

AKÜ FEMÜBİD 23 (2023) 045804 (1072-1080)

AKU J. Sci. Eng. 23 (2023) 045804 (1072-1080)

DOI: 10.35414/ akufemubid.1241354

Araştırma Makalesi / Research Article

Emet Espey Konsantratör Tesisi Düşük Tenörlü Kolemanit Konsantresinin Hidrosiklon ile Bor İçeriğinin Yükseltilmesi

Zehra Ebru SAYIN^{1*}, Ayşegül YİĞİT², Mehmet SAVAŞ³¹ Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Afyonkarahisar.² Pınar Mermer, Afyonkarahisar.³ Eti Maden Emet Bor İşletme Müdürlüğü Emet/Kütahya.Sorumlu yazar e-posta*: zerkan@aku.edu.tr
altinpinaraysegul@gmail.com
msavas69@hotmail.comORCID ID: <http://orcid.org/0000-0003-1949-3127>ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-1960-773X>ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-0383-0793>

Geliş Tarihi: 24.01.2023

Kabul Tarihi: 24.06.2023

Öz

Bu çalışmada, Kütahya Emet Espey Konsantratör Tesisinde üretilen, ancak tenörünün düşük olması nedeniyle, sektörde ve/veya bor rafine ürünü borik asit üretiminde kullanılmayan -3 + 0 mm tane boyut dağılımına sahip, %32 - 38 B₂O₃ tenörlü kolemanit konsantresinin hidrosiklon ile bor içeriğinin yükseltilmesi amaçlanmıştır. Beslenen malzemenin yaklaşık %5'ini oluşturan düşük tenörlü ürün, stok sahalarında yaklaşık 500.000 ton birikmiş durumda olup, tesisin tasarımı gereği halen de üretilmeye devam edilmektedir. -3 + 0 mm tane fraksiyonunda olan bu düşük tenörlü ürünün kullanılabilir tenör olan en az %42 B₂O₃ içeriğine yükseltilmesi amacıyla yapılan çalışmaya kil açma/dağıtma işlemi ile başlanmıştır. Yapılan elek analizi sonuçları ile 1 mm tane boyutu üzerinde kalan ve malzemenin ağırlıkça %31'ini oluşturan kısmının %46,26 B₂O₃ içeriğine sahip olduğu tespit edilmiştir. 1 mm tane boyutu altında kalan malzeme ile yapılan hidrosiklon çalışmalarında ise, en uygun sonuçlara %10 katı/sıvı oranında, 8 mm vortex - 6,4 mm apex çıkış çaplarında ve 1 bar besleme basıncında ulaşılmıştır. Elde edilen kullanılabilir konsantre tenörünün %44,73 B₂O₃, veriminin ise %98,44 B₂O₃ olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar kelimeler

Bor; Kolemanit;
Hidrosiklon; Emet;
Kil

Increasing Boron Content of Low Grade Colemanite Concentrate at Emet Espey Concentrator Plant by Hydrocyclone

Abstract

In this study, it was aimed to upgrade the boron content of 32-38% B₂O₃ colemanite concentrate with -3 + 0 mm grain size distribution, which is produced in Kütahya Emet Espey Concentrator Facility, but cannot be used in the industry and/or in the production of boric acid, a boron refined product due to its low grade, by hydrocyclone. The low grade product, which constitutes approximately 5% of the feed material, has accumulated approximately 500,000 tons in the stock areas and is still being produced due to the design of the facility. The work carried out in order to increase this low grade product, which has a grain fraction of -3 + 0 mm, to a usable grade of at least 42% B₂O₃, started with the clay dispersing process. With the results of the sieve analysis, it has been determined that the part above 1 mm grain size and constituting 31% by weight of the material has a B₂O₃ grade of 46.26%. In hydrocyclone studies carried out with material which a particle size of less than 1 mm, the most suitable results were obtained at 10% solid/liquid ratio, 8 mm vortex - 6.4 mm apex outlet diameters and 1 bar feed pressure. It was determined that the usable concentrate grade obtained was 44.73% B₂O₃, and the yield was 98.44% B₂O₃.

Keywords

Boron; Colemanite;
Hydrocyclone; Emet;
Clay

1. Giriş

Bor mineralleri, evaporasyon yoluyla oluşmakta, içeriklerinde sodyum, kalsiyum veya magnezyum elementleri bulunmaktadır. Doğada 150'den fazla bor minerali olmasına rağmen ekonomik değer taşıyanlar tinkal, kolemanit ve üleksittir. Deterjandan silah sektörüne, uzay sanayiinden nükleer alana, fotoğrafçılık, boya ve kağıt sektörü gibi hemen hemen her alanda bor mineralleri kullanılmaktadır. Gerek çıkarılan bor minerallerinin kalitesi gerekse çıkarma koşullarının uygunluğu nedeniyle bor, Türkiye için büyük bir ekonomik kaynaktır (Yiğitbaşıoğlu 2004). Bor, rezerv açısından değerlendirildiğinde ise Dünya bor rezervlerinin %73'üne sahip olan Türkiye'de; önemli bor yataklarından tinkal, Kırka/Eskişehir'de, kolemanit ise Emet/Kütahya, Bigadiç/Balıkesir ve Kestelek/Bursa'da bulunmaktadır (İnt. Kyn. 1). Türkiye'de rezerv açısından en çok bulunan bor mineralleri kolemanit ($2CaO \cdot 3B_2O_3 \cdot 5H_2O$) ve tinkal ($Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O$)'dir. Ayrıca, Balıkesir – Bigadiç'te üleksit rezervi mevcuttur ve Bursa – Kestelek'te ise zaman zaman zaman üleksit yan ürün olarak elde edilmektedir (İnt. Kyn. 1).

