmıştır.

Elde edilen veriler incelendiğinde genlik değerindeki artış ile birlikte konsantre tenörlerinde kayda değer bir değişiklik gözlenmez iken verim %97,51 değerine ulaşmıştır. Bu çalışmada atık tenörü %1,5 B₂O₃ olarak analiz edilmiştir.

Çizelge 7.12 MGS Farklı Genliklerde Tenör-Verim Değerleri.

Genlik (mm)	Ürünler	%Ağ	%B ₂ O ₃	%Verim
10	Konsantre	53,95	44,82	95,72
	Atık	46,05	2,35	4,28
	BM	100,00	25,26	100,00
15	Konsantre	56,46	45,98	95,79
	Atık	43,54	2,62	4,21
	BM	100,00	27,10	100,00
20	Konsantre	56,71	44,93	97,51
	Atık	43,29	1,50	2,49
	BM	100,00	26,13	100,00



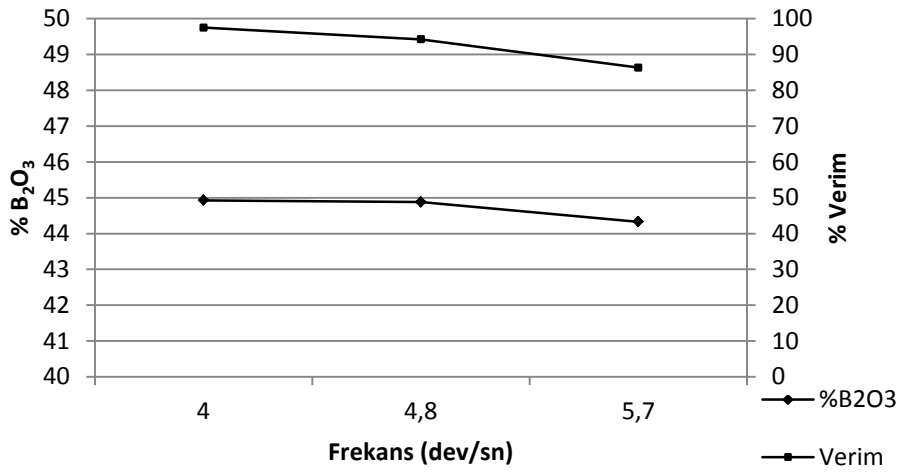
Şekil 7.6 Değişen genlik (mm) değerlerine göre tenör-verim eğrisi.

Çizelge 7.13 ve Şekil 7.7’de optimize edilen veriler ışığında % 30 katı oranında, tambur devri 260 dev/dk, yıkama suyu miktarı 4 l/dk, genlik 20 mm frekans değerinde yapılan değişikliğin tenör verim üzerine etkisi incelenmiştir. Frekans değerleri 4 – 4,8 ve 5,7 dev/sn olarak ayarlanmıştır. Frekans değerindeki artışa bağlı olarak konsantre tenörü ve verimi azalırken atığın tenörü ve verimi artmaktadır.

Elde edilen veriler ışığında en uygun frekans değerinin 4 dev/sn olarak değerlendirilmesi gerektiği tespit edilmiştir.

Çizelge 7.13 MGS Farklı Frekanslarda Tenör-Verim Değerleri.

Frekans (dev/sn)	Ürünler	% Ağ	%B ₂ O ₃	%Verim
4	Konsantre	56,71	44,93	97,51
	Atık	43,29	1,50	2,49
	BM	100,00	26,13	100,00
4,8	Konsantre	55,45	44,88	94,27
	Atık	44,55	3,40	5,73
	BM	100,00	26,4	100,00
5,7	Konsantre	52,39	44,33	86,34
	Atık	47,61	7,72	13,66
	BM	100,00	26,9	100,00



Şekil 7.7 Değişen frekans (dv/sn) değerlerine göre tenör-verim eğrisi.

MGS ile yapılan çalışmalar ile en uygun sonuca;

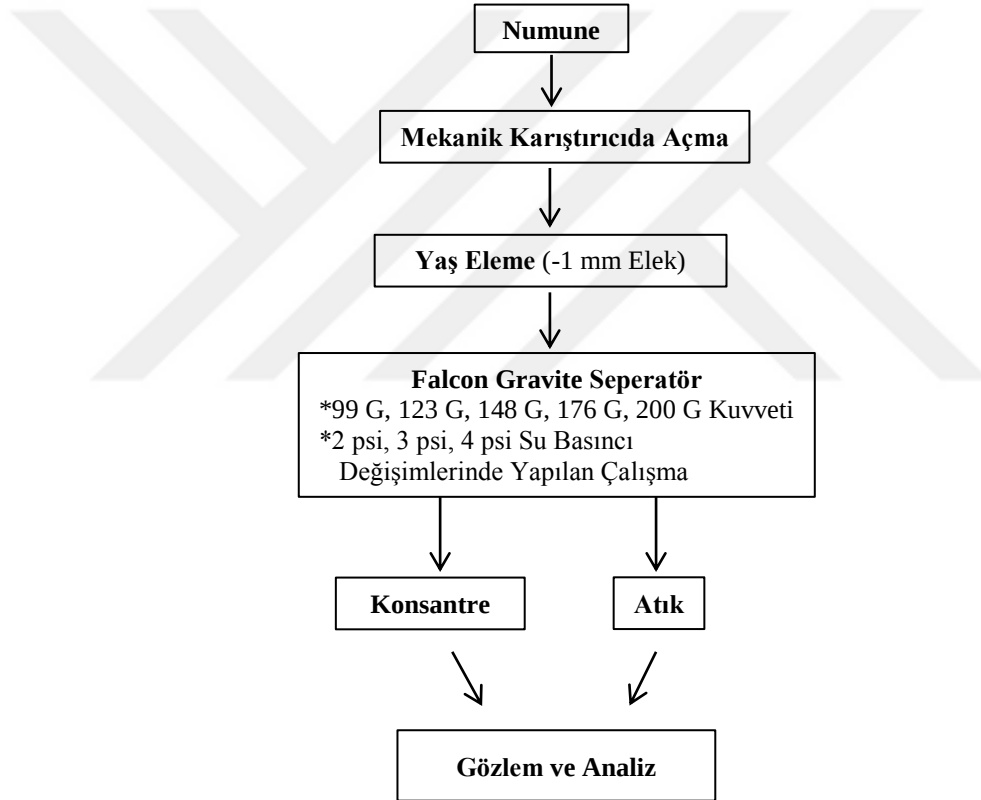


çalışma parametreleri ile varılmıştır. Çalışma ile %44,93 B₂O₃ tenöre ve %97,51 verime sahip nihai ürün elde edilmiştir. Atık tenörü ise %1,50 B₂O₃ olarak analiz edilmiştir.

7.3 Falcon Gravite Seperatör Deneysel Çalışmaları

Falcon Gravite Seperatör ünitesine beslenen düşük tenörlü kolemanit konsantresinin hazırlanmasında mekanik karıştırıcıda optimize edilen %50 katı oranı 45 dk karıştırma süresi ve Çizelge 6.4’de belirtilen devir ayarları kullanılmıştır.

