



POLİTEKNİK DERGİSİ

JOURNAL of POLYTECHNIC

ISSN: 1302-0900 (PRINT), ISSN: 2147-9429 (ONLINE)

URL: <http://dergipark.org.tr/politeknik>



Düşük tenörlü kolemanit konsantresi bor içeriğinin yükseltilmesinde yatay ve düşey yönde çalışan gravite seperatörlerin etkisi

The effect of gravity separators working in horizontal and vertical directions on increasing the boron content of low-grade colemanite concentrate

Yazar(lar) (Author(s)): Sibel TOK¹, Zehra Ebru SAYIN^{2,}, Mehmet SAVAŞ³*

ORCID¹: 0009-0002-4579-8346

ORCID²: 0000-0003-1949-3127

ORCID³: 0000-0002-0383-0793

To cite to this article: Tok S., Sayın Z. E. ve Savaş M., “Düşük Tenörlü Kolemanit Konsantresi Bor İçeriğinin Yükseltilmesinde Yatay Ve Düşey Yönde Çalışan Gravite Seperatörlerin Etkisi”, *Journal of Polytechnic*, *(*) : *, (*).

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz: Tok S., Sayın Z. E. ve Savaş M., “Düşük Tenörlü Kolemanit Konsantresi Bor İçeriğinin Yükseltilmesinde Yatay Ve Düşey Yönde Çalışan Gravite Seperatörlerin Etkisi”, *Politeknik Dergisi*, *(*) : *, (*).

Erişim linki (To link to this article): <http://dergipark.org.tr/politeknik/archive>

DOI: 10.2339/politeknik.1418711

Düşük Tenörlü Kolemanit Konsantresi Bor İçeriğinin Yükseltilmesinde Yatay ve Düşey Yönde Çalışan Gravite Separatörlerin Etkisi

The Effect of Gravity Separators Working in Horizontal and Vertical Directions on Increasing the Boron Content of Low-Grade Colemanite Concentrate

Önemli noktalar (Highlights)

- ❖ Multi-Gravite Separatör (MGS) ve Falcon gravite separatör cihazları kullanılarak kolemanit zenginleşmesine etkileri incelenmiştir. / The effects on colemanite enrichment were examined using Multi-Gravity Separator (MGS) and Falcon gravity separator devices.
- ❖ Eleme ve MGS cihazı ile kolemanit ön konsantresinin %67'sinin %45,95 B₂O₃ tenörlü konsantre olarak kazanılması sağlanmıştır. / With the sieving and MGS device, 67% of the colemanite pre-concentrate was recovered as a concentrate with a grade of 45.95% B₂O₃.

Grafik Özet (Graphical Abstract)

Üretilen, -3+0 mm tane boyut dağılımına sahip %32-36 B₂O₃ tenörlü kolemanit konsantresinin satılabilir ürün haline getirilmesinde yatay ve düşey yönde uygulanan gravite kuvvetlerin etkisi araştırılmıştır. / The effect of gravity forces applied in horizontal and vertical directions on turning the produced colemanite concentrate with a grain size distribution of -3+0 mm and a grade of 32-36% B₂O₃ into a salable product was investigated.



Şekil. Deneysel Çalışmalar /Figure. Experimental processes.

Amaç (Aim)

Düşük tenörlü kolemanit konsantresi bor içeriğinin yükseltilmesi araştırılmıştır. / Increasing the boron content of low-grade colemanite concentrate has been investigated.

Tasarım ve Yöntem (Design & Methodology)

Bor içeriğinin yükseltilmesinde yatay ve düşey yönde çalışan gravite separatörler kullanılmıştır. / Gravity separators working in horizontal and vertical directions were used to increase the boron content.

Özgünlük (Originality)

Stokta bekleyen ve sürekli artan düşük tenörlü konsantre cevherler, borik asit üretiminde kullanılabilir ve katma değeri artan ürüne dönüştürülebilir. / The constantly increasing low-grade concentrated ores waiting in stock can be used in the production of boric acid and can be converted into products with increased added value.

Bulgular (Findings)

Eleme ve MGS ile malzemenin toplamda ağırlıkça %67'si %45,95 B₂O₃ tenörlü konsantre olarak elde edilmiştir. / By sieving and MGS, a total of 67% of the material by weight was obtained as a concentrate with a grade of 45.95% B₂O₃.

Sonuç (Conclusion)

Düşük tenörlü konsantre cevherlerin ürüne dönüştürülebileceği, stoklama alanlarının yaklaşık %67'lik kısmından tasarruf sağlanabileceği belirlenmiştir. / It has been determined that low-grade concentrated ores can be converted into products and savings can be achieved from approximately 67% of the storage areas.

Etik Standartların Beyanı (Declaration of Ethical Standards)

Bu makalenin yazar(lar)ı çalışmalarında kullandıkları materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel bir izin gerektirmediğini beyan ederler. / The author(s) of this article declare that the materials and methods used in this study do not require ethical committee permission and/or legal-special permission.

Düşük Tenörlü Kolemanit Konsantresi Bor İçeriğinin Yükseltilmesinde Yatay ve Düşey Yönde Çalışan Gravite Seperatörlerin Etkisi

Araştırma Makalesi / Research Article

Sibel TOK¹, Zehra Ebru SAYIN^{2,*}, Mehmet SAVAŞ³

¹Afyonkarahisar Başoğlu Mermer, Afyonkarahisar, 03750, Türkiye

²Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Müh. Bölümü, Afyonkarahisar, 03200, Türkiye

³Eti Maden Emet Bor İşletme Müdürlüğü Emet, Kütahya, Türkiye

(Geliş/Received : 12.01.2024 ; Kabul/Accepted : 14.03.2025 ; Erken Görünüm/Early View : 03.04.2025)

ÖZ

Çalışmada, Espey Konsantratör Tesisi'nde üretilen, -3+0 mm tane boyut dağılımına sahip %32-36 B₂O₃ tenörlü kolemanit konsantresinin satılabilir ürün haline getirilmesinde yatay ve düşey yönde uygulanan gravite kuvvetlerin etkisi araştırılmıştır. Beslenen malzemenin %5'ini oluşturan düşük tenörlü ürün, stok sahalarında yaklaşık 500.000 ton birikmiş olup, tesisin tasarımı gereği üretilmeye devam edilmektedir. Düşük tenörlü ürünün kullanılabilir tenör olan %42 B₂O₃'e yükseltilmesi amacıyla çalışmaya kil aşındırma/dağıtma ile başlanmıştır. Elek analizi sonucunda 1 mm tane boyutu üzerinde kalan ve ağırlıkça %25'ini oluşturan kısmın %47,68 B₂O₃ içeriğine sahip olduğu tespit edilerek satılabilir ürün olarak ayrılmıştır. 1 mm tane boyutu altında kalan, %27 B₂O₃ tenörlü malzeme; yatay yönde santrifüj kuvvete sahip Multi-Gravite Seperatör (MGS) ve düşey yönde santrifüj kuvvete sahip Falcon gravite seperatör kullanılarak tenör-verim değişimleri incelenmiştir. En uygun sonuçlara, 260 dev/dk tambur devir hızında, 4 l/dk yıkama suyu miktarında, 4 Hz frekans ve 20 mm genlik değerinde çalıştırılan MGS ile ulaşılmıştır. Söz konusu parametrelerde konsantre, %44,93 B₂O₃ tenör ve %97,51 verim ile elde edilmiştir. Malzemenin toplamda ağırlıkça %67'sinin %45,95 B₂O₃ tenörlü konsantre olarak kazanılıp satılabileceği, ağırlıkça %33'ünün ise %1,55 tenörlü atık olarak baraja gönderilebileceği tespit edilmiştir. Falcon gravite seperatör çalışmalarında %44,99 B₂O₃ tenörlü konsantre elde edilmesine rağmen verim %95,24 olarak kalmıştır. Çalışmada atık tenörü ise %3 B₂O₃ olarak hesaplanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Emet, Falcon Gravite Seperatör, Kolemanit, Kil, Multi-Gravite Seperatör (MGS).