Bor minerallerinin, özelinde çalışmaya konu olan kolemanitin konsantratör tesislerinde zenginleştirilmesi sürecinde bir miktar kolemanit kayıp olarak atık barajlarına gönderilirken, üretimin yaklaşık %5'ini oluşturan ve yaklaşık 500.000 ton stoklarda birikmiş olan, 0-3 mm tane boyutundaki düşük tenörlü yıkanmış ürün sektörde ve/veya borik asit üretiminde kullanılamamaktadır. Bor'un dünya üzerindeki önemine istinaden, araştırmacılar bor üretimindeki kayıpları geri kazanmak amacıyla çeşitli araştırmalar yapmış ve yapmaktadırlar (Şensöz vd. 2021, Uçar ve Yargan 2009, Erkan vd. 2004, Yamık vd. 2004, Bentli vd. 2004, Erkan vd. 2003, Sönmez vd. 1997, Aytakin vd. 1988, Yazar 1973).

Bor mineralleri kil içeriği nedeniyle laboratuvarında zenginleştirme çalışmaları esnasında iri atıkları suda bekletme, mekanik karıştırıcıda açma/dağıtma ve son olarak da sınıflandırma yöntemi ile kil içerikli şlamın uzaklaştırılması ve kili uzaklaştırılmış bor ile çalışılması gerektiği çeşitli araştırmalarda

vurgulanmıştır (Erkan vd. 2004, Erkan vd. 2003, Aytakin vd. 1988, Yazar 1973).

Gravite ve merkezkaç kuvvetinden yararlanarak, özellikle ince tane boyutunda sınıflandırma konusunda çok etkili olan hidrosiklon, tanecikleri boyutlarına ve yoğunluklarına bağlı olarak ayırabilen, sınıflandırma, zenginleştirme ve kıvamlaştırma amacıyla kullanılan bir cihazdır. Klasik hidrosiklon çalışma prensibinde, hidrosiklon içindeki akış yörüngesinde partiküller çepere doğru bir merkezkaç kuvvet ve merkeze doğru bir direnç kuvvetinin etkisi altında kalmaktadır. Meydana gelen merkezkaç kuvvet partiküllerin çökme hızlarını arttırmaktadır ve böylece taneler hidrosiklonun yapısına bağlı olarak hacim veya özgül ağırlıklarına göre ayrılmaktadırlar. Hızlı çöken partiküller (iri/ağır taneler) siklon duvarına doğru itilirler ve bu kısımda akış az olduğundan partiküller alt çıkış yönünde hareket ederler. Yavaş çöken taneler (ince/hafif taneler) ise direnç kuvveti nedeniyle siklon merkezi civarındaki düşük basınç zonundan üst çıkış borusuna doğru hareket ederek ortamdan ayrılırlar (Yıldız 2010, Emrulloğlu 1985). Konik bölgenin en küçük kesitli kısmı hidrosiklon alt çıkış açıklığını (apex) oluşturmaktadır ve ayarlanabilir çapta imal edilmektedir. Girdap bulucu ise ayırma mekanizmasında etkindir çapı büyüdükçe (vortex) üst akım tane boyutu irileşmektedir. Siklon gövdesi çapı, besleme borusu çapı, üst ve alt çıkış çapları hidrosiklon ile çalışmada etkindir.

Çalışmada, kolemanit cevherinin konsantratör tesisi çıkışında ayrılan, 3 mm tane boyutu altında kalan yıkanmış, %32-38 B_2O_3 aralığındaki düşük tenörlü ürününün kilinden ayrılarak bor içeriğinin yükseltilebilirliği araştırılmıştır.

2. Materyal ve Metot

Deneysel çalışmalarda kullanılan numune, Eti Maden Emet Bor İşletmesi Espey Konsantratör tesisi çıkışında yer alan ünitelerden -3 mm tane boyutuna ve %32-38 B_2O_3 içeriğine sahip stoğun üst ve yan yüzeylerinden mümkün olduğunca stoğu temsil edecek bir sistematik dahilinde, bir çok farklı noktadan tarama yöntemi ile, üzerindeki atmosferle

temas eden tabaka 10 cm kadar sıyrıldıktan sonra açılan yeni yüzeylerden alınmıştır. Alınan 200 kg numune (Şekil 1) harmanlanarak 65 °C'ye ayarlı kurutma dolabında kurularak yüzey nemi uzaklaştırılmıştır. Numune bölme ve azaltma işlemlerinde konileme-dörtleme ve Jones Riffle Tip numune bölücü kullanılmıştır. Tesis içerisindeki stok alanı Şekil 2'de kontrol edilmiştir.



Şekil 1. Deneysel çalışmada kullanılan düşük tenörlü kolemanit numunesi.