Mekanik karıştırıcıda açma/dağıtma süresi sonunda numune -1 mm’lik elekten elenerek %20 pko ayarlanmıştır. Falcon Gravite Seperatör’e beslemek üzere hazırlanan malzemeye ve çalışmaya ait genel akım şeması Şekil 7.8’de verilmiştir.



Şekil 7.8 Falcon Gravite Seperatör genel akım şeması.

Falcon Gravite Seperatöre beslenen düşük tenörlü kolemanit konsantresi bazı parametreler sabit tutulmak üzere, optimum zenginleştirme parametreleri belirlenmeye çalışılmıştır. Falcon Gravite Seperatör ile yapılan testlerde yaklaşık 500g’lık eş numuneler kullanılmıştır.

Deneylerde; besleme miktarı, tane boyutu, pülpte katı oranı sabit tutularak, G kuvveti ve su basınçları değiştirilmek üzere farklı parametreler denenmiştir (Çizelge 7.14). Bu eş numuneler ayrı ayrı mekanik açma/dağıtma yapılarak hazırlanmıştır. Malzeme - 1 mm boyutuna elenerek 0,5 l/dk pülp besleme hızı ile cihaza beslenmiştir.

Çizelge 7.14 Falcon Gravite Seperatör Çalışma Parametreleri.

<i>Tane Boyutu (mm)</i>	<i>Pülpte Katı Oranı (%)</i>	<i>G Kuvveti</i>	<i>Su Basıncı (psi)</i>
-1	20	99	2
		123	
		148	3
		176	
		200	4

Deneylerde kullanılan besleme malı için pülpte katı oranı %20 olarak seçilmiştir. Diğer bir değişken olan G kuvveti (99, 123, 148, 176, 200 G) ve su basınç (2, 3, 4 psi) değişimlerinde bir grup deneyler yapılmıştır. Falcon Gravite Seperatörde malzemenin ayrılabilmesi için kullanılan G Kuvveti; Frekans (Hz) , Motor hızı (rpm), ve Rotor hızı (rpm)'nın bir kombinasyonu ile oluşmaktadır. Çizelge 7.15'de G Kuvvetini elde etmek için cihaz üzerinde seçilmesi gereken frekans değerleri verilmektedir.

Falcon Gravite Seperatör ile yapılan deneylerde, G kuvvetinin ve su basıncının düşük tenörlü kolemanit konsantresindeki kili uzaklaştırmaya etkisi araştırılmıştır.

İlk deneysel çalışma olarak 99 G kuvvetinin 2 psi, 3 psi ve 4 psi su basıncında kil kolemanit ayırmasına etkisi araştırılmıştır (Çizelge 7.16).

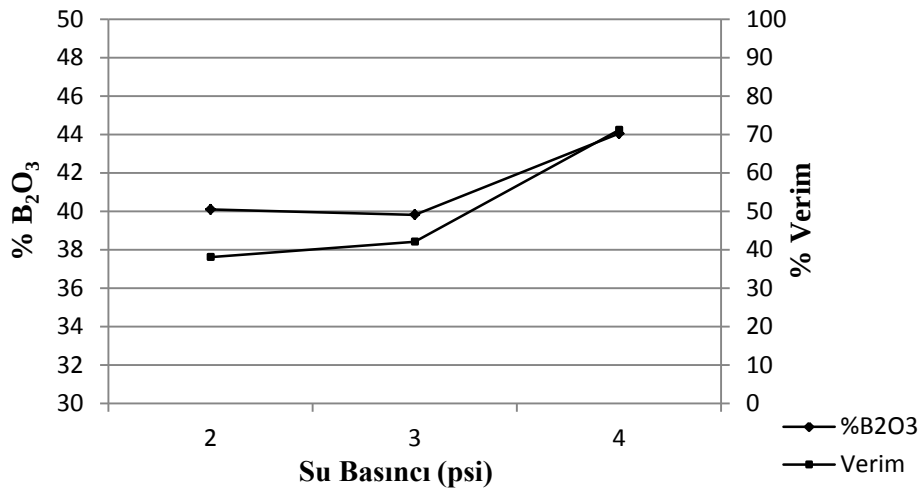
Çizelge 7.15 Falcon Gravite Seperatör G Kuvveti Değişimi.

<i>Frekans (Hz)</i>	<i>Motor hızı (rpm)</i>	<i>Rotor hızı (rpm)</i>	<i>Gravite kuvveti(G)</i>
20	583	583	20
25	729	729	31
30	875	875	44
35	1021	1021	60
40	1167	1167	78
45	1313	1313	99
50	1458	1458	123
55	1604	1604	148
60	1750	1750	176
46,66	1361	1361	107
52,15	1521	1521	133
55,33	1614	1614	150
59,76	1743	1743	175
63,89	1863	1863	200
67,76	1976	1976	225
71,43	2083	2083	250
74,91	2185	2185	275
78,25	2285	2285	300

Çizelge 7.16 ve Şekil 7.9 incelendiğinde sabit katı oranı ve tane boyutunda, 99 G kuvvetinde konsantre verimi 2 psi’da %37,95, 3 psi’da %41,93 ve 4 psi’da %70,92 olarak hesaplanmıştır. Yapılan çalışma doğrultusunda su basınç (psi) değeri arttıkça yoğunluğu düşük olan taneler, akışkan yatakta haznenin üst kısmına doğru daha kuvvetli itilmişlerdir ve akışkan yatağı terk ederek ortamdan ayrılmışlardır. Çalışma ile en uygun sonuca 99 G kuvvetinde ve 4 psi su basıncında ulaşılmıştır.

Çizelge 7.16 99 G Kuvvetinde Tenör – Verim Değerleri.

Su Basıncı (psi)	Ürünler	% Ağ	%B ₂ O ₃	%Verim
2	Konsantre	25,66	40,09	37,95
	Atık	74,34	22,62	62,05
	BM	100,00	27,10	100,00
3	Konsantre	28,54	39,81	41,93
	Atık	71,46	22,02	58,07
	BM	100,00	27,10	100,00
4	Konsantre	43,64	44,04	70,92
	Atık	56,36	13,98	29,08
	BM	100,00	27,10	100,00



Şekil 7.9 99 G (45 Hz) tenör - verim eğrisi.

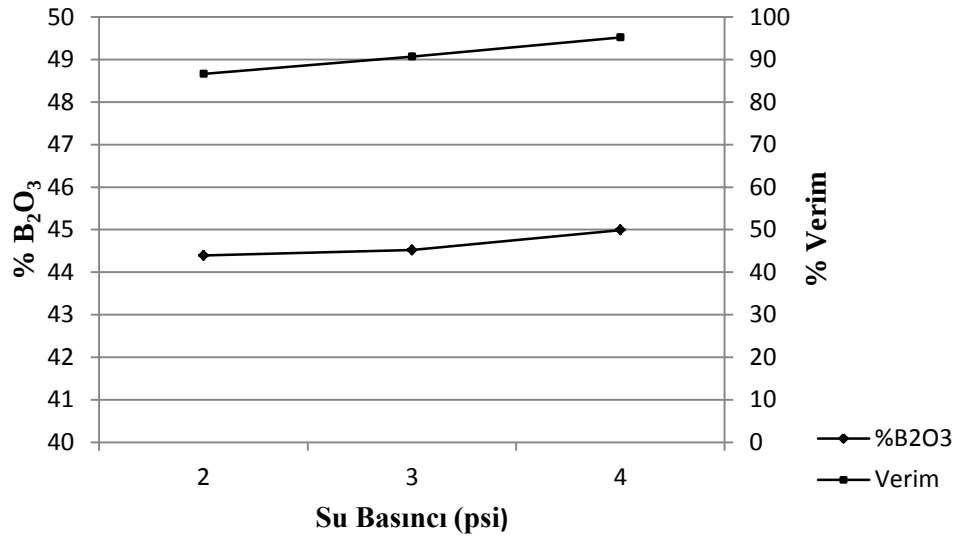
G kuvvetinin düşük tenörlü konsantredeki kili uzaklaştırmaya etkisinin tespiti için yapılan diğer bir çalışma da, 123 G (50 Hz) değerinde, 2 psi, 3 psi ve 4 psi su basınç değişimlerinde tenör ve verim değerleri üzerine etkisinin incelenmesidir. Çalışmaya ait sonuçlar Çizelge 7.17’de sonuçların irdelenmesi ise Şekil 7.10’da verilmiştir.