The Effect of Gravity Separators Working in Horizontal and Vertical Directions on Increasing the Boron Content of Low-Grade Colemanite Concentrate

ABSTRACT

In this study, the effect of gravity forces applied in horizontal and vertical directions on turning colemanite concentrate with a grain size distribution of -3+0 mm and 32-36% B₂O₃ grade, produced at the Espey Concentrator Facility, into a salable product was investigated. Low-grade product, which constitutes 5% of the fed material, has accumulated approximately 500.000 tons in stock areas and is still being produced due to the design of the facility. The work started with clay abrasion/dispersion in order to increase the low-grade product to the usable grade of 42% B₂O₃. As a result of the sieve analysis, it was determined that the part above 1 mm grain size and constituting 25% by weight had 47.68% B₂O₃ content and was separated as a salable product. Material with 27% B₂O₃ grade below 1 mm grain size; Grade-yield changes were examined using Multi-Gravity Separator (MGS) with horizontal centrifugal force and Falcon gravity separator with vertical centrifugal force. The most appropriate results were achieved with MGS by working at a drum rotation speed of 260 rpm, 4 l/min washing water amount, 4 Hz frequency and 20 mm amplitude. With these parameters, the concentrate was obtained with 44.93% B₂O₃ grade and 97.51% yield. It has been determined that a total of 67% of the material by weight can be recovered and sold as a concentrate with a grade of 45.95% B₂O₃, and 33% by weight can be sent to the dam as waste with a grade of 1.55%. In the Falcon gravity separator studies, although a concentrate with a grade of 44.99% B₂O₃ was obtained, the efficiency remained at 95.24%. In the study, the waste grade was calculated as 3% B₂O₃.

Keywords: Emet, Falcon Gravity Separator, Colemanite, Clay, Multi-Gravity Separator (MGS).

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Dünya bor rezervinin %73'üne sahip olan Türkiye, rezerv ve cevher kalitesi bakımından önemli bir kaynağı elinde bulundurmaktadır. Bor madenleri, ülkemizin geleceğinde ve toplumsal refahın artırılmasında etkin olan/olacak doğal zenginlik kaynağıdır. Özellikle Kırka

(Eskişehir)'de tinkal (Na₂B₄O₇.10H₂O), Bigadiç (Balıkesir), Kestelek (Bursa) ve Emet (Kütahya)'te ise önemli kolemanit (2CaO.3B₂O₃.5H₂O) yatakları bulunmaktadır. Üleksit rezervi Bigadiç'te mevcuttur, Kestelek'te ise bazen yan ürün olarak üleksit elde edilmektedir [1]. Üretilen ham ve rafine bor ürünlerinin

* Sorumlu Yazar (Corresponding Author)

e-posta : zerkana@aku.edu.tr

yanısına yüksek teknoloji kullanılarak elementel bor, çinko borat, bor fosfat, bor triklorür, bor nitrür, ferrobora, bor karbür, sodyum bor hidrür, floroborik asit ve floroborata gibi çeşitli sektörlerde farklı amaçlar için kullanılan ürünlerde hazırlanmaktadır. Örneğin; Olgun vd. [2] sentezledikleri fenil floroborata pigment olarak boya içerisinde kullanarak metal levhalara uygulamışlar ve yedi ay sonunda boya formunun hala korunduğunu tespit etmişlerdir. Çalışmalarında fenil floroborata boya formunu uzun süre koruması ve antibakteriyel özellik göstermesi nedeniyle yeni nesil boyalar için umut verici olduğu belirtilmiştir. Murathan [3] çalışmasında, ileri bor uç ürünü hegzagonal bor nitrürün morfolojik özelliklerini ve mikroyapısını araştırmış, yarı-iletken ve lazer özelliğini; Ultraviyole lazer cihazlarda kullanımı için gelecek vaat ettiğini, ayrıca, hegzagonal bor nitrürün floresans özelliği göstermesi ise sterilizasyon, fotokataliz, kimyasal maddelerin modifikasyonu gibi fotokimyasal ve biyoteknolojik uygulamalarında geniş bir alanda kullanım potansiyeline sahip olduğunu belirtmiştir.

Bor mineralleri oluşum gereği killeri ile birlikte bulunmaktadır. Cevherleşme tabakalı olarak yataklanmış olduğundan selektif madencilik yöntemleri uygulanamamaktadır. Sayın vd. [4] kil ile kolemanit arasındaki etkileşimi inceledikleri çalışmalarında, iri boyutlu kolemanit cevherlerinin killere elenerek ayrılabilmediğini ancak tane boyutu incelidikçe adsorpsiyon kuvvetinin kilin plastik özelliğine etki etmesi nedeniyle higroskopik nemin sorun teşkil ettiğini belirtmişlerdir. Tane boyutu 1 mm'nin altına geçtikçe kil minerallerinin miktarında artış olması nedeniyle bor minerallerinin yüzeyine daha fazla tutunmalarına sebep olmakta dolayısıyla bor minerallerinin kazanımını zorlaştırmaktadır [5, 6]. Traher ve Warren'da [7], kolemanit yüzeyine kilin yapışmasını slam kaplaması olarak tanımlayarak kimyasalların bor mineralinin yüzeyine adsorplanmasını engellediğini bu durumun ise verimi önemli derecede düşürdüğünü belirtmişlerdir. Bor cevherlerinde killi yapıların yaygın olarak bulunması nedeniyle zenginleştirme tesislerinde mekanik aşındırıcılar kullanılarak bor yüzeyindeki killerin dağıtılması sağlanmaktadır. Ardından elenerek birbirinden ayrılan kil atık alanlarına gönderilirken bor konsantre olarak değerlendirilmektedir [8, 9, 10, 11, 12, 13]. Emet bölgesi Hisarcık kolemanit yatağında yapılan çalışmalar ile incelenen kil örneklerinden bu alandaki kil mineralinin %60-90 oranında simektit (Li içerikli saponit) olduğu [4, 14, 15, 16], simektit minerallerinin ise demir ve alüminyumca zengin olduğu belirtilmektedir.

Eti Maden İşletmeleri Konsantratör Tesislerinde, kolemanitin zenginleştirilme sürecinde; Kolemanitin bir kısmı kayıp olarak atık barajlarına gönderilirken, %32-36 B₂O₃ tenör aralığında, -3+0 mm tane fraksiyonunda yıkanmış ürün yıllık 70.000-80.000 ton kadar biriktirmektedir. Üretim yaklaşık %5'ini oluşturan yıkanmış düşük tenörlü konsantre halihazırda 500.000 ton civarında stoklarda birikmiş durumdadır. Tenörünün satılabilir düzeyde olmaması nedeniyle borik asit

üretiminde ve/veya sektörde kullanılamamaktadır. Bor minerallerinin dünya üzerindeki önemine istinaden, birçok araştırmacı üretim esnasında oluşan bor kayıplarını en aza indirmek amacıyla araştırmalar yapmış ve halde yapmaktadırlar. Örneğin; Zenginleştirme çalışmalarında atıkları suda bekletme, mekanik karıştırıcıda aşındırma/dağıtma, eleme ile sınıflandırma yöntemleri kullanılarak kil içerikli şlamın ortamdaki uzaklaştırılması ve ardından bor ile çalışılması gerektiği çeşitli araştırmalarda vurgulanmaktadır [5, 6, 8, 9, 10, 12, 13, 17, 18, 19, 20].

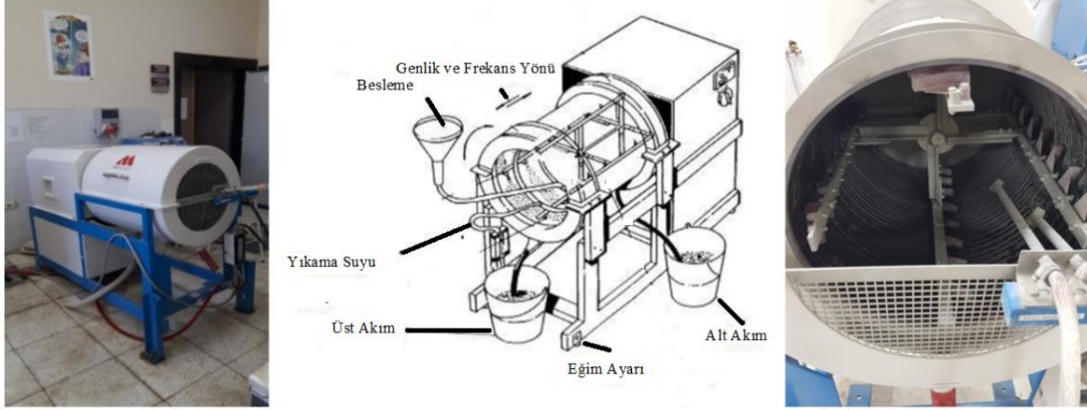
Dünya bor rezervinin %73'lük kısmına sahip olmak yeterli değildir, aynı zamanda kaynakların etkin kullanılması da gerekmektedir. Bor cevherinin kullanım alanlarının yaygınlaşması talepleri artırarak büyük tonajlarda cevherin işlenmesine neden olmaktadır. Ancak düşük tenörlü rezervlerin ve ürünlerin yüksek kazanımlarla, ekonomik olarak zenginleştirilmesi de gerekliliktir. Bor madenlerimizin önemine istinaden, verimli üretilmesi açısından Emet Bor İşletmesi Espey konsantratörü %32-36 B₂O₃ tenörlü ve 3 mm tane boyutu altında kalan yıkanmış ürün ile çalışılmıştır. Tenörünün düşük olması nedeniyle kullanılmadığından, kilinden uzaklaştırılarak bor içeriğinin yükseltilmesi hedeflenmiştir. Bor cevherinden konsantre bor üretiminde tüm tesislerde su ile yıkama ardından boyuta göre sınıflandırma yapılarak kaba ve ince kil uzaklaştırılmaktadır. Böylece çevresel açıdan kontrol altında tutulması gereken büyük miktarlarda kaba ve ince kil artık depoları oluşmaktadır. Üretim için kullanılan teknolojiler sonucu kil boyutuna yaklaşan büyük oranda bor da kaybedilmektedir.