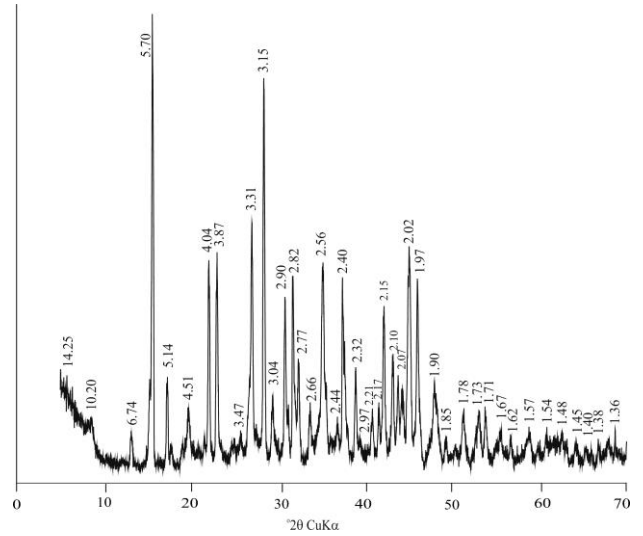


Şekil 2. Tesis içerisindeki stok alanı (int. Kyn. 2).

Deneysel çalışmalarda, ilk olarak numunelere farklı katı oranlarında ve karıştırma hızında mekanik aşındırma-dağıtma işlemleri uygulanmıştır. Daha sonra düşük tenörlü ürünün tane boyut farkına göre zenginleştirilmesi hedeflenmiştir. Zenginleştirme parametreleri tenör ve verim açısından

incelenmiştir. Üründe safsızlık olarak yer alan demir ve arsenik, kolemanitten borik asit üretimi işleminde sorun teşkil etmediğinden bu çalışmada incelenmemiştir.

Karakterizasyon çalışmalarında, Afyon Kocatepe Üniversitesi Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi (TUAM)'nde X-ışını difraksiyonu yöntemi ile XRD çekimi ve analizi yaptırılmıştır. Analiz sonucunda numunenin içeriğinin kolemanit olduğu belirlenmiştir (Şekil 3).



Şekil 3. Numunenin XRD analiz grafiği.

Kimyasal analiz için numuneler, Eti Maden İşletmeleri Ankara Analiz Laboratuvarlarına gönderilmiştir. Numunelere ait kimyasal analiz sonucu Çizelge 1'de verilmiştir. Çizelgedeki veriler incelendiğinde düşük tenörlü konsantrenin (Besleme Malı, BM) ortalama %37,20 B₂O₃ tenörüne sahip olduğu görülmektedir.

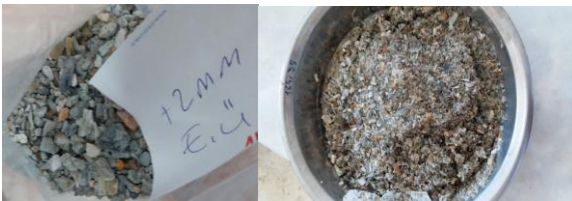
Numune içerisinde kil, topraklar halinde ve kolemanit yüzeyine sıvanmış durumda olduğundan zenginleştirme öncesinde, mekanik karıştırıcıda numune içerisindeki kile açma/dağıtma işleminin yapılması önem arz etmektedir. Kil açma çalışması %50 katı/sıvı oranında en uygun sonucu vermiştir. Çalışma koşullarının düzenlenmesinde, karıştırıcı hızı ve karıştırma süresinin kilin açılmasına etkisi elek analizleri ile gözlemlenmiş ve kademeli hız ayarı ile çalışılmasına karar verilmiştir. Tüm hidrosiklon çalışmalarında, toplam 30 dk olan mekanik karıştırıcıda açma/dağıtma süresinin; ilk 10 dk'sı

1100 dev/dk'da, devam eden 15 dk boyunca 1250 dev/dk ve son 5 dk ise 1400 dev/dk olarak ayarlanmıştır.

Çizelge 1. Numunenin kimyasal bileşimi.

Bileşen	Birim	Sonuç
B ₂ O ₃	%	37,200
F	%	0,273
Na ₂ O	%	0,061
MgO	%	3,990
Al ₂ O ₃	%	3,590
SiO ₂	%	11,600
P ₂ O ₅	%	0,061
SO ₃	%	0,171
K ₂ O	%	1,330
CaO	%	21,800
TiO ₂	%	0,175
MnO	%	0,044
Fe ₂ O ₃	%	1,780
NiO	%	0,009
ZnO	%	0,007
As ₂ O ₃	%	0,289
Rb ₂ O	%	0,034
SrO	%	1,450
Cs ₂ O	%	0,060
Kızdırma Kaybı	%	16,000

Kil açma çalışmaları sonrası malzemenin tane boyut dağılımını ve tenör dağılımını tespit etmek için yaş elek analizi yapılmıştır. Analiz sonucu elde edilen tane fraksiyonları susuzlandırılıp, etüvde 65°C'de kurutulmuştur. Çizelge 2'de numunenin bor oksit analizi sonuçları, Şekil 4'de +2 ve -2+1 mm tane fraksiyonlarına ait ürünlerin görseli verilmektedir. Analiz sonuçlarından ve görsellerden kolemanit kristallerinin yoğun olarak bu fraksiyonlarda biriktiği gözlenmektedir. Elde edilen verilerden hidrosiklon çalışmalarında kullanılacak malzemenin, numunenin belirlenen şartlarda hazırlanarak elenmesi ile 1 mm tane boyutu altında kalan kısmı olmasına karar verilmiştir.



Şekil 4. +2 mm ve -2+1 mm tane fraksiyonlarında kalan elenmiş malzemelerin görseli.