Çizelge 7.17 ve Şekil 7.10 incelendiğinde sabit katı/sıvı oranı ve tane boyutunda, 123 G kuvvetinde konsantre verimi 2 psi’da %86,65, 3 psi’da %90,71 ve 4 psi’da %95,24 olarak hesaplanmıştır.

Yapılan çalışma doğrultusunda elde edilen verim değerlerine bakıldığında artan G kuvvetinin, su basınçlarının da yardımıyla verimi artırdığı ve en yüksek verime 4 psi su basıncında %44,99 tenör ve %95,24 verim ile ulaşıldığı görülmüştür.

Çizelge 7.17 123 G Kuvvetinde Tenör – Verim Değerleri.

<i>Su Basıncı (psi)</i>	<i>Ürünler</i>	<i>%Ağ</i>	<i>%B₂O₃</i>	<i>%Verim</i>
2	Konsantre	52,72	44,39	86,65
	Atık	47,28	7,63	13,35
	BM	100,00	27,01	100,00
3	Konsantre	55,03	44,52	90,71
	Atık	44,97	5,58	9,29
	BM	100,00	27,01	100,00
4	Konsantre	57,17	44,99	95,24
	Atık	42,83	3,01	4,76
	BM	100,00	27,01	100,00



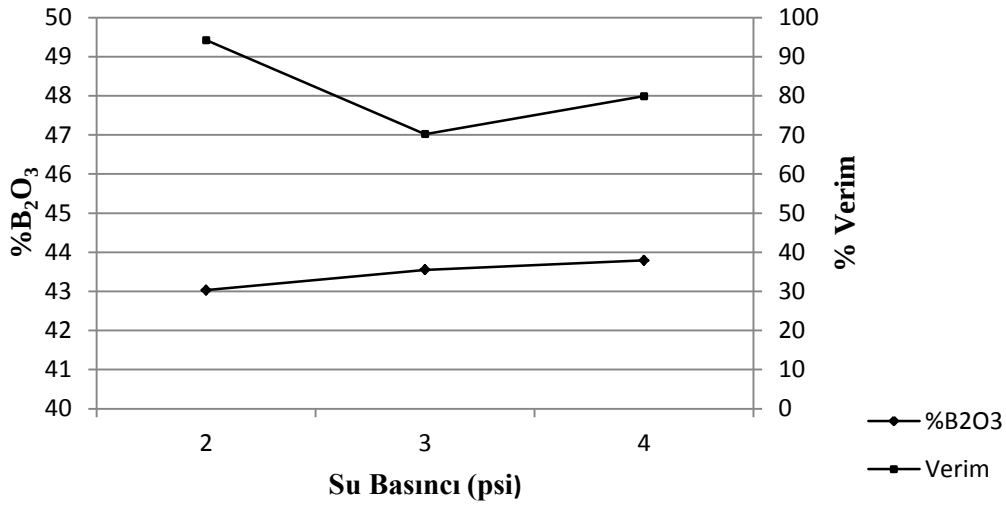
Şekil 7.10 123 G (50 Hz) tenör - verim eğrisi.

Çizelge 7.18 ve Şekil 7.11 incelendiğinde, sabit katı/sıvı oranı ve tane boyutunda, 148 G kuvvetinde konsantre verimi 2 psi’da %94,23, 3 psi’da %70,21 ve 4 psi’da %79,89 olarak hesaplanmıştır. Yapılan çalışma doğrultusunda elde edilen verim değerlerine bakıldığında artan G kuvvetinde ve su basınçlarında kolemanit taneleri akışkan ortamda G kuvvetinin etkisinden çıkarak ortamı terk edip atığa karıştıkları görülmüştür. En

uygun sonuçlara 2 psi su basıncında %94,23 verim ve %43,03 B₂O₃ tenörü ile ulaşıldığı görülmüştür.

Çizelge 7.18 148 G Kuvvetinde Tenör – Verim Değerleri.

Su Basıncı (psi)	Ürünler	% Ağ	%B ₂ O ₃	%Verim
2	Konsantre	59,15	43,03	94,23
	Atık	40,85	3,81	5,77
	BM	100,00	27,01	100,00
3	Konsantre	43,55	43,55	70,21
	Atık	56,45	14,25	29,79
	BM	100,00	27,01	100,00
4	Konsantre	49,28	43,79	79,89
	Atık	50,72	10,71	20,11
	BM	100,00	27,01	100,00

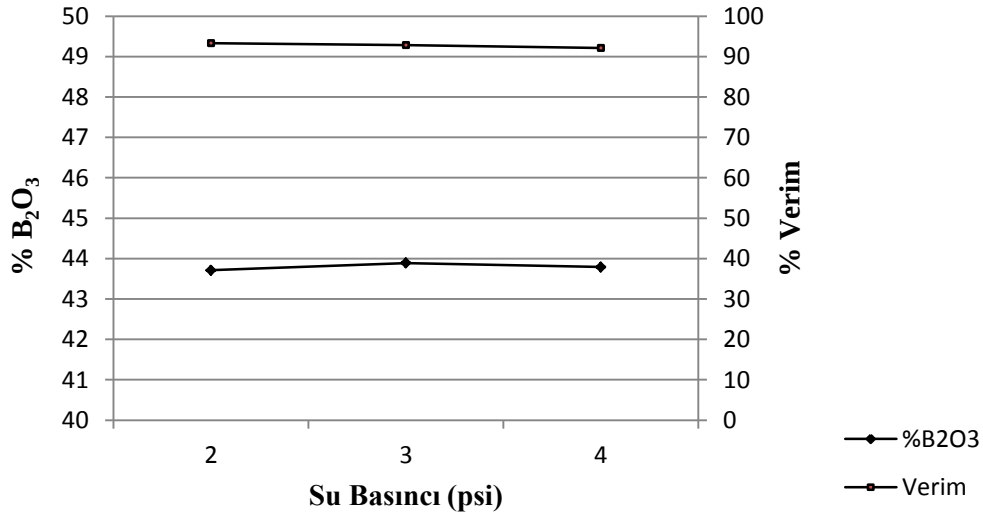


Şekil 7.11 148 G (55Hz) tenör - verim eğrisi.