Mineral tanelerinin akışkan ortamdaki hareket hızlarını ve davranışlarını, akışkan ortamın akış rejimi, viskozitesi, özgül ağırlığın yanısıra mineralin şekli, tane boyutu gibi özellikleri ile zenginleştirme işleminin yapıldığı cihazın yapısı ve çalışma şekli (örneğin merkezkaç kuvvetinin varlığı) de etkilemektedir. Bu durumdan yola çıkılarak, özellikle ince tane boyutunda sınıflandırma ve zenginleştirme yapabilen cihazlar değerlendirilmiştir. Hidrodinamik kuvvetlerin yanında gravite ve merkezkaç kuvvetinden yararlanarak, bor taneceklerini boyutlarına ve/veya yoğunluklarına göre kilinden ayırabilecek cihazlar incelenmiştir. Yatay eksenli santrifüj kuvvetin etkin olduğu Richard Mozley Multi-Gravite Separatör (MGS) ve dikey eksenli santrifüj kuvvetin etkin olduğu Falcon gravite seperatör cihazı seçilmiştir.

MGS, 2 mm'den ince tane boyutlu farklı minerallerin birbirinden ayrılmasında kullanılmak üzere geliştirilmiş yatay eksenli ve akışkan yataklı bir gravite ayırıcısıdır (Şekil 1). Cihazın; Genlik ve frekans değeri, tambur devir sayısı, tamburun yatay eksenle arasındaki açı, yıkama suyu miktarı, katı/sıvı oranı, besleme miktarı ve hızı, besleme tane boyut dağılımı, tabaka halinde akan akışkan ortamda zenginleştirmeyi sağlamaktadır [21]. Böylece, tanelerin birbirinden ayrılması, özgül ağırlık, şekil ve boyut farklılığından çok, tanelerin hidrodinamik özellikleriyle ilgili olmaktadır. Beslenen malzeme

içerisindeki taneler bu hidrodinamik kuvvetlerin bileşke kuvveti ile alt akım ürünü ve üst akım ürünü olmak üzere

tane boyutu ve/veya yoğunluk değerine göre sınıflanmaktadır [22, 23, 24].



Şekil 1. Laboratuvar tipi MGS ünitesi ve şematik gösterimi (Laboratory type MGS unit and its schematic representation) [22]

Falcon gravite seperatör ise, (Şekil 2) 2 mm'den ince tane boyutlu farklı minerallerin birbirinden ayrılmasını sağlamak amacıyla geliştirilmiş düşey eksenli ve akışkan yataklı gravite ayırıcısıdır. Seperatörde santrifüj etkisiyle oluşan ve 300 G değerine ulaşabilen kuvvet ile yüksek kapasitede ve düşük ayırma yoğunluklarında çalışabilmektedir [25, 26, 27, 28]. Seperatörün ayırma konisi, cihaz içerisinde dikey olarak konumlandırılmıştır ve hidrodinamik kuvvetlerin bileşke kuvveti ile ayırma gerçekleştirilmektedir.

Çalışmada, konsantratör tesisinin çıkışından depolama alanına gönderilen 3 mm tane boyutu altında kalan %32-36 B₂O₃ tenör aralığındaki yıkanmış düşük tenörlü kolemanitin bor içeriğinin artırılması araştırılmıştır. Bu amaçla yatay eksenli santrifüj kuvvetin etkin olduğu MGS ve düşey eksenli santrifüj kuvvetin etkin olduğu Falcon gravite seperatör cihazı ile çalışılmıştır. Böylece kolemanitten kıl mineralleri uzaklaştırılarak, B₂O₃ tenör değerinin yükseltilmesi dolayısıyla satılabilir / kullanılabilir tenöre getirilmesi hedeflenmiştir.



Şekil 2. Laboratuvar ölçekli Falcon gravite seperatör (Laboratory scale Falcon gravity separator) [29]

2. MALZEME VE YÖNTEMLER (MATERIALS and METHODS)

2.1. Malzemeler (Materials)

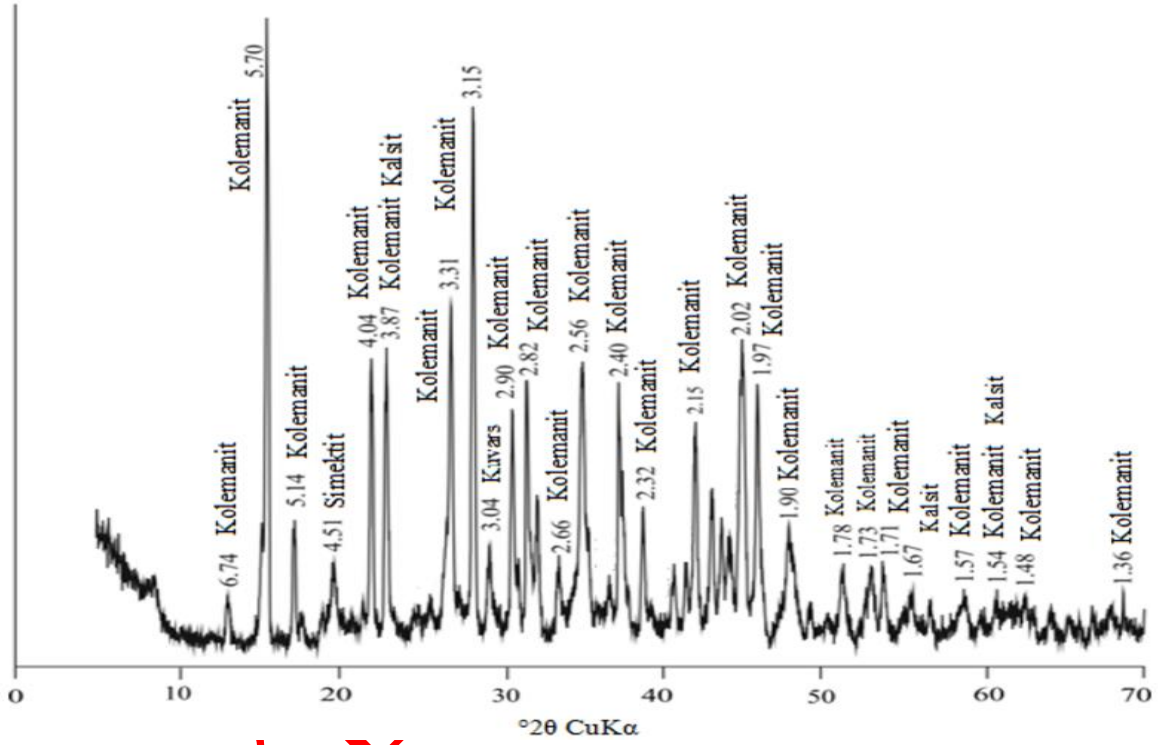
Araştırma numunesi, Eti Maden Espey Konsantratör tesisi çıkışında bulunan stok sahasından temin edilmiştir (Şekil 3). Konsantratör tesisi fiziksel bir zenginleştirme tesisidir. Kırma, yıkama-dağıtma, sınıflandırma, triyaj bölümlerinden oluşmaktadır. Ocaktan alınarak konsantratör tesisine getirilen %27-28 B₂O₃ tenörlü kolemanit cevheri uygulanan fiziksel işlemlerden sonra %40-45 B₂O₃ tenörlerine çıkartılır. Cevher, proses çıkışında boyuta göre satışa sunulmaktadır. Çalışmada kullanılan numune, proses çıkışı ürünlerden 3mm tane boyutu altında kalan, %32-36 B₂O₃ aralığında düşük tenörlü olarak tabir edilen üründür. Harmanlanan

numunenin yüzey neminin giderilmesi amacıyla 65°C'ye ayarlı kurutma dolabında kontrollü olarak kurutulmuştur. Jones Riffle Tip numune bölücü ve konileme-dörtleme yöntemleri kullanılarak eş numuneler hazırlanmıştır.