Çizelge 2. Numunenin bor oksit analizi sonuçları.

Tane Boyutu (mm)	Ağırlık %	Tenör %B ₂ O ₃	Dağılım % B ₂ O ₃
+1	30,95	46,26	37,77
-1+0,5	21,39	47,33	26,71
-0,5+0,212	16,09	45,93	19,49
-0,212+0,125	9,60	45,84	11,61
-0,125+0,063	1,65	37,99	1,65
-0,063+0,045	0,66	35,48	0,62
-0,045	19,66	2,69	1,40
BM Hesapla	100,00	37,62	
BM Analizle		37,91	

-1 mm'ye elenerek %10 katı/sıvı oranında hazırlanan malzeme, 44 mm gövde çaplı Mozley tip hidrosiklonla beslenerek, 5 dk rejime girmesi beklendikten sonra alt ve üst akımdan eş zamanlı numuneler alınmıştır. Hidrosiklon çıkış çaplarının belirlenmesi amacıyla yapılan birinci grup çalışma parametreleri Çizelge 3'de, katı/sıvı oranının belirlenmesi amacıyla yapılan ikinci grup çalışma parametreleri ise Çizelge 4'de verilmiştir.

Çizelge 3'deki parametrelerin tamamlanması ile elde edilen ürünlerin tenör ve verimleri değerlendirilmiştir ve Çizelge 4'de belirlenen apex ve vortex çapları kullanılmıştır.

Çizelge 3. Hidrosiklonda birinci grup çalışma parametreleri.

Katı/Sıvı Oranı, %	Besleme Basıncı, bar	Apex, mm	Vortex, mm
10	1	4,5	8
		6,4	
	2	4,5	11,1
		6,4	
	1	4,5	14,3
		6,4	
2	4,5	14,3	
	6,4		

Hidrosiklon çalışmalarında giriş basınç ayarı 1 ve 2 bar olarak tercih edilmiştir. Hidrosiklon alt çıkış (apex çapı; 4,5 ve 6,4 mm) ve üst çıkış (vortex çapı; 8, 11,1 ve 14,3 mm) çapları değiştirilerek ayarlanabilir özellikte olan çıkışlar kullanılmıştır. Bu çaplar değiştikçe alınan ürünlerin içerikleri de değişir. En iyi verimi almak için en uygun çıkış

çaplarının belirlenmesi gerekmektedir. Deneysel çalışmalarının görseli Şekil 5’de verilmiştir.

Çizelge 4. Hidrosiklonlarda ikinci grup çalışma parametreleri.

Besleme Basıncı, bar	Apex, mm	Vortex, mm	Katı/Sıvı Oranı, %
1	6,4	11,1	5
			10
			15
		8	5
			10
			15



Şekil 5. a. Hidrosiklon Düzeneği, b. Genel Görüntüsü, c. Alt Çıkış (Apex) d. Üst Çıkış (Vortex) Parçaları

Çalışmada tercih edilen deney parametreleri, ön çalışmalar ile elde edilen örneklerin kil ve kolemanit içeriklerinin görsel olarak değerlendirilmesiyle belirlenmiştir. Hidrosiklonlarda yapılacak her bir deney için yaklaşık 3'er kg katı numune kullanılmıştır.

3. Bulgular

Mekanik karıştırıcıda açma ve devamında yapılan elek analizi çalışmaları incelendiğinde, numunenin 1 mm tane boyutu üzerinin %46,26 B₂O₃ tenörüne sahip olduğu ve ana malzemenin ağırlıkça %31'ini oluşturduğu tespit edilmiştir. Bu tespite istinaden çalışma tane boyutunun 1mm altında olmasına, 1 mm tane boyutu üstünde kalan malzemenin ise kullanılabilir ürün olarak başlangıçta elenerek ayrılmasına karar verilmiştir. Yapılan eleme ve kimyasal analizler sonucunda tane boyutu küçüldükçe %B₂O₃ tenörünün azaldığı tespit

edilmiştir. 1 mm tane boyutu altında kalan yaklaşık %33,75 B₂O₃ tenörüne sahip %69 oranındaki malzeme hazırlanarak belirlenen parametrelerde hidrosiklona beslenmiştir.

3.1 Birinci grup deney parametreleri ile çalışma

8 mm Vortex - 4,5 mm Apex Çıkışlarında;

%10 katı/sıvı oranında hazırlanan numune, 8 mm vortex - 4,5 mm apex çıkışları ile ayarlanan hidrosiklona 1 ve 2 bar giriş basınçlarında ayrı ayrı beslenmiştir. 1 bar basınçta yapılan çalışmanın %43,35 B₂O₃ tenör ve %82,34 B₂O₃ verim ile en uygun sonucu verdiği tespit edilmiştir. 2 bar basınçta ise %39,68 B₂O₃ tenörlü malzeme %80,14 B₂O₃ verimi ile elde edilmiştir (Şekil 6).

8 mm vortex - 6,4 mm apex çıkışlarında;

%10 katı/sıvı oranında hazırlanan numune, 8 mm vortex - 6,4 mm apex çıkışları ile ayarlanan hidrosiklona 1 ve 2 bar giriş basınçlarında ayrı ayrı beslenmiştir. 1 bar basınçta yapılan çalışmanın %45,96 B₂O₃ tenör ve %97,73 B₂O₃ verimi ile en uygun sonucu verdiği tespit edilmiştir. 2 bar basınçta yapılan çalışmada ise %38,95 B₂O₃ tenörlü malzeme %93,37 B₂O₃ verimi ile elde edilmiştir (Şekil 6).