Çizelge 7.19 ve Şekil 7.12 incelendiğinde sabit katı oranı ve tane boyutunda, 176 G kuvvetinde konsantre verimi 2 psi’da %93,31, 3 psi’da %92,85 ve 4 psi’da %92,14 olarak hesaplanmıştır. Yapılan çalışma doğrultusunda elde edilen verim ve tenör değerlerine bakıldığında 176 G kuvvetinde verim ve tenörde çok fazla değişiklik olmadığı tespit edilmiştir.

Çizelge 7.19 176 G Kuvvetinde Tenör – Verim Değerleri.

<i>Su Basıncı (psi)</i>	<i>Ürünler</i>	<i>%Ağ</i>	<i>%B₂O₃</i>	<i>%Verim</i>
2	Konsantre	57,66	43,71	93,31
	Atık	42,34	4,27	6,69
	BM	100,00	27,01	100,00
3	Konsantre	57,14	43,89	92,85
	Atık	42,86	4,50	7,15
	BM	100,00	27,01	100,00
4	Konsantre	56,83	43,79	92,14
	Atık	43,17	4,92	7,86
	BM	100,00	27,01	100,00

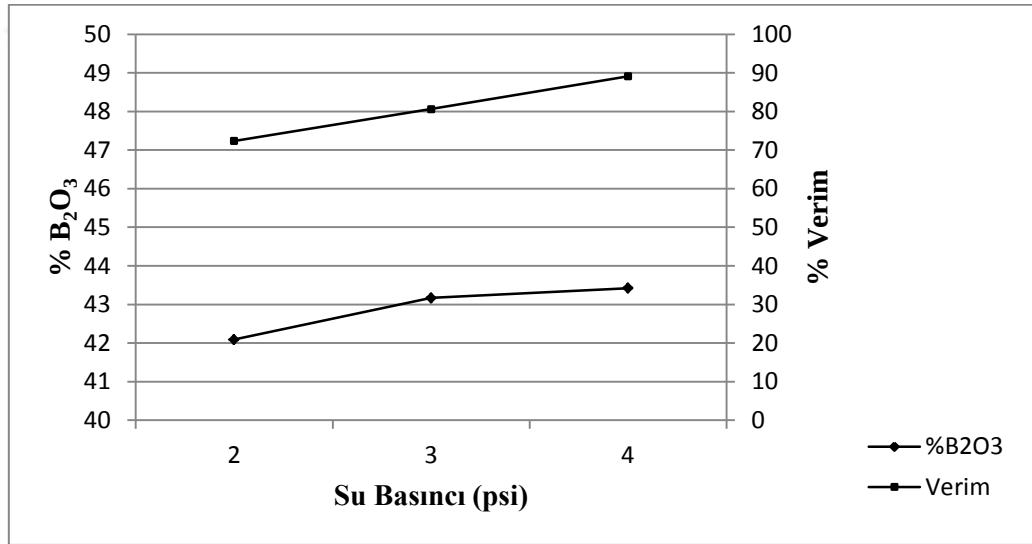


Şekil 7.12 176 G (60 Hz) tenör - verim eğrisi.

200 G’de yapılan deney sonuçları Çizelge 7.20 ve Şekil 7.13 vasıtasıyla incelendiğinde sabit katı/sıvı oranı ve tane boyutunda, 200 G kuvvetinde konsantre verimi 2 psi’da %72,35, 3 psi’da %80,62 ve 4 psi’da %89,12 olarak hesaplanmıştır. Ancak konsantre tenör değerlerine bakıldığında aralarında çok fark olmadığı görülmektedir.

Çizelge 7.20 200 G Kuvvetinde Tenör – Verim Değerleri.

Su Basıncı (psi)	Ürünler	%Ağ	%B ₂ O ₃	%Verim
2	Konsantre	46,43	42,09	72,35
	Atık	53,57	13,94	27,65
	BM	100,00	27,01	100,00
3	Konsantre	50,44	43,17	80,62
	Atık	49,56	10,56	19,38
	BM	100,00	27,01	100,00
4	Konsantre	55,44	43,42	89,12
	Atık	44,56	6,60	10,88
	BM	100,00	27,01	100,00



Şekil 7.13 200 G (63,89 Hz) tenör – verim eğrisi.

Falcon Gravite Seperatör ile yapılan çalışmalar sonunda;



en uygun çalışma koşullarına ulaşılmıştır. Bu çalışma koşullarında malzemenin verimi %95,24 ve tenörü %44,99 B₂O₃ değerine sahiptir. Atık tenörü ise %3,01 B₂O₃ olarak analiz edilmiştir.

Düşük tenörlü kolemanit zenginleştirme kapsamında yapılan ilk olarak kil açma ve dağıtma çalışmalarından sonra Sallantılı Masa ile zenginleştirme, Multi Gravite

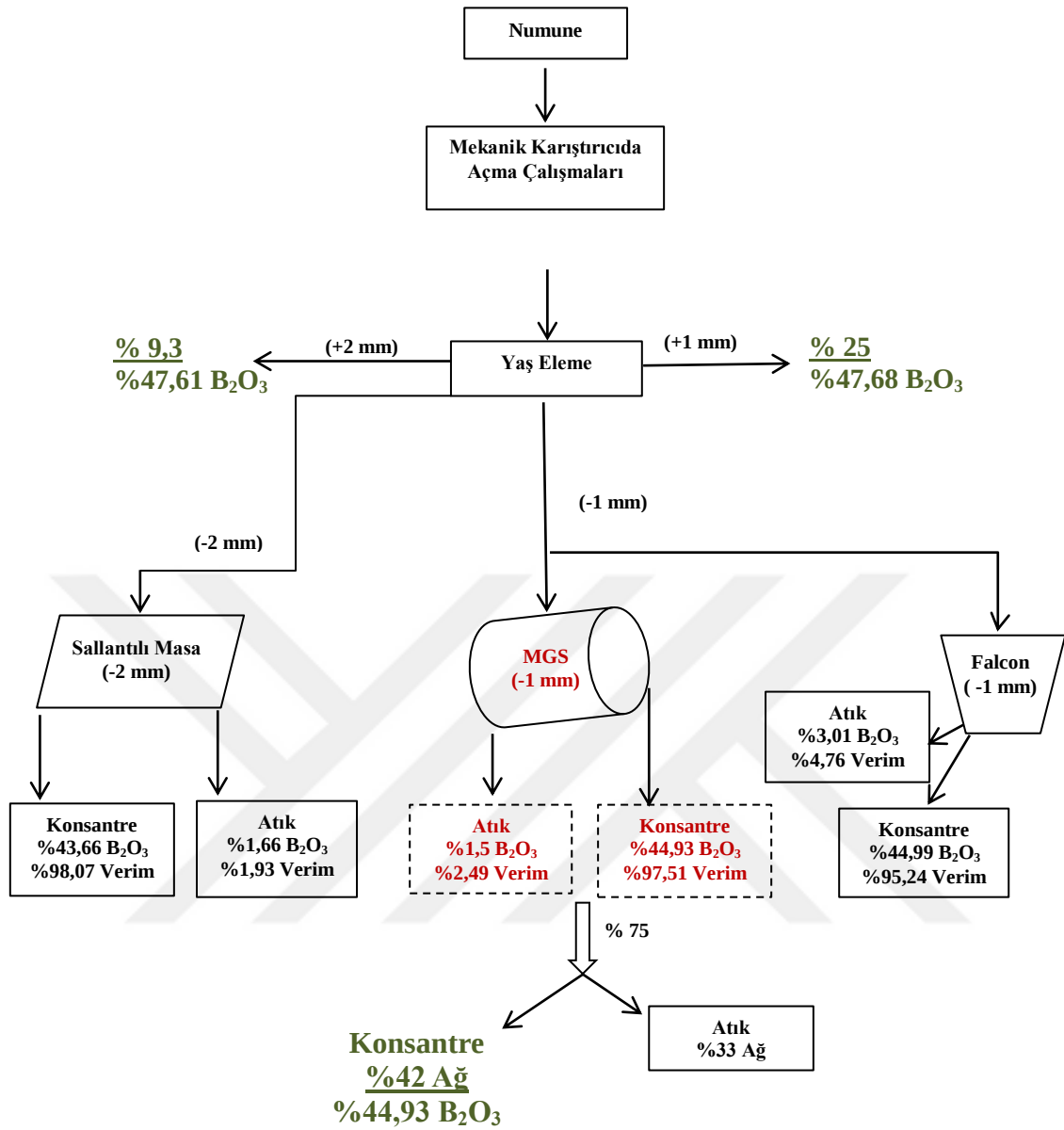
Seperatör (MGS) ile zenginleştirme ve son olarak da Falcon Gravite Konsantratör ile zenginleştirme çalışmaları ile kil atmaya etkilerine bakılmıştır.