Afyon Kocatepe Üniversitesi Teknoloji Uygulama Araştırma Merkezi (TUAM) laboratuvarında. Shimadzu 6000 model ve Bruker D8 Advance X-ışınları difraktometreleri kullanılarak numunenin XRD mineralojik analizi ve değerlendirmesi yapılmıştır. X-ışınları çözümlenmeleri ile mineral tanımlamaları JCPDS (Joint Committee on Powder Diffraction Standards) kartları [30] kullanılarak yapılmıştır. Analizler ile örnekte asıl olarak kolemanitin, önemli oranda kalsiyum oksit ve silisyum dioksitinde bulunduğu belirlenmiştir (Şekil 4).



Şekil 3. Stok sahası ve deneysel çalışmalarda kullanılan numune (Sample used in stock area and experimental studies)



Şekil 4. Numunenin XRD analiz grafiği (XRD analysis graph of the sample)

2.2. Yöntemler (Methods)

2.2.1. Mekanik karıştırıcıda kil aşındırma-dağıtma çalışmaları (Clay abrasion-dispersion studies in mechanical mixer)

Düşük tenörlü ürün niteliğindeki kolemanitin yüzeyinin kil mineralleri ile temas halinde olması nedeniyle kolemanitin serbest hale getirilmesi için Heidolph RZR 2021 marka mekanik karıştırıcı kullanılarak kil aşındırma/dağıtma çalışmaları; % 30, 50, 70 katı/sıvı oranlarında 15, 30, 45 dk çalışma sürelerinde ve farklı karıştırma devirlerin de gerçekleştirilmiştir (Çizelge 1).

Deneyler ile en uygun sonuçlara %50 katı/sıvı oranında, 45 dk (ilk 25 dakika 1100 dev/dk, 20 dk 1400 dev/dk) boyunca karıştırılmasıyla ulaşılmıştır.

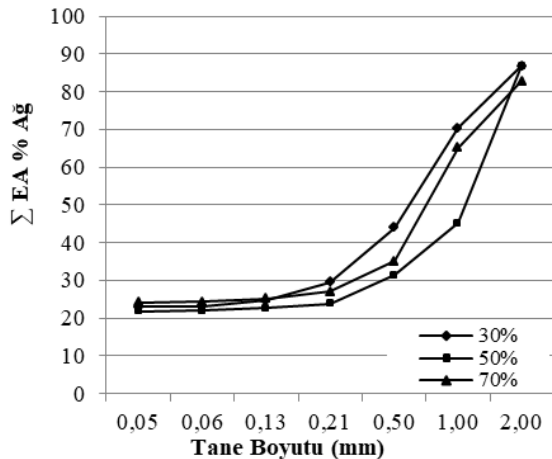
Araştırmalarda, 3 mm tane boyutu altında kalan klasifikatör çökeninin çeşitli pervaneli dağıtıcılar kullanılarak zenginleştirme çalışmaları yapıldığından bahsedilmektedir. Ediz vd. [31], Kestelek bor tesisinden alınan örneklerle yaptıkları çalışmada 10 farklı tipte pervane kullanıldığına vurgu yaparak -3+0,1 mm tane fraksiyonundaki konsantre ile deneylerini gerçekleştirmişlerdir. %50 katı/sıvı oranında, 3 kollu pervane türünde, 1400 dev/dk pervane dönüş hızında, 24 dk aşındırma süresi parametrelerinde %37,09 B₂O₃ tenör ve %96,04 verimle konsantre elde etmişlerdir.

Çizelge 1. Mekanik karıştırıcı da süreye bağlı devir hızları (Cycle rates depending on time in mechanical mixer)

Toplam Süre, dk	Devir Hızı ve Süre Dağılımları	
	5 dk	10 dk
15	1100 dev/dk	1400 dev/dk
30	15 dk 1100 dev/dk	15 dk 1400 dev/dk
45	25 dk 1100 dev/dk	20 dk 1400 dev/dk

Çalışmaların sonucunda, katı/sıvı oranının ve aşındırma süresinin yüksek olmasının süspansiyona geçen kil miktarını arttıracığı dolayısıyla ortamın viskozitesini arttırmak suretiyle tanelerin hareketini zorlaştıracığı belirtilmiştir. Ortam koşullarının bu şekilde oluşması ile sürtünme-aşındırma etkisinin azalacağı ifade edilmiştir [31]. Bu nedenle, çalışmamızda karıştırma süresi uzun tutulmuş ancak mekanik karıştırıcı devir sayısı kademeli olarak artırılarak yüksek devirde çalışılmıştır. Böylece kilin bor yüzeyinden dağılması sağlanmış, gravite kuvvetten yararlanan cihazlar seçilerek kil boyutundaki malzemelerin uzaklaştırılması ve söz konusu çalışmaya yakın verim değeri ile satılabilir tenörlü ürünlerin elde edilmesi sağlanmıştır.

%30 katı/sıvı oranında gerçekleştirilen çalışmada, Pülpteki katı oranının düşük olması nedeniyle tam olarak bir kil açma işlemi gerçekleştirilememiştir. %70 katı/sıvı oranında ise, katı oranının yüksek olması başlangıçta iyi bir açılma sağlamış olmasına rağmen ilerleyen sürelerde viskozite arttığından makinanın zorladığı/ısındığı tespit edilmiştir. Çalışma koşulları incelendiğinde; En uygun sonuçlar 45dk karıştırma süresinde, %50 katı/sıvı oranında elde edilmiştir (Şekil 5).



Şekil 5. 45 dakika sürede Σ elektin altı %Ağ eğrisi (%Wt curve based on 45 minutes time Σ bottom sieve)

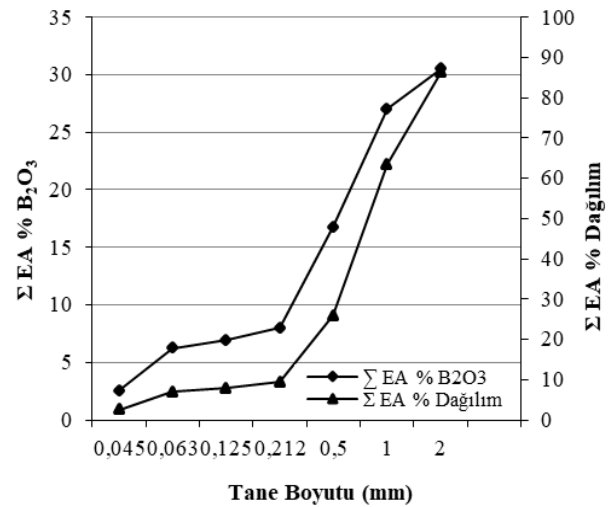
Numunenin başlangıçta fiziksel olarak incelenmesi ile iri boyutta killi toprakların mevcut olmasının yanısıra kil içeriğinin de yüksek olduğu görülmüştür. Çalışmaya killi numunenin mekanik karıştırıcıda aşındırılarak dağıtılması ile başlanmış, optimize edilen deney şartları

ile elek analizi yapılmıştır. Elek fraksiyonlarının kimyasal analizi Eti Maden İşletmeleri laboratuvarında analiz edilmiştir. Analiz sonuçlarından düşük tenörlü konsantrinin %32,90 B₂O₃ tenörlü, kızdırma kaybının %14,20, nem değerinin ise %8,22 olduğu tespit edilmiştir (Çizelge 2).

Karakterizasyon çalışmalarında, malzemenin yaklaşık %30 oranında kil içerdiği belirlenmiştir. Şekil 6'da tane boyutuna bağlı bor-oksit dağılımı verilmektedir. 1 mm tane boyutu üzerinde B₂O₃ tenörü %47,68 ve ağırlıkça ana malzemenin %25'ine tekabül etmektedir. Tane boyutu azalması ile tenörde düşmektedir, 0,045 mm tane boyutu altında B₂O₃ tenör değerinin %2,57'ye düştüğü tespit edilmiştir. Analizler sonucunda gravite seperatör çalışmalarında eleme ile 1 mm tane boyutu altına alınan, %27 B₂O₃ tenörlü ve ağırlıkça ana malzemenin %75'ine tekabül eden malzeme kullanılmıştır.

2.2.2 Multi-gravite seperatör (MGS) çalışmaları (Multi-gravity separator (MGS) studies)

%50 katı/sıvı oranında, 45 dk karıştırma süresinde ve Çizelge 1'de belirtilen devir ayarlarında dağıtılan numune 1 mm açıklıklı elekten elenerek %30 katı/sıvı oranında hazırlanmıştır. 2,3 l/dk besleme hızında, peristaltik pompayla Çizelge 3'de belirtilen parametrelerde MGS cihazına beslenmiştir.