11,1 mm vortex - 4,5 mm apex çıkışlarında;

%10 katı/sıvı oranında hazırlanan numune, 11 mm vortex - 4,5 mm apex çıkışları ile ayarlanan hidrosiklona 1 ve 2 bar giriş basınçlarında ayrı ayrı beslenmiştir. 1 bar basınçta yapılan çalışmanın %45,42 B₂O₃ tenör ve %65,43 B₂O₃ verimi ile en uygun sonucu verdiği tespit edilmiştir. 2 bar basınçta yapılan çalışmada ise %46,33 B₂O₃ tenörlü malzeme %28,07 B₂O₃ verimi ile elde edilmiştir (Şekil 6).

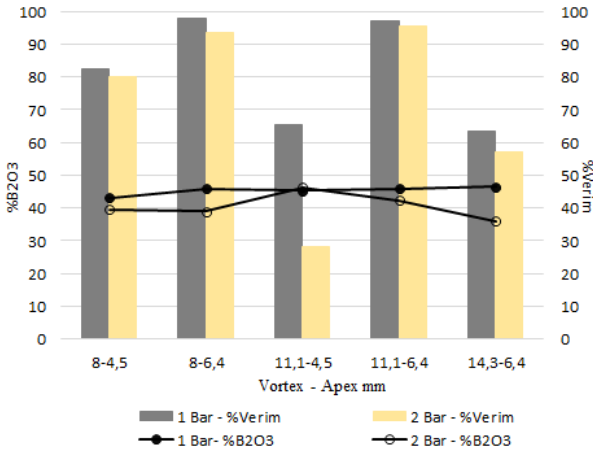
11,1 mm vortex - 6,4 mm apex çıkışlarında;

%10 katı/sıvı oranında hazırlanan numune, 11,1 mm vortex - 6,4 mm apex çıkışları ile hazırlanan hidrosiklona 1 ve 2 bar giriş basınçlarında ayrı ayrı beslenmiştir. 1 bar basınçta yapılan çalışmanın %45,86 B₂O₃ tenör ve %96,92 B₂O₃ verimi ile en uygun sonucu verdiği tespit edilmiştir. 2 bar basınçta yapılan çalışmada ise %42,27 B₂O₃ tenörlü malzeme %95,57 B₂O₃ verim ile elde edilmiştir (Şekil 6).

14,3 mm vortex - 6,4 mm apex çıkışlarında;

%10 katı sıvı oranında hazırlanan numune, 14,3 mm vortex - 6,4 mm apex çıkışları ile ayarlanan hidrosiklona 1 ve 2 bar giriş basınçlarında ayrı ayrı beslenmiştir. 1 bar basınçta yapılan çalışmanın %46,44 B₂O₃ tenör ve %63,27 B₂O₃ verimi ile en uygun sonucu verdiği tespit edilmiştir. 2 bar basınçta yapılan çalışmada ise %36,00 B₂O₃ tenörlü malzeme %57,19 B₂O₃ verimi ile elde edilmiştir (Şekil 6).

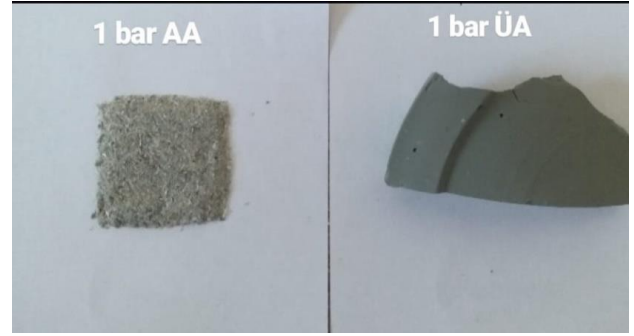
%10 katı/sıvı oranında tamamlanan çalışmalar ile en iyi sonuçların 1 bar basınçta elde edildiği tespit edilmiştir. Şekil 6'da 1 ve 2 bar basınçta yapılmış olan çalışmalardan elde edilen konsantrelerin tenör ve verim değerleri karşılaştırmalı olarak verilmiştir.



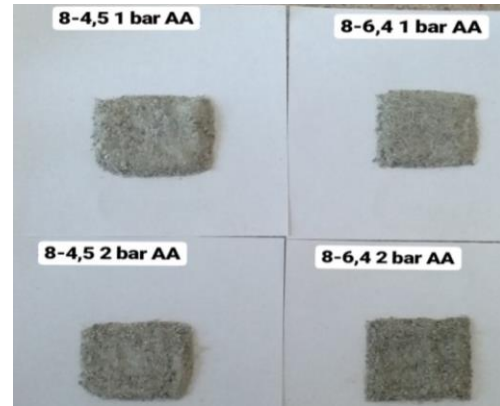
Şekil 6. 1 ve 2 bar basınçta vortex - apex değişimleri sonucu konsantrelerin tenör - verim grafiği.