Çalışmalar sonucunda elde edilen en iyi tenör - verim değerleri Çizelge 7.21’de verilmiştir. Bu veriler ışığında sonuç değerlendirilmesine gidilmiştir.

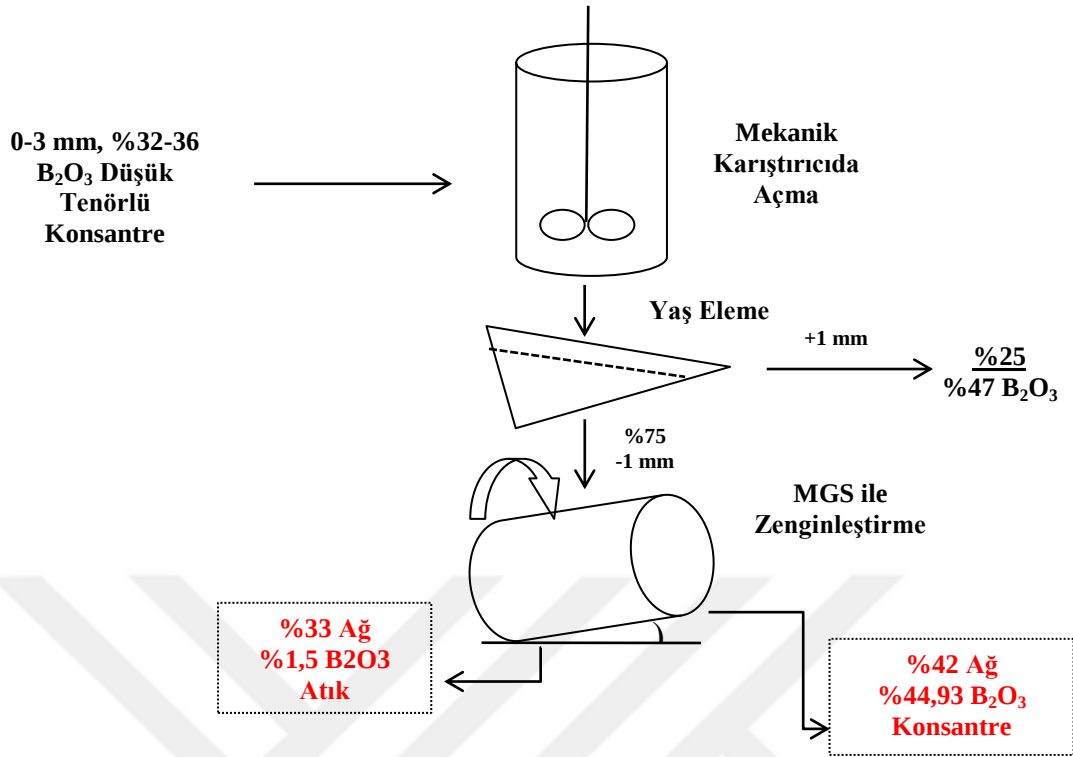
Çizelge 7.21 Zenginleştirme Çalışmaları Sonucu En Uygun Tenör – Verim Değerleri.

	<i>Sallantılı Masa Kil Atma</i>	<i>Multi Gravite Seperatör</i>	<i>Falcon Gravite Seperatör</i>
	-2 mm	-1 mm	-1 mm
Konsantre	43,66 % B ₂ O ₃	44,93 % B ₂ O ₃	44,99 % B ₂ O ₃
	98,07 % Verim	97,51 % Verim	95,24 % Verim
Atık	1,66 % B ₂ O ₃	1,5 % B ₂ O ₃	3,01 % B ₂ O ₃
	1,93 % Verim	2,49 % Verim	4,76 % Verim
Parametreler	*% 30 pko *3° eğim *1,4 mm genlik *6 dev/dk hız *20m ³ /s Yıkama Suyu Miktarı	*%30 pko *4 l/dk Yıkama Suyu Miktarı *4 dev/sn Frekans Değeri *20 mm Genlik *260dev/dk Tambur Devri	*%20 pko *123 G Kuvveti *4 psi Su Basıncı

Şekil 7.14’de deneysel çalışmalara ait akım şeması verilmiştir. Akım şemasından da anlaşılacağı üzere öncelikle numuneye mekanik karıştırıcıda açma/dağıtma işlemi uygulanmıştır. Elek metal analizi sonucu elde edilen veriler ile çalışmanın yapılacağı cihazlar seçilmiş ardından cihazlarda çalışılacak olan uygun tane boyutları belirlenmiştir. Zenginleştirme çalışmaları sonucu elde edilen veriler değerlendirildikten sonra Şekil 7.15’de verilen örnek bir akım şeması önerilmektedir.



Şekil 7.14 Deneyisel çalışmalara ait akım şeması.



Şekil 7.15 Önerilen örnek bir akım şeması.

8. SONUÇLAR ve TARTIŞMA

Bor madenlerinin Türkiye açısından ne derece önemli olduğunu ve bu madene gereken hassasiyet gösterildiği takdirde ekonomik olarak, ülkemizin geleceğinde ve toplumsal refahın artırılmasında başrol oynayacağı ve bu anlam bütünlüğünde doğal bir zenginlik kaynağı olduğu açıktır.

Eti Maden İşletmeleri Emet Konsantratör Tesisi'nde elde edilen konsantrelerden 0-3 mm tane boyutunda ve %32-36 B₂O₃ tenör aralığındaki yıkanmış ürün, satılabilir tenör de olmaması yani düşük tenörlü olması nedeniyle stok sahasına alınarak bekletilmektedir. Üretimin yaklaşık %5'ini alan bu kısım 70.000-80.000 ton/yıl aralığında ki miktara sahip önemli bir düşük tenörlü konsantredir. Aynı zamanda devam eden üretimle şimdiye kadar üretilen yaklaşık 500.000 ton düşük tenörlü konsantre stokta bekletilmektedir.