Şekil 6. Elek-bor oksit dağılım eğrisi (Sieve-boron oxide distribution curve)

Çizelge 2. Numunenin kimyasal bileşiminin tane fraksiyonuna göre dağılımı (Distribution of the sample according to grain fraction of chemical composition)

Tane Fraksiyonu, mm	Ağırlık %	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	9,30	47,61	0,78	0,30	-	26,40	0,75	1,94	0,096	210	0,021	0,0346
-2 + 1	15,36	47,72	0,60	0,31	-	26,50	0,68	1,92	0,0784	190	0,0183	0,0611
-1 + 0,5	25,62	46,90	1,54	0,35	0,20	25,90	0,89	1,88	0,092	272	0,0197	0,152
-0,5 + 0,212	11,90	44,69	3,73	0,48	0,77	24,40	1,39	1,83	0,203	579	0,0255	0,375
-0,212 + 0,125	1,35	37,23	7,30	0,85	1,78	22,30	2,19	1,72	0,0375	495	0,034	0,66
-0,125 + 0,063	1,00	30,74	11,30	1,28	2,79	19,50	3,17	1,59	0,123	838	0,0457	1,04
-0,063 + 0,045	4,50	31,38	10,50	1,01	2,55	20,30	2,75	1,60	0,14	1150	0,0469	1,09
-0,045	30,97	2,57	29,00	3,39	7,77	9,73	6,98	1,20	0,06	293	0,0803	2,39
BM Toplam	100,00	32,90	18,00	2,45	5,65	17	4,32	1,59	0,129	105	0,113	2,08

Çizelge 3. MGS çalışma parametreleri (MGS operating parameters)

Tane Boyutu (mm)	Katı/Sıvı Oranı (%)	Eğim Açısı (°)	Besleme Süresi (dk)	Tambur Dönüş Hızı (dev/dk)	Yıkama Suyu Miktarı (l/dk)	Frekans (Hz)	Genlik (mm)
	30			240	2	4	10
-1,00	35	3	7	260	4	4,8	15
	40			280	5	5,7	20

2.2.3. Falcon gravite seperatör deneysel çalışmaları (Falcon gravity separator experimental studies)

Falcon gravite seperatör cihazının, düşük tenörlü kolemanit konsantrisindeki kilin uzaklaştırılmasına etkisi araştırılmıştır. Çalışmada cihaz parametrelerinden G kuvvetinin ve su basıncı değişiminin kil uzaklaştırmaya etkisi değerlendirilmiştir. %50 katı/sıvı oranında, 45 dk karıştırma süresinde ve Çizelge 1'de belirtilen devir ayarlarında karıştırılarak açılan numune 1 mm açıklıklı elekten elenerek %20 katı/sıvı oranında hazırlanmıştır. Peristaltik pompa ile 0,5 l/dk besleme hızında cihaza beslenmiştir.

Çalışmada; katı/sıvı oranı, besleme miktarı, tane boyutu sabit tutularak, 99, 123, 148, 176, 200 G kuvvetleri ve ~13,79 - ~20,68 - ~27,58 kPa yıkama suyu basıncında belirlenen parametreler kullanılmıştır (Çizelge 4).

3. BULGULAR VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSION)

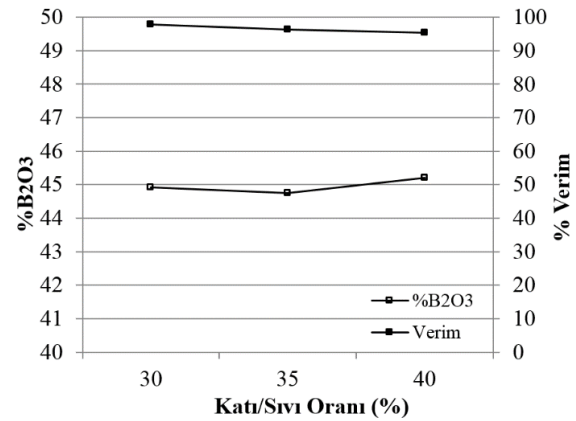
Araştırmada, düşük tenörlü olması nedeniyle satılmayan ve stok sahasında depolanan ortalama %32-36 B₂O₃ tenörüne sahip kolemanit ön konsantrisi ile çalışılmıştır. Malzemede yer alan kilin uzaklaştırılarak tenörünün artırılıp satılabilir ürün haline getirilmesi hedeflenmiştir.

Çizelge 4. Falcon gravite seperatör çalışma parametreleri (Falcon gravity separator operating parameters)

Tane Boyutu (mm)	Katı/Sıvı Oranı (%)	G Kuvveti	Su Basıncı (kPa)
		99	~13,79
		123	
-1,00	20	148	~20,68
		176	
		200	~27,58

3.1. Multi-Gravite Seperatör (MGS) Deneysel Çalışmaları (Multi-Gravity Separator (MGS) Experimental Studies)

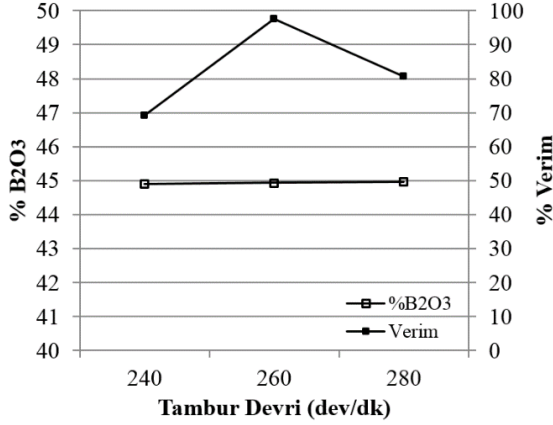
MGS cihazında; frekans değeri 4 Hz, genlik değeri 20 mm, tambur dönüş hızı 260 dev/dk, yıkama suyu miktarı 4 l/dk ve değiştirilen katı/sıvı oranlarında (%30, 35, 40) çalışılmıştır. %30 katı/sıvı oranında yapılan çalışmada %97,91 B₂O₃ verimi, %35 katı/sıvı oranında yapılan çalışmada %96,36 B₂O₃ verimi ve %40 katı/sıvı oranında yapılan çalışmada %95,48 B₂O₃ verimi elde edilmiştir (Şekil 7). %30 katı/sıvı oranında yapılan çalışma ile en uygun kazanımın elde edildiği tespit edilmiştir.



Şekil 7. Değişen katı oranı değerlerine göre tenör-verim eğrisi (Grade-yield curve according to varying solids ratio values)

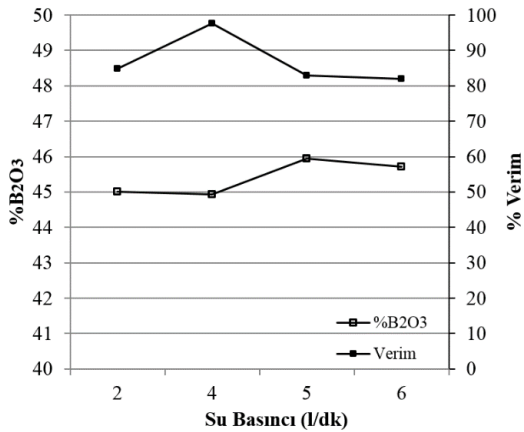
MGS'nin; %30 katı/sıvı oranı sabit tutularak, 4 l/dk yıkama suyu, 4 Hz frekans, 20 mm genlik değerlerinde ve 240, 260, 280 dev/dk tambur dönüş hızlarında çalıştırılması sonucu kil ayırmaya etkisi incelenmiştir (Şekil 8). Tambur dönüş hızının; 240 dev/dk'ya

ayarlanması durumunda B_2O_3 veriminin %69,10 olduğu, 260 dev/dk'ya ayarlanması ile B_2O_3 veriminin %97,51'e ulaştığı ve 280 dev/dk'ya artırılması ile B_2O_3 veriminin %80,64'e düştüğü belirlenmiştir. Tambur devir hızının düşük olduğu 240 dev/dk'da kolemanitin atıkta kalması nedeniyle kaybedilmesine neden olurken 280 dev/dk'ya ayarlı MGS'de tambur devri fazla olduğundan kil tambur çeperine tutunarak konsantr ile birlikte alınmıştır. Tambur devir hızının 260 dev/dk seçilmesinin en iyi yaklaşım olduğu belirlenmiştir.