1 bar besleme basıncında, hidrosiklon alt akım çıkışını sağlayan apex çapı daraldıkça kolemanit minerallerinin üst çıkışa yönlendiği ve dolayısıyla alt çıkış ürününün verimini düşürdüğü 8 - 4,5 mm ve 8 - 6,4 mm ile 11,1 - 4,5 mm ve 11,1 - 6,4 mm vortex ve apex çıkış çaplarının kullanıldığı çalışmalardan takip edilebilmektedir. 6,4 mm çaplı apex çıkışında, üst akım çıkışlarını sağlayan vortex çapının artması ise iri ürün olan kolemanitin 8 ve 11,1 mm çaplarında kalitesinin etkilenmediği, 14,3 mm üst çıkış çapında ise kolemanit tanelerinin kile karışarak üst çıkıştan gelmesi nedeniyle verimin düşmesine neden olduğu tespit edilmiştir. Hidrosiklon besleme basıncının 2 bar'a yükseltilmesinde ise etkin bir ayırım sağlanamamıştır.

Şekil 7'de 8 mm vortex - 6,4 mm apex çıkışlarında, 1 bar basınçta yapılan çalışma ile elde edilen ürünlerin kurutulduktan sonraki alt (AA, konsantre, B₂O₃) ve üst (ÜA, atık, killi kısım) akım görselleri verilmektedir. Şekil 8'de apex değişimlerine yönelik 1 ve 2 bar besleme basınçlarında yapılan çalışmalardan elde edilen ürünlerin alt akım görselleri karşılaştırmalı olarak verilmektedir.



Şekil 7. 8 mm vortex - 6,4 mm apex, 1 bar AA ve ÜA görselleri.



Şekil 8. 8 mm vortex ile 4,5 ve 6,4 mm apex değişimlerinde 1 ve 2 bar'ın karşılaştırmalı AA görselleri.

Kolemanit minerali, beyaz ve grinin tonlarındaki renklere sahip bir mineral olduğundan, gang minerali olarak bulunan kil türlerinin ise yeşilin tonlarında renklere sahip olması kolemanit mineralinin zenginleştirilmesinde oldukça iyi bir ayırma özelliği oluşturmaktadır. Bu özellik göz ile ayırt edilebilmektedir. Görseller 8 mm vortex - 6,4 mm apex çıkışlarında elde edilen ürünlerde ki olumlu durumu ifade etmektedir.

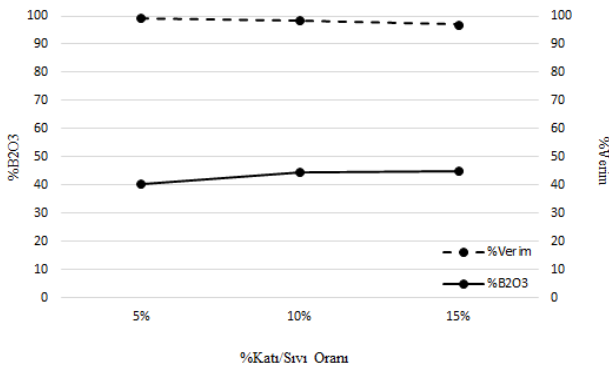
Grafik ve örnek görseller incelendiğinde en iyi sonuçların 11,1 - 6,4 mm (%45,86 B₂O₃ tenörü ve %96,92 B₂O₃ verimi) ve 8 - 6,4 mm (%45,96 B₂O₃

tenörü ve %97,73 B₂O₃ verimi) vortex ve apex çapları ile alındığı tespit edilmiştir.

3.2 İkinci grup deney parametreleri ile çalışma

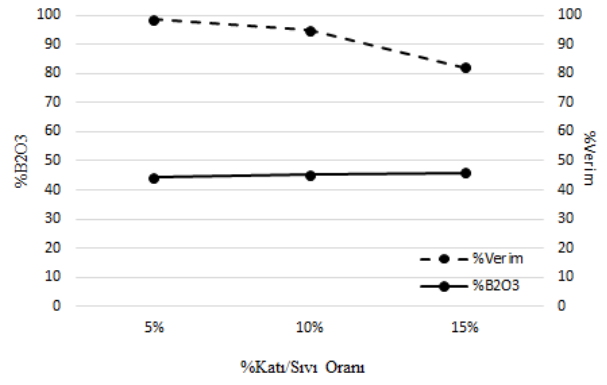
%10 katı/sıvı oranında tamamlanan birinci grup çalışmaları ile en iyi sonuçların 1 bar besleme basıncında 8 - 6,4 mm ve 11,1 - 6,4 mm vortex ve apex çapları ile alındığı tespit edildikten sonra koşulları optimize edebilmek amacıyla farklı katı/sıvı oranlarının çalışmaya etkisi incelenmiştir. 1 bar besleme basıncında, %5, 10 ve 15 katı/sıvı oranlarında deneyler yapılmıştır.

8 mm vortex ve 6,4 mm apex çıkış çaplarında %10 katı/sıvı oranında yapılan çalışmanın %45,96 B₂O₃ tenör ve %97,73 B₂O₃ verimi ile en uygun sonucu verdiği tespit edilmiştir. %5 katı/sıvı oranında yapılan çalışmada %40,40 B₂O₃ tenörlü malzeme %99,30 B₂O₃ verim ile elde edilirken %15 katı/sıvı oranında yapılan çalışmada %45,07 B₂O₃ tenörlü malzeme %96,91 B₂O₃ verim ile elde edilmiştir (Şekil 9).