Deneysel çalışmalarda kullanılan numune, Eti Maden İşletmeleri Emet Bor İşletmesi'ne ait Kütahya/Emet ilçesinde bulunan Espey Konsantratör tesisi stok sahasından temin edilmiştir. Numune, tesis çıkışında yer alan ürünlerden -3mm tane boyutuna sahip % 32-36 B₂O₃ değerinde düşük tenörlü olarak tabir edilen stoktan alınmıştır.

Araştırmada, konsantre olarak satışı mümkün olmayan 0-3 mm boyut aralığında düşük tenörlü olarak tabir edilen kolemanitin tenör değerinin yükseltilerek satılabilir tenöre getirilmesi hedeflenmiştir. Kolemanit zenginleştirilmesi kapsamında yapılan ilk çalışma kil açma ve dağıtma çalışmalarıdır. Optimum kil açma ve dağıtma şartlarına ulaşıldıktan sonra Sallantılı Masa çalışması, Multi Gravite Seperatör (MGS) çalışması ve ardından Falcon Gravite Konsantratör çalışması yapılmıştır.

Hedefin gerçekleştirilmesi ile, ürün tenörünün yükseltilmesi sağlanarak katma değeri artan bir ürün haline getirildiğinden ülke ekonomisine katkı sağlamaktadır. Böylece önemli bir ülke kaynağının stokta bekletilmesinin önüne geçilerek katma değeri yüksek ürüne dönüştürülmesi hususunda çalışma önem arz etmektedir.

Yapılan araştırmalar sonucunda elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

- Kolemanit ön konsantresinin killlerinden ayrılması için farklı katı oranlarında ve sürelerde 9 eş numune üzerinde kil açma ve dağıtma çalışmaları yapılmıştır. Kil ve borun birbirinden ayrılmasını sağlamak amacıyla yapılan açma ve dağıtma deneyleri sonucunda en uygun katı oranına %50 pko'da, en uygun çalışma süresine 45 dakikada ve en uygun mekanik karıştırıcı devir hızına ise ilk 25 dakika 1100 dev/dk, kalan 20 dakikada 1400 dev/dk'da çalışılması suretiyle ulaşılmıştır.
- Sallantılı masa da yapılan ilk araştırma kil atma çalışmasıdır. Düşük tenörlü kolemanit konsantresine en uygun koşullarda mekanik karıştırıcı vasıtasıyla kil açma/dağıtma işlemi uygulandıktan sonra çalışma tane boyutu olan -2 mm tane boyutuna elenmiştir. Ardından %30 pko, 3 dk besleme süresi ve -2 mm tane boyutu sabit tutularak, kili uzaklaştırmak için yapılan bir dizi çalışma ile en uygun sonuçlara, 3° masa eğimi, 1,4 mm genlik, 6 dev/dk masa hızı değerlerinde ulaşılmıştır. Bu çalışma sonucu %98,07 verim ve %43,66 B₂O₃ tenörlü ürün elde edilmiştir.
- İkinci araştırma grubu tasarımı ise, sallantılı masa ile yapılan zenginleştirme çalışmalarıdır. Bu çalışma için öncelikle sallantılı masada kil atma yapılmış yeterince numune hazırlandıktan sonra zenginleştirme çalışmalarına geçilmiştir. Bu çalışma için hazırlanan numunenin tenörü %45,80 B₂O₃ olarak analiz edilmiştir. Bu analiz ile birlikte kil atma çalışmaları için tenör aralığının %43,66-45,80 olduğu tespit edilmiştir. Çalışma sonucunda yapılan analizlerden ve gözlemlerden numunenin masa yüzeyinde tane boyutuna göre bir dağılım gösterdiği tenörün ise besleme malı tenörü ile aynı olduğu tespit edilmiştir. Sallantılı masa ile zenginleştirme çalışmaları için kil atmanın yeterli olduğu anlaşılmıştır.
- Üçüncü grup araştırma ise Multi Gravite Seperator'de yapılmıştır. Düşük tenörlü kolemanit konsantresi tespit edilen en uygun şartlarda mekanik karıştırıcıda kil açma/dağıtma çalışması yapıldıktan sonra -1 mm tane boyutuna elenmiştir. Yeterince numune hazırlandıktan sonra başlanan çalışmalar ile en uygun sonuca 260 dev/dk tambur hızında, 4 l/dk yıkama suyu miktarında, 4 dev/sn frekans

değerinde, 20 mm genlik ile ulaşılmıştır. En uygun çalışma koşullarında verimi %97,51 ve tenörü ise %44,93 B₂O₃ olan konsantre elde edilmiştir.

- Dördüncü grup araştırmada ise Falcon Gravite Seperatör kullanılmıştır. Düşük tenörlü kolemanit konsantresine tespit edilen en uygun şartlarda mekanik karıştırıcıda kil açma/dağıtma çalışması yapıldıktan sonra -1 mm tane boyutuna elenmiştir. Yeterince numune hazırlandıktan sonra yapılan deneyler ile en uygun çalışma koşullarına 123 G kuvvetinde, 4 psi su basıncında ulaşılmıştır. Bu çalışma koşullarında malzemenin verimi %95,24, tenörü ise %44,99 B₂O₃ değerine sahiptir.
- Çalışmalar ile, tesiste yıkama işlemi sırasında, -3 mm tane boyutu için yapılan kil atma işleminin yetersiz olduğu veya ince malzemeye yönelik uygun şartların sağlanamadığı tespit edilmiştir. Bu nedenle tesis içerisinde, -3 mm tane boyutlu malzemenin çıkış kısmına kuvvetli bir mekanik aşındırma cihazının yerleştirilmesi gerektiği tavsiye edilmektedir.
- Yapılan besleme malı elek analizinde -3 + 2 mm ve -2 + 1 mm tane fraksiyonlarının malzemenin ağırlık olarak sırasıyla %9,30 ve %15,36'lık kısımlarını oluşturduğu tespit edilmiştir. Bu fraksiyonların ortalama tenörü ise yaklaşık %48 B₂O₃'dür. Bu nedenle kullanılacak zenginleştirme yöntemi öncesinde ağırlıkça yaklaşık %25 olan bu kısmın mekanik açma dağıtma çalışmasının ardından elenerek alınması tavsiye edilmektedir.
- Sallantılı Masa, MGS ve Falcon Gravite Seperatör cihazları ile yapılan çalışmalarda, satılabilir tenöre sahip konsantreler, yüksek verimler ile elde edilmiştir. Üç cihazda, düşük tenörlü konsantrenin satılabilir tenöre getirilmesi amacıyla üretim planlanmasında tercih edilebilir. Ancak elde edilen veriler sonucunda Sallantılı Masa ve Multi Gravite Seperatörün en uygun çalışma parametrelerinde atık kısmında sırasıyla %1,66 ve %1,5 B₂O₃ tenör kaybı verdiği ve bu oran Falcon Gravite Seperatöre nispeten (%3,01 B₂O₃) daha düşük kaldığından bu iki cihazdan birinin tercih edilmesi tavsiye edilmektedir.
- Sallantılı Masa ve Multi Gravite Seperatör arasında ise; sırasıyla -2 mm ve -1 mm tane fraksiyonlarında çalışılmıştır. Sallantılı Masa ile yapılan çalışmada hazırlanan malzeme içerisinde -2+1 mm tane fraksiyonunda malzemede bulunmaktadır. Bu kısım besleme malının ağırlıkça %15,36'lık kısmını %47,72

B₂O₃ tenörü ile almaktadır ve cihazın kapasitesini gereksiz yere düşürmektedir. Tüm bu tespitler dikkate alınarak Multi Gravite Seperatörün tercih edilmesi tavsiye edilmektedir.