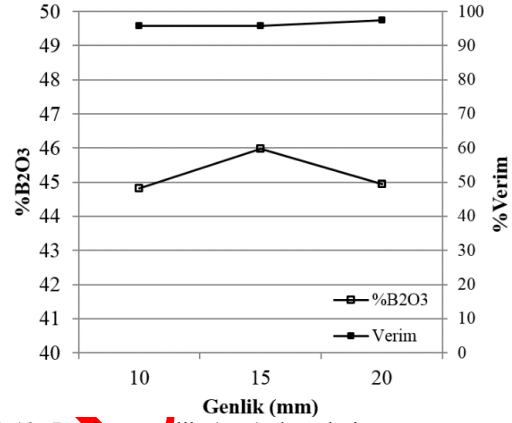
Şekil 8. Değişen tambur devri (dev/dk) değerlerine göre tenör-verim eğrisi (Grade-efficiency curve according to changing drum speed (rpm) values)

MGS'nin; %30 katı/sıvı oranında, 4 Hz frekans, 20 mm genlik, 260 dev/dk tambur devri değerleri sabit tutularak, 2, 4, 5, 6 l/dk yıkama suyu miktarı değişkenleri ile çalıştırılması sonucu kil ayırmaya etkisi incelenmiştir (Şekil 9). Sonuçlar incelendiğinde; 2 l/dk yıkama suyu miktarında B_2O_3 veriminin %84,78, 4 l/dk yıkama suyu miktarında B_2O_3 veriminin %97,51, 5 l/dk yıkama suyu miktarında B_2O_3 veriminin %82,94, 6 l/dk yıkama suyu miktarında ise B_2O_3 veriminin %81,97 olduğu tespit edilmiştir. 4 l/dk yıkama suyu miktarı, %44,93 B_2O_3 konsantr tenörü ile satılabilir tenörü sağladığından ve %1,5 B_2O_3 tenörü ile diğer çalışma atıkları içerisinde çok düşük değerde olduğundan en uygun çalışma parametresi olmuştur.



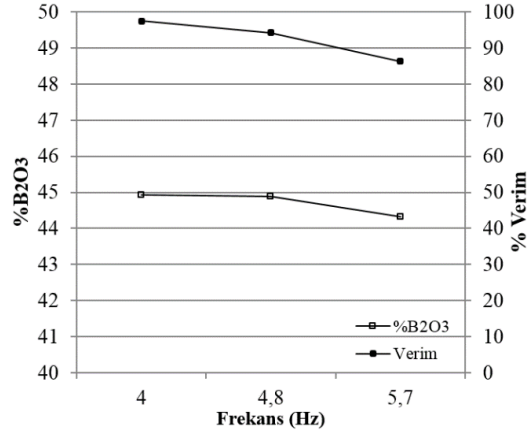
Şekil 9. Su basıncı (l/dk) değerlerinin değişimine göre tenör-verim grafiği (Grade-yield curve according to changing water pressure (l/min) values)

MGS'nin; %30 katı/sıvı oranında, 4 Hz frekans, 260 dev/dk tambur devri, 4 l/dk yıkama suyu miktarı sabit tutularak, genlik değerinin 10, 15, 20 mm değişkenleri ile çalıştırılması sonucu kil ayırmaya etkisi incelenmiştir (Şekil 10). Elde edilen verilerden, genlik değerindeki artışın konsantr tenörlerinde değişikliğe neden olmadığı tespit edilmiştir. Genlik değeri; 10 mm iken %95,72 B_2O_3 verimi, 15 mm iken %95,79 B_2O_3 verimi ve en uygun sonuç olarak 20 mm iken %97,51 B_2O_3 verimi elde edilmiştir.



Şekil 10. Değişen genlik (mm) değerlerine göre tenör-verim eğrisi (Grade-yield curve according to changing amplitude (mm) values)

MGS'nin; %30 katı/sıvı oranı, 260 dev/dk tambur devir hızı, 4 l/dk yıkama suyu miktarı, 20 mm genlik değerleri sabit tutularak, frekans değerinin 4 - 4,8 ve 5,7 Hz değişkenleri ile çalıştırılması sonucu kil ayırmaya etkisi incelenmiştir (Şekil 11).



Şekil 11. Değişen frekans (Hz) değerlerine göre tenör-verim eğrisi (Grade-yield curve according to changing frequency (Hz) values)

Frekans değeri; 4 Hz iken %97,51 B_2O_3 verimi, 4,8 Hz iken %94,27 B_2O_3 verimi ve 5,7 Hz iken %86,34 B_2O_3 verimi elde edilmiştir. Frekans değerindeki artışa bağlı olarak konsantr tenörü ve verimi azalmaktadır. Sonuçlardan çalışılabilir frekans değerinin 4 Hz olarak değerlendirilmesi gerektiği tespit edilmiştir.

MGS cihazındaki çalışmalar ile en iyi yaklaşıma; 260 dev/dk tambur devir hızı, %30 katı/sıvı oranı, 20 mm genlik, 4 l/dk yıkama suyu miktarı, 4 Hz frekans

değerinde ulaşılmıştır. Nihai ürün tenörü %44,93 B₂O₃, verimi ise %97,51 olarak elde edilmiştir. Atık tenörü ise %1,50 B₂O₃ olarak analiz edilmiştir.

3.2. Falcon Gravite Separatör Deneysel Çalışmaları (Falcon Gravity Separator Experimental Studies)

Falcon gravite seperatör ile 99, 123, 148, 176, 200 G kuvvetlerinde ~13,79 - ~20,68 - ~27,58 kPa yıkama suyu basıncı değişkenlerinde çalışılarak kolemanitten kilin ayrılmasına etkisi araştırılmıştır (Şekil 12).

Cihazın 99 G kuvvetinde çalıştırılması ile ~13,79 kPa yıkama suyu basıncında B₂O₃ verimi %37,95, ~20,68 kPa yıkama suyu basıncında B₂O₃ verimi %41,93 ve ~27,58 kPa yıkama suyu basıncında B₂O₃ verimi %70,92 olduğu tespit edilmiştir. Çalışmada, yıkama suyu basınç (kPa) değeri arttıkça düşük yoğunluklu tanelerin akışkan yatakta koninin üst kısmına doğru kuvvetli şekilde itildiği ve ortamdan ayrıldığı görülmüştür. 99 G kuvvetinde ve ~27,58 kPa yıkama suyu basıncında %44,04 B₂O₃ tenör ve %70,92 verim ile konsantr elde edilmiştir.

Cihazın 123 G kuvveti değerinde ~13,79 kPa yıkama suyu basıncında konsantrenin B₂O₃ verimi %86,65, ~20,68 kPa'da konsantrenin B₂O₃ verimi %90,71 ve ~27,58 kPa da konsantrenin B₂O₃ verimi %95,24 olarak tespit edilmiştir. Yıkama suyu basıncının artmasıyla konsantr verimi de artarak en yüksek verime ~27,58 kPa yıkama suyu basıncında ulaşılmıştır, elde edilen ürünün tenörü ise %44,99 B₂O₃ olarak analiz edilmiştir.

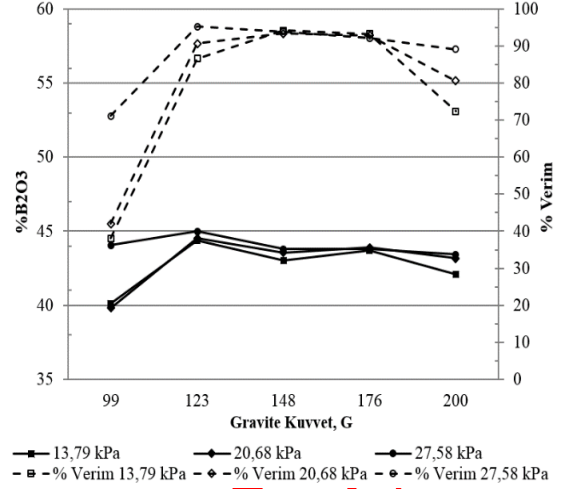
Cihazın 148 G kuvveti ~13,79 kPa yıkama suyu basıncında konsantrenin B₂O₃ verimi %94,23, ~20,68 kPa yıkama suyu basıncında konsantrenin B₂O₃ verimi %93,35 ve ~27,58 kPa yıkama suyu basıncında konsantrenin B₂O₃ verimi ise %93,90 olarak hesaplanmıştır. Yıkama suyu basıncının artması konsantr verimi ve tenörünü değiştirmemiştir. 176 G kuvvetinde de benzer sonuçlar alınmıştır.

Cihazın 200 G kuvveti ~13,79 kPa yıkama suyu basıncında konsantrenin B₂O₃ verimi %72,35, ~20,68 kPa yıkama suyu basıncında konsantrenin B₂O₃ verimi %80,62 ve ~27,58 kPa yıkama suyu basıncında konsantrenin B₂O₃ verimi %89,12 olarak hesaplanmıştır. Konsantr tenör değerleri arasında fark olmadığı Şekil 12'den takip edilebilmektedir. En yüksek konsantr B₂O₃ verimine ~27,58 kPa yıkama suyu basıncında ulaşılmıştır. Elde edilen ürünün tenörü ise %43,42 B₂O₃ olarak analiz edilmiştir.

Falcon gravite seperatör çalışmalarında, 123 G kuvveti, ~27,58 kPa yıkama suyu basıncında en uygun çalışma koşullarına ulaşılmıştır. Bu koşullarda konsantr verimi %95,24 ve tenörü %44,99 B₂O₃ değerine sahiptir. Atık tenörü ise %3,01 B₂O₃ olarak analiz edilmiştir.