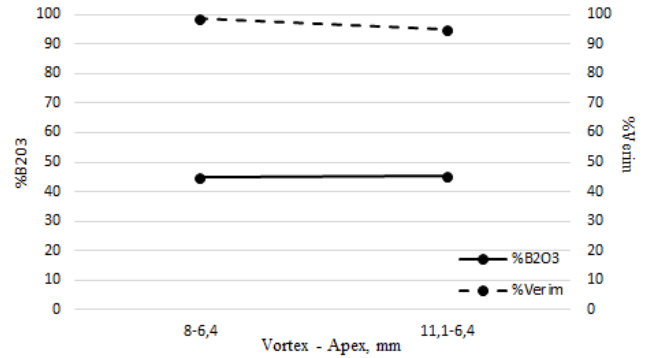
Şekil 9. 8 mm vortex – 6,4 mm apex çıkışlarında katı/sıvı oranına bağlı konsantrasyonun tenör – verim grafiği.

11,1 mm vortex ve 6,4 mm apex çıkış çaplarında %10 katı/sıvı oranında yapılan çalışmanın %45,86 B₂O₃ tenör ve %96,92 B₂O₃ verimi ile en uygun sonucu verdiği tespit edilmiştir. %5 katı/sıvı oranında yapılan çalışmada %44,25 B₂O₃ tenörlü malzeme %98,57 B₂O₃ verim ile elde edilirken %15 katı/sıvı oranında yapılan çalışmada %46,04 B₂O₃ tenörlü malzeme %82,07 B₂O₃ verim ile elde edilmiştir (Şekil 10).



Şekil 10. 11 mm vortex – 6,4 mm apex çıkışlarında katı/sıvı oranlarına bağlı konsantrasyonun tenör – verim grafiği.

%5, %10 ve %15 katı/sıvı oranı değişimlerinin tenör ve verim üzerine etkisinin incelendiği çalışmalarda her iki çıkış ayarları için de en iyi sonuçlar %10 katı/sıvı oranında elde edilmiştir (Şekil 11). Grafik incelendiğinde 8 mm vortex - 6,4 mm apex çıkışlarında daha iyi sonuçların elde edildiği tespit edilmiştir.



Şekil 11. 8 ve 11,1 mm vortex değişimlerine göre konsantrasyonun tenör verim grafiği.

Sonuçlar ürünün kullanılabilirliği, tesis kapasitesi, çalışma şartları olmak üzere karşılaştırmalı olarak incelendiğinde en uygun koşulların; %10 katı/sıvı oranında, 1 bar besleme basıncında, 8 mm vortex - 6,4 mm apex çıkışlı hidrosiklon ile elde edildiği tespit edilmiştir. Bu çalışma sonucu elde edilen konsantrasyonun %45,96 B₂O₃ tenör ve %97,73 B₂O₃ verim değerine ulaştığı analiz ve hesap edilmiştir. Şekil 12'de ise çalışmaya ait görseller verilmektedir.



Şekil 12. 8 mm vortex - 6,4 mm apex %5, 10, 15 katı/sıvı oranlarında ÜA ve AA görselleri.

Hidrosiklon çıkışı ürün görsellerinden alt akımların daha beyaz-gri renklere ve taneli yapıda olduğu, üst akımların ise daha yeşil renklere ve kil formunda olduğu görülmektedir dolayısıyla bir zenginleştirmenin olduğunu ifade etmektedir. Ayrıca alt akımlardan elde edilen %10 katı/sıvı oranındaki ürünün beyaz renge en yakın olduğu, yani bor içeriğinin en yüksek olduğunu görsel olarak da ispat edilmektedir.

4. Tartışma ve Sonuçlar

Mekanik karıştırıcıda %50 katı/sıvı oranında yapılan kil açma/dağıtma çalışması ve ardından yapılan elek analizi ile numunenin +1 mm tane boyutunda %46,26 B₂O₃ tenörüne sahip olduğu ve ana malzemenin ağırlıkça %31'ini oluşturduğu tespit edilmiştir. 1mm tane boyutu altında kalan, yaklaşık %33,75 B₂O₃ tenörüne sahip kısım ise hidrosiklon ile çalışılarak değerlendirilmiştir.

%10 katı/sıvı oranında gerçekleştirilen 1. grup hidrosiklon deney çalışmaları ile en uygun sonuçlara; 1 bar giriş basıncında yapılan, 8 - 6,4 mm ve 11,1 - 6,4 mm vortex ve apex değerleri ile ulaşılmıştır. 8 mm vortex - 6,4 mm apex çıkışları ile hazırlanan hidrosiklon çalışmasından %45,96 B₂O₃ tenör ve %97,73 B₂O₃ verim ile konsantre elde edilmiştir. 11,1 mm vortex - 6,4 mm apex çıkışları ile hazırlanan hidrosiklon çalışmasından ise %45,86 B₂O₃ tenörlü konsantre %96,92 B₂O₃ verimi ile elde edilmiştir.

Çalışmanın ikinci aşamasında en uygun sonuçlara %5, 10 ve 15 katı/sıvı oranlarının etkisi incelenmiş ve elde edilen sonuçlar değişmeyerek her iki çıkış açıklığı için %10 katı/sıvı oranının en uygun sonuçları verdiği tespit edilmiştir. Bununla birlikte 8 mm vortex - 6,4 mm apex çıkış çaplarında hazırlanan hidrosiklon çalışmasında 1 bar basınçta %15 katı/sıvı oranı ile elde edilen %45,07 B₂O₃ tenör ve %96,91 B₂O₃ verimli konsantrenin de kullanılabilir değerde olduğu tespit edilmiştir.