- Sonuç olarak, elde edilen tüm veriler dikkate alınarak, malzemenin mekanik karıştırıcıda açma/dağıtma çalışmasını müteakiben elenerek yaklaşık %25'lik kısma takabül eden -3 + 1 mm tane boyutuna sahip %47,68 B₂O₃ tenörlü ilk konsantrenin alınmasının ardından kalan -1 mm tane boyutuna sahip yaklaşık % 27 B₂O₃ tenörlü malzemenin MGS'de çalışılması tavsiye edilmektedir. Bununla birlikte fizibilite çalışmalarının yapılmasının da gerekliliği kanaatine varılmıştır.
- Çalışmaya ekonomik ve çevresel açıdan bakıldığında ise düşük tenörlü konsantrenin ağırlıkça %25'i %47,68 B₂O₃ tenörlü ürün olarak alınmaktadır. Ağırlıkça kalan %75'lik kısım ise MGS ile muamele edildikten sonra ağırlıkça %42'si %44,93 B₂O₃ tenörü ile elde edilmektedir. Malzemenin toplamda ağırlıkça %67'si konsantre olarak alınırken %33'ü atık olarak baraja gönderilmesi söz konusudur. Ülke kaynaklarının etkin kullanımı açısından çalışmanın önemi bir kez daha gözler önüne serilmektedir.

9. KAYNAKLAR

- Alp, L., Özdağ, H. (2000). Investigation Of Processing Of Colemanite Tailings By Ultrasonic. Mineral Processing On The Verge Of The 21st Century. 801 International Mineral Processing Symposium Eds Özbayoğlu. Hosten, Atalay, Hiçyılmaz&Arol Antalya 693-696.
- Aydın, M., Yıldırım, I., Doğan, M. Z., Önal, G. and Çelik, M. S. (1996). Desulfurization of Low-Rank Turkish Coals by Multi-Gravity Separator. 13th Annual International Pittsburgh Coal Conference, Coal- Energy and the Environment, Volume I, Ed: S. H. Chiang, USA, 437-442.
- Aydın, M.E. and Kahraman F. (2001), Evalution Of Chromite Tailings Of Etibank – Kef Concentration Plant, IX. Balkan Mineral Processing Congress, İstanbul, Turkey.
- Aytekin, Y., Bodruk, M. (1992). Emet Kolemanit Cevherinin Dekrepatasyon Yoluyla Zenginleştirilebilirliğinin Araştırılması. 1. Uluslararası Cevher Hazırlama Sempozyumu. Ed Özbayoğlu. C.2 Antalya, 549-562.
- Bayat, O. (2009). Cevher Hazırlama Zenginleştirme Laboratuvarı Ders Notları (Yayınlanmamış Rapor), Çukurova Üniversitesi, 1 – 2 Şubat 2009, Metalik Cevherleri Zenginleştirme Yöntemleri Ders Notları (Yayınlanmamış Rapor), Çukurova Üniversitesi, 12 – 13.
- Bor Kitabı (2003). Kesk/Esm, Tmmob Jeoloji, Kimya, Metalurji Mühendisleri Odaları.
- Boncukoğlu, R., Yılmaz, M.T., Kocakerim, M.M. and Tosunoğlu, V., Utilization of Trommel Sieve Waste as an Additive in Portland Cement Production.
- Cebeci, Y., Aydoğan, S. ve Özkan, A. (1996). Yozgat-Ayırdağ Linyitlerinin Zenginleştirilebilirliğinin İncelenmesi, Türkiye 10. Kömür Kongresi Bildiriler Kitabı, Zonguldak, 79-92.
- Chan, B.S.K., Mozley, R.H., Childs, G.J.C., Yüce, A.E. (1994). Multi gravite ayırıcı, *Madencilik*, **33 (1)**: 33-41.

- Çebi, H. ve Yersel, E. (1994). DPT VII. Beş Yıllık Kalkınma Planı, Özel ihtisas Alt Komisyonu, Endüstriyel Hammaddeler Raporu (Bor Madenleri), Etibank Bor Araştırma Merkezi Yayını, Sayı:14, İzmir.
- Çolak, M. (1997). Hisarcık-Emet Kolemanit Ocağı Killeri 8.Ulusal Kil Sempozyumu Dumlupınar Üniversitesi Kütahya. 25-36.
- DPT (2001). Enerji Hammaddeler Alt Komisyonu Kimya Sanayii Hammaddeleri Çalışma Grubu.
- Demir, C. (2007). “Bor Minerallerinin Enerji Kaynağı Olarak Değerlendirilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı.
- Ediz, N. vd. (2004). Kestelek Bor İşletmesi -3 mm Klasifikatör Çökeni Ürünün Farklı Pervaneli Dağıtıcılarda Zenginleştirilmesi. II. Uluslararası Bor Sempozyumu, 23-25 Eylül, Eskişehir Türkiye.
- Erkan Z. E., Akar A., Savaş M. (2003). Emet Bor İşletme Müdürlüğü Hisarcık Baraj Atıklarının Değerlendirilebilirliğinin Araştırılması. Journal of Institute of Science and Technology of Balıkesir University, 5(1):161-174.
- Erkan Z. E., Akar A., Savaş M. (2004). Espey Baraj Atıklarının Değerlendirilebilirliğinin Araştırılması. II. Bor Çalıştayı, **20**.
- Erkal, F., Girgin, İ. (1992). Etibank Emet kolemanit işletmesi kaba atıklarının konsantre üretimi amacıyla değerlendirilmesi. 4.Uluslararası Cevher Hazırlama Sempozyumu. Ed Özbayoğlu. C.2 Antalya- 599-608.
- Ertün, T. (2009). Klinker Üretiminde Kolemanit Kullanımının Araştırılması Ve Çimento Endüstrisinde Uygulanabilirliği, Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği.
- Eti Maden (2010), Bor Sektör Raporu.
- Helvacı, C. (2015). Bor Yataklarını İçeren Neojen Havzaların Jeolojik Özellikleri: Yatakların Genel Değerlendirmesi Ve Gelecek Öngörüsü, Türkiye, *MTA Dergisi* 151: 273-288.