Çalışmada düşük tenörlü ürünün katma değeri olan ürüne dönüştürülebilmesi için bir dizi yöntem kullanılmış ve değerlendirilmiştir. Günümüz ekonomi şartlarında sadece yöntemin belirlenmesi değil aynı zamanda yatırım koşullarının da detaylı olarak analiz edilmesi ve gerekli verilerin elde edilmesinden sonra karara varılması önemli

bir yaklaşımdır. Yapılan çalışmaların sadece finansal yönden değerlendirilmeleri yanlıştır.



Şekil 12. Değişen G kuvvetine ve su basıncı değerlerine göre karşılaştırmalı tenör - verim grafiği (Comparative grade - yield graph according to changing G force and water pressure values)

Buradan hareketle araştırmaların etik, detaylı ve gerçekçi sonuçlandırılması amacıyla hazırlanan fizibilite etütleri; Projelerde yer alması gereken verileri ve bilgileri, kullanılması gereken teknikleri ve elde edilen sonuçları kapsamalıdır. Böylece, gerçekleştirilmesi planlanan projelerin değerlendirilmesinde kişilere karar verme yaklaşımı sağlar [32]. Bu çalışma aynı zamanda düşük tenörlü cevher için hazırlanacak fizibilite etütlerinin değerlendirilmesine katkı sağlamak amacıyla da yapılmıştır. Tercih edilen teknolojik cihazlar ve birbirleriyle çelişkili birçok nicel ve nitel kriterler vasıtasıyla bilgi, teknik ve teknolojik adımlar incelenerek değerlendirmeler yapılmıştır. Fizibilite etütlerinde değerlendirme kriterlerinden; Organizasyon, ulaştırma, ekonomik, mali, sosyal ana kriterleri ise değerlendiricilerin görüşlerine bırakılmıştır.

4. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Konsantr olarak satılmayan %32-36 B₂O₃ düşük tenörlü kolemanitin kilinden uzaklaştırılıp tenör değeri yükseltilecek şekilde satılabilir tenör olan %42 B₂O₃'e getirilmesinin hedeflendiği çalışmada; kil açma ve dağıtma çalışmaları, MGS ve Falcon gravite seperatör ile ayrı ayrı deneyler yapılarak cihazların kil uzaklaştırmaya etkileri incelenmiştir. Çalışmalar sonucunda Çizelge 5'de en iyi olarak değerlendirilen çalışma koşullarına ait konsantr ve atığın tenör - verim değerleri verilmiştir. Şekil 13'de ise çalışmaya ait akım şeması verilmiştir.

Yapılan araştırmalar sonucunda;

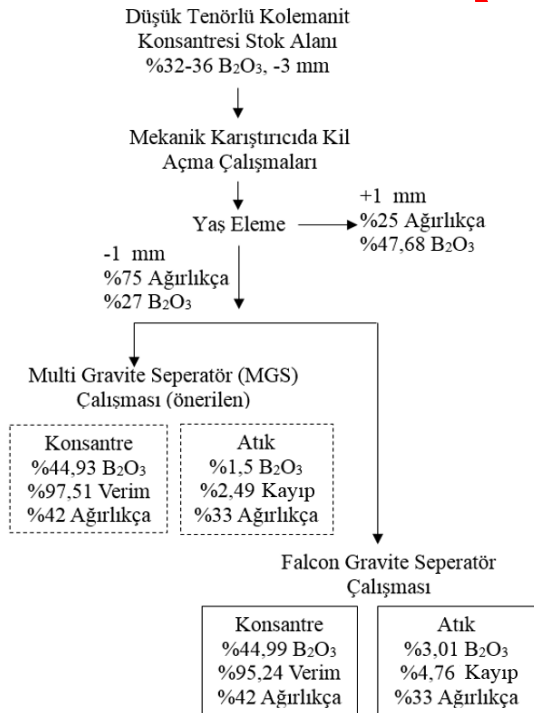
- Çalışmada, konsantratör tesisinde -3+0 mm tane fraksiyonundan kil uzaklaştırmanın yetersiz kaldığı veya ince malzemeye yönelik uygun şartların sağlanamadığı tespit edilmiştir. Sorunun giderilmesi için tesis çıkışına kuvvetli bir mekanik aşındırma cihazının yerleştirilmesi gerektiği veya şartların optimize edilmesi gerektiği tavsiye edilmektedir.

- Besleme malının elek analizi ile -3+1 mm tane fraksiyonunun ağırlıkça %25'lik kısmını oluşturduğu bu kısmın tenörünün ise %47,68 B₂O₃ olduğu belirlenmiştir. Bu kısmın mekanik aşındırıcı çalışması sonrası elenerek alınması tavsiye edilmektedir.

Çizelge 5. Zenginleştirme çalışmaları sonucu en uygun konsantr tenör – verim değerleri (The most appropriate concentrate grade – yield values as a result of enrichment studies)

	Multi-Gravite Seperatör	Falcon Gravite Seperatör
	-1 mm tane boyutu	-1 mm tane boyutu
Konsantr	44,93 % B ₂ O ₃	44,99 % B ₂ O ₃
	97,51 % Verim	95,24 % Verim
Atık	1,5 % B ₂ O ₃	3,01 % B ₂ O ₃
	2,49 % Kayıp	4,76 % Kayıp
Çalışma Koşulları	%30 katı/sıvı oranı, 4 l/dk yıkama suyu miktarı, 4 Hz frekans, 20 mm genlik, 260 dev/dk tambur devri	%20 katı/sıvı oranı, 123 G kuvveti, ~27,58 kPa yıkama suyu miktarı

- MGS cihazı çalışmalarında tambur hızı 260 dev/dk, yıkama suyu miktarı 4 l/dk, frekans değeri 4 Hz, genlik değeri 20 mm ile en uygun koşullara ulaşılmıştır. Bu çalışma koşullarında elde edilen konsantrenin verimi %97,51 ve tenörü ise %44,93 B₂O₃ olarak elde edilmiştir.



Şekil 13. Çalışmaya ait/önerilen akım şeması (Flow chart of the study/recommended)

- Falcon gravite seperatör çalışmaları ile 123 G kuvvetinde, 4 ~27,58 kPa yıkama suyu basıncında en

uygun çalışma koşullarına ulaşılmıştır. Bu çalışma koşullarında elde edilen konsantrenin verimi %95,24 ve tenörü ise %44,99 B₂O₃ olarak elde edilmiştir.

- MGS ve Falcon gravite seperatör cihazları ile gerçekleştirilen çalışmalarda her iki cihazdan elde edilen ürünlerin satılabilir tenöre sahip olduğu ve yüksek verimler ile elde edilebildiği belirlenmiştir. Düşük tenörlü konsantrenin satılabilir tenöre getirilmesi için her iki cihazda üretim planlanmasında tercih edilebilir. MGS'den alınan en iyi sonuçta atığın %1,5 B₂O₃ tenör ile en düşük kaybı verdiği, Falcon gravite seperatörde ise en iyi koşullarda atık tenörünün %3,01 B₂O₃ olması nedeniyle MGS kullanımının daha uygun olduğu söylenebilir.
- Atık tenörleri ile birlikte MGS'ye %30, Falcon gravite seperatöre ise %20 katı/sıvı oranında malzeme beslendiğinden ve besleme hızı (l/dk) MGS'de daha yüksek olduğundan tesis kapasitesi de göz önüne alındığında MGS kullanımı tercih sebebi olacaktır.
- Sonuç olarak, elde edilen tüm veriler değerlendirildiğinde; -1+0 mm tane boyut fraksiyonuna sahip ana malzemeye göre ağırlıkça %75 olan % 27 B₂O₃ tenörlü malzemenin MGS'de çalışması tavsiye edilmektedir.
- Çalışmaya çevresel ve ekonomik açıdan yaklaşıldığında; Düşük tenörlü konsantrenin ağırlıkça %25'i %47,68 B₂O₃ tenörlü ürün olarak elenerek ayrılmaktadır. %75'lik kısımdan MGS ile ağırlıkça %42,53'ü %44,93 B₂O₃ tenörlü konsantr olarak alınmaktadır. Böylece malzemenin toplamda ağırlıkça %67'sinin %45,95 B₂O₃ tenörlü konsantr olarak alınabileceği, %33'ünün ise %1,55 tenörlü atık olarak baraja gönderilebileceği tespit edilmiştir. Hedefin gerçekleştirilmesi ile, yıllardır bekleyen ve sürekli olarak artan, 3 mm tane boyutu altında kalan düşük tenörlü yıkanmış ürün katma değeri artan ürüne dönüştürülmüştür. Depolama sahalarında bekletilmekte olan yaklaşık 500.000 ton birikmiş ürün sahada yaklaşık 23.000 m² alanı kaplamaktadır. Böylece düşük tenörlü ürünün değerlendirilmesi ile çevre sorunlarının önüne geçilmesine ve yaklaşık %67 oranında stoklama alanının azaltılmasına da katkı sağlanmış olacaktır.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENT)

Bu çalışma, Afyon Kocatepe Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından 16.FEN.BİL.37 numaralı proje kapsamında desteklenmiştir. Desteklerinden dolayı teşekkür ederiz.

ETİK STANDARTLARIN BEYANI

(DECLARATION OF ETHICAL STANDARDS)

Bu makalenin yazarları çalışmalarında kullandıkları materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel bir izin gerektirmediğini beyan ederler.

YAZARLARIN KATKILARI (AUTHORS' CONTRIBUTIONS)

Sibel TOK: Numunenin alınması, hazırlanması, deneysel çalışmaların gerçekleştirilmesi ve bilgisayar ortamına aktarılmasında.

Zehra Ebru SAYIN: Fikrin oluşturulması, çalışmanın tasarlanması, uygulanması, veri analizi, yorumlanması, bilgisayar ortamına aktarılması, makalenin oluşturulmasında.

Mehmet SAVAŞ: Fikrin oluşturulması, verilerin doğrulanmasında, yorumlanmasında ve makalenin oluşturulması aşamasında katkı sağlamıştır.

ÇIKAR ÇATIŞMASI (CONFLICT OF INTEREST)

Bu çalışmada herhangi bir çıkar çatışması yoktur.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Eti Maden, "Türkiye'nin yükselen değeri: Bor", <https://www.etimaden.gov.tr/turkiyede-bor> (2023).
- [2] Olgun Ş., Gürü M., Aydın D. Y. ve Ertürk A. A., "Fenol ve bor esaslı çevre dostu pigmentin deniz araçlarında boya olarak kullanılabilirliği", *Politeknik Dergisi*, 26(1), 215-221, (2023).
- [3] Murathan H. B., "Hegzagonal Bor Nitrürün Floresans Özelliği", *Politeknik Dergisi*, 28(1): 229-233, (2025).
- [4] Sayın, Z. E., Altay, T., ve Şensöz, H., "Emet-Hisarçık Kütahya bölgesi kilinin mineralojik ve jeokimyasal özellikleri ve kolemanit zenginleşmesine etkisi", *Eskisehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 31(2), 610-619, (2023).
- [5] Erkan, Z. E., Akar, A., ve Savaş, M., "Emet Bor İşletme Müdürlüğü Hisarçık baraj atıklarının değerlendirilebilirliğinin araştırılması", *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 5 (1), 161-174, (2003).
- [6] Erkan, Z. E., Akar, A., ve Savaş, M., "Espey baraj atıklarının değerlendirilebilirliğinin araştırılması", *II. Bor Çalıştayı*, Zonguldak, 20, (2004).
- [7] Traher, W. J., & Warren, L. J., "The floatability of very fine particles", *International Journal of Mineral Processing*, 3, 103-131, (1976).
- [8] Sayın, Z. E., Yiğit A., ve Savaş, M., "Emet Espey konsantratör tesisi düşük tenörlü kolemanit konsantrasyonunun hidrosiklon ile bor içeriğinin yükseltilmesi", *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 23(4), 1072-1080, (2023).
- [9] Şensöz, H., Sayın, Z. E., Savaş, M., ve Erdoğan, Y., "Emet bor üretim tesisleri atıklarının lityum içeriğinin incelenmesi", *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 21(6), 1460-1469, (2021).
- [10] Bada Tok, S., and Sayın, Z. E., "Effect of shaking table at the removal of clay minerals from low-grade colemanite concentrate", *Academic Journal of Science*, 8(2), 35-42, (2018).
- [11] Yegül, E., "Bor zenginleştirme tesislerinde ara ürün tenörlerinin artırılması için yöntemlerin incelenmesi". *Yüksek Lisans Tezi*, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 137, (2007).
- [12] Aytekin, Y., Lübiç, C., ve Yamık, A., "Kırka tıncal cevherinin flotasyonla zenginleştirilebilirliğinin araştırılması", *2. Uluslararası Cevher Hazırlama Sempozyumu*. Ed Yavuz Aytekin, İzmir, 268-280, (1988).
- [13] Yazar, B., "Düşük tenörlü kolemanit cevherinin flotasyon yolu ile zenginleştirilmesi", *Türkiye Madencilik Bilimsel ve Teknik 3. Kongre*, TMMOB Maden Mühendisleri Odası, Ankara, 571 - 588, (1973).
- [14] Yalçın, H., ve Gündoğdu, M. N., "Emet gölsel neojen baseninin kil mineralojisi", *2. Ulusal Kil Sempozyumu*, Ankara, 155-170, (1985).
- [15] Çolak, M., "The Emet and Kırka borate mines (Turkey) 1: mineralogy and chemistry of the clays, 2: ceramic applications of their tailing products", Unpubl. (*PhD Thesis*), University of Fribourg, Switzerland, 213, (1995).
- [16] Çolak, M., "Hisarçık-Emet kolemanit ocağı killeri", *8. Ulusal Kil Sempozyumu*, Dumlupınar Üniversitesi Kütahya, 25-36, (1997).
- [17] Uçar, A., ve Yargan, M., "Emet Espey bor tesisi ince gölet atıklarından flotasyonla arsenik minerallerinin uzaklaştırılabilirliğinin araştırılması", *Türkiye 21. Uluslararası Madencilik Kongresi ve Sergisi*. Antalya, 487-492, (2009).
- [18] Yamık, A., Uçar, A., Şahbaz, O., ve Demir, U., "Emet Espey konsantratörü -25 mm bor atıklarının hidrosiklon ile zenginleştirilmesi", *II. Uluslararası Bor Sempozyumu*, Eskişehir, (2004).
- [19] Bentli, İ., Bursalı, L., Ediz, N., ve Tatar, İ., "Emet - Hisarçık şlam atıklarının zenginleştirilmesi ve etiketlenmesi", *II. Uluslararası Bor Sempozyumu*, Eskişehir, 87-90, (2004).
- [20] Sönmez, E., and Koca, H., "Cleaning of fine coals by Multi-Gravity Separator", E. Nakoman (Ed), *European Coal Geology, Proceeding of 3th European Coal Conference*, İzmir-Turkey, 481-489, (1997).
- [21] Chan, B. S. K., Mozley, R. H., ve Childs, G. J. C., çev., Yüce, A. E. "Multi gravite ayırıcı". *Madencilik*, 33 (1): 33-41, (1994).
- [22] Traore, A., Conil, P., Houot, R., and Save, M., "An evaluation of the Mozley MGS for fine particle gravity separation", *Minerals Engineering*, 8(7), 767-778, (1995).

- [23] Wills B. A., and Napier-Munn, T. J., “Wills’ Mineral Processing Technology”, *Elsevier Science & Technology Books*, (2006).
- [24] Chan, S. K., Mozley, R. H., and Childs, G. J. C., “The Multi-Gravity Separator (MGS) – A Mine Scale Machine”. Richard Mozley Limited, Redruth, Cornwall, UK, 20., (1991).
- [25] Parekh, B. K., and Abdel-Khalekh, M. A. A., “Using Falcon concentrator, as a new technology, for removal of environmental pollutants of Egyptian coal”. *Journal of Ore Dressing* 7, 20-28, (2002).
- [26] McAlister, S., “Case studies in the use of the Falcon gravity concentrator”, *24th Annual Canadian Mineral Processors Conference*, Ottawa, ON, Canada. 22, (1992).
- [27] Ancia, P., Frenay, J., and Dandois, P., “Comparison of Knelson and Falcon centrifugal separators”. In *Innovation in Physical Separation Technologies*, Falmouth, UK: IMM, 53–62, (1997).
- [28] McAlister, S., and Armstrong, K. C., “Development of the Falcon concentrators”. Presentation at the SME Annual Meeting. Orlando, Florida, (1998).
- [29] [29] Sepro Mineral Systems Corporation <https://www.seprosystems.com/wp-content/uploads/2024/07/Falcon-SB-Concentrator.pdf>, (2024).
- [30] JCPDS, “Mineral powder diffraction file databook, joint committee on powder diffraction standards”, Swarthmore, Pennsylvania, 781, (1993).
- [31] Ediz, N., Bentli, I., Ceylan, T., ve Tatar, I., “Kestelek Bor İşletmesi -3 mm klasifikatör çökene ürünün farklı pervaneli dağıtıcılarda zenginleştirilmesi”, *II.Uluslararası Bor Sempozyumu*, Eskişehir, 93-97, (2004).
- [32] Battal Şal Ö. ve Çubuk M. K., “Ulaştırma projeleri fizibilite etütlerinde bulanık çok kriterli bir değerlendirme modeli”, *Politeknik Dergisi*, 25(3): 1191-1199, (2022).

ERKEN GÖRÜNÜM