Sonuçlar ürünün kullanılabilirliği, tesis kapasitesi, çalışma koşulları olmak üzere karşılaştırmalı olarak incelendiğinde en uygun çalışma koşullarının %10 katı/sıvı oranında, 1 bar besleme basıncında, 8 mm vortex - 6,4 mm apex hidrosiklon çıkışlarında olduğu tespit edilmiştir. Bu veriler ile %45,96 B₂O₃ tenör ve %97,73 B₂O₃ verimli konsantre elde edilmiştir. Böylece 3 mm tane boyutu altında kalan, %32-38 B₂O₃ tenör aralığındaki yıkanmış ürün kullanılabilir tenöre (en az %42 B₂O₃) getirilerek katma değeri olan bir ürün elde edilmiştir. 1 mm tane boyutu üzerinde kalan ağırlıkça malzemenin %31'ini oluşturduğu kısım %46,26 B₂O₃ tenörlü kullanılabilir ürün olarak elde edilmiştir. 1 mm tane boyutu altında kalan %69 ağırlık oranındaki numune ile yapılan hidrosiklon çalışmalarından ise %45,96 B₂O₃ tenörlü ürün %50 ağırlık oranıyla konsantre olarak elde edilmiştir.

Sonuç olarak, başlangıçta %32-38 B₂O₃ tenör aralığındaki yıkanmış ürün eleme ve hidrosiklon çalışması sonucu, %46 B₂O₃ tenörü ile ana malzemenin %81'lik kısmı kullanılabilir ürün formunda elde edilmiştir. Elde edilen bu sonuçlar ile yıllardır bekleyen ve sürekli olarak da tesise giren tüvenan cevher miktarının %5'i kadar stoğun üzerine ilave olan, -3 mm düşük tenörlü konsantre cevherler, borik asit üretiminde kullanılabilir ve ekonomiye ciddi katkılar sağlanmış olacaktır.

Diğer taraftan, depolama sahalarında yaklaşık 500.000 ton birikmiş olan yıkanmış ürün yaklaşık 23.000 m² alanı kaplamakta olup, değerlendirilmesi ile stoklama ve çevre sorunlarının önüne geçilecek ve stoklama alanlarında yaklaşık %81'lik alan tasarrufu sağlanarak katkıda bulunulmuş olacaktır.

Teşekkür

Bu çalışma, Afyon Kocatepe Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından 17.KARİYER.220 numaralı proje kapsamında desteklenmiştir. Desteklerinden dolayı teşekkür ederiz.

5. Kaynaklar

Aytekin, Y., Lübiç, C. ve Yamık, A., 1988. Kırka tinkal cevherinin flotasyonla zenginleştirilebilirliğinin araştırılması. 2. Uluslararası Cevher Hazırlama Sempozyumu. Ed Yavuz Aytekin, İzmir, 268-280.

Bentli, İ., Bursalı, L., Ediz, N. ve Tatar, İ., 2004. Emet - Hisarcık şlam atıklarının zenginleştirilmesi ve etiketlenmesi. II. Uluslararası Bor Sempozyumu, Eskişehir, 87-90.

Emrullahoğlu, Ö. F., 1985. Cevher hazırlamada koyulaştırma, klasifikasyon, kömür hazırlama ve çözümlü problemler. 28, Anadolu Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Yayınları, Eskişehir, 96 sf.

Erkan, Z. E., Akar, A. ve Savaş, M., 2003. Emet Bor İşletme Müdürlüğü Hisarcık baraj atıklarının değerlendirilebilirliğinin araştırılması. *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 5 (1), 161-174.

Erkan, Z. E., Akar, A. ve Savaş, M., 2004. Espey baraj atıklarının değerlendirilebilirliğinin araştırılması. II. Bor Çalıştayı, Zonguldak.

Sönmez, E., Özdağ, H. ve Savaş, M., 1997. Ses ötesi dalgaların kolemanit atıklarının zenginleştirilmesinde kullanımı. Türkiye 15. Madencilik Kongresi, Ankara, 319-323.

Şensöz, H., Sayın, Z. E., Savaş, M. ve Erdoğan, Y., 2021. Emet bor üretim tesisleri atıklarının lityum içeriğinin incelenmesi. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 21(6), 1460-1469.

Uçar, A. ve Yargan, M., 2009. Emet Espey bor tesisi ince gölet atıklarından flotasyonla arsenik minerallerinin uzaklaştırılabilirliğinin araştırılması. Türkiye 21. Uluslararası Madencilik Kongresi ve Sergisi, Antalya, 487-492.

Yamık, A., Uçar, A., Şahbaz, O. ve Demir, U., 2004. Emet Espey konsantratörü -25 mm bor atıklarının

hidrosiklon ile zenginleştirilmesi. II. Uluslararası Bor Sempozyumu, Eskişehir.

Yarar., B, 1973. Düşük tenörlü kolemanit cevherinin flotasyon yolu ile zenginleştirilmesi. 3. Türkiye Madencilik Bilimsel ve Teknik Kongresi TMMOB Maden Mühendisleri Odası, Ankara, 571-588.

Yıldız, N., 2010. Cevher hazırlama ve zenginleştirme. ERTEM Basım Yayın Dağıtım Sanayi ve Ticaret Ltd. Şti., Ankara, 293-412.

Yiğitbaşıoğlu, H., 2