- Helvacı, C. (1994). Mineral Assemblages And Formation Of The Kestelek And Sultançayır Borate Deposits. Proceedings Of 29th International Geological Congress, Kyoto, Part A, 245-264.
- Helvacı, C. (2004). Türkiye Borat Yatakları: Jeolojik Konumu, Ekonomik Önemi ve Bor Politikası, 5.Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu. TMMOB Maden Mühendisleri Odası, Eds Akar ve Seyrankaya, İzmir, 11-27.
- Helvacı, C., Firman, R., J. (1976). Geological Setting And Mineralogy Of Emet Borate Deposits, Turkey. Applied Earth Sciences. Extract From Transactions/Sections B Of The Inst. *Of Mining And Metallurgy*. **85**: 141-152.
- Helvacı, C. (1977). Geology, Mineralogy And Geochemistry Of The Borate Deposits And Associated Rocks Of The Emet Valley, Turkey: Ph.D. Thesis, University Of Nottingham, England.
- Helvacı, C., Orti, F. (1998). Sedimentology And Diagenesis Of Miocene Colemanite-Ulexite Deposits (Western Anatolia, Turkey). *Journal Of Sedimentary Research* **68**: 1021- 1033.
- Honaker, R. Q. (1998). High Capacity Fine Coal Cleaning Using an Enhanced Gravity Concentrator. *Minerals Engineering*, **12**: 1191-1199.
- Hoşten Ç. (2002). Cevher Hazırlama ve Zenginleştirme Temel İşlemlerinin Tasarımı, Ankara: ODTÜ Basım İşliği.
- İnan, K. (1972). Newborate district, Eskişehir-Kırka province Turkey: Trans. Inst. *Mining and Metall*, **81**: 163-165.
- Kar, Y., Nejdet, Demirbaş, Ayhan (2006). "Boron Minerals in Turkey, Their Application Areas and Importance for the Country's Economy". Minerals & Energy – Raw Materials Report.
- Kılınç, E., Mordoğan, H., Tanrıverdi, M. (2001). Bor Minerallerinin Önemi, Potansiyeli, Üretimi ve Ekonomisi. 4. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu. TMMOB Maden Mühendisleri Odası, Köse, Arslan & Tanrıverdi (Eds), İzmir, 226-235.

- Konuk, I. ve Yersel, E. (1993). Borik Oksit, Borik Asit ve Boratlar, Etibank Bor Araştırma Merkezi Yayını, Sayı 10, İzmir.
- Koca, H., Koca, S. and Karaoğlu, M., Recovering of Fine Coal Particles from Tailing Ponds of TKİ Alpagut-Dodurga Coal Washing Plant, 2000. Mineral Processing on the Verge of the 21st Century, Ed: G. Özbayoglu et al., Balkema-Rotterdam, 427-431.
- Lyday, P.A. (1995), Boron Annual Review, U.S Bureau of Mines. Washington. A.B.D.
- Önal G. (1985). Cevher Hazırlamada Flotasyon Dışındaki Zenginleştirme Yöntemleri, İ.T.Ü. Maden Fakültesi Ofset Atölyesi, İstanbul.
- Özpeker, I. (1969). Batı Anadolu Borat Yataklarının Mukayeseli Ve Jenetik Etüdü: Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, 116.
- Özkan, Ş.G. (1994). Flotation Studies of Colemanite Ores from the Emet Deposits of Türkiye.
- Özkan, Ş.G., Çebi, H., Delice, S., Doğan, M. (1997), “Bor Minerallerinin Özellikleri ve Madencilik”, 2. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, 224-228, İzmir.
- Özmal, F., Erdoğan, Y., Olgun, A., Atar, N., Kula, İ., Erdoğan, M.S., Kalfa, O.M. (2005). Bor Endüstri Atıkları, Uçucu Kül ve Alümit İçeren Çimentoların Fiziksel ve Mekaniksel Özelliklerinin İncelenmesi, I. Ulusal Bor Çalıştayı, Ankara.
- Poslu, K. ve Arslan, İ.H. (1995). Dünya Bor Mineralleri Üretiminde Türkiye'nin Yeri, Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, İzmir Roskill Information Ltd., The Economics of Boron, Londra, İngiltere, 33-42.
- Sönmez E., Savaş, M. (1996). Emet Kolemanit İşletmesi Gölet Artıklarının Kalsinasyon + Eleme Yoluyla Zenginleştirilmesi IX. Mühendislik Sempozyumu, Maden Mühendisliği Bildiriler Kitabı, 29-31 Mayıs, Isparta.
- Sönmez, E. ve Koca, H. (1997). Cleaning of Fine Coals by Multi-Gravity Separator, European Coal Geology, Proceeding of 3th European Coal Conference, Ed: E. Nakoman, İzmir-Turkey, 481-489.
- Sunder, M., S. (1980), Geochemistry Of The Sarıkaya Borate Deposits (Kırka-Eskişehir). *Bulletin Of The Geological Society Of Turkey* 2: 19-34.

- Traher, W.J., Warren, L.J., The floatability of Very Fine Particles, *International J. of Mineral Processing*, **3**: 103131,1976.
- Tolon, R., Kocakuşak, S., Koroğlu, J., Ayok, T. (1992). Kalsine İnce Toz Boraks Hidratların I.Bentli, Bursalı, N.Ediz, I.Tatar Kompaklaştırılması, 4.Uluslararası Cevher Hazırlama Sempozyumu, Cilt:2, Ed: Özbayoğlu, Antalya, 911-923.
- Uçar, A., Şahbaz, O., Yargan, M., Savaş, M., vd. (2008). Emet Espey Bor Tesisi İnce Gölet Atıklarının Flotasyonla Zenginleştirilebilirliğinin Araştırılması, 2. Ulusal Bor Çalıştay Bildiriler Kitabı 17- 18 Nisan, MTA, Ankara.
- Uslu, T., Arol, A.I. (2003), Use of Boron Waste as an Additive in Red Brick, Waste Management, Published in Pergamon, Accepted 9 Jenuary.
- Yamık, A., Bodruk, M., Akçıl, A. (1998). Tinkal Cevherinden elde Edilen konsantre ve Artığın Kompaklaştırılması ve Konsantrenin Çözülmesi, Türkiye 15. Madencilik Kongresi, 6-9 Mayıs, Ankara.
- Yalçın, H., Gündoğdu, M.N. (1985). Emet gölsel neojen baseninin kil mineralojisi 2.Ulusal Kil Sempozyumu, Ankara. 155-170.
- Yıldız N. (2010). Cevher Hazırlama ve Zenginleştirme, Ankara: ERTEM Basım Yayın Dağıtım Sanayi ve Ticaret Ltd. Şti. 293-412.
- Yegül, E. (2007). Bor Zenginleştirme Tesislerinde Ara Ürün Tenörlerinin Arttırılması İçin Yöntemlerin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 137.
- Wills B. A. ve Napier-Munn T. (2006), Wills' Mineral Processing Technology, Elsevier Science & Technology Books.

İnternet Kaynakları

1-<http://www.trbor.com/bor-elementinin-ozellikleri>, 03.08.2018

2-<https://www.google.com.tr/dünya+bor>, 12.05.2018

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Sibel TOK
Doğum Yeri ve Tarihi : Kayseri 22.01.1991
Yabancı Dili : İngilizce
İletişim (Telefon/e-posta) : 0555 894 31 94 / sibelbada@hotmail.com

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise : Kayseri Şeker Lisesi, (2005-2009)
Lisans : Afyon Kocatepe Üniversitesi, Maden Mühendisliği
Bölümü, (2010-2015)
Yüksek Lisans : Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri
Enstitüsü, Maden Mühendisliği Anabilim Dalı,
(2015-2018)

Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl : Başoğlu Mermer San. Tic. Ltd. Şti, (2015-2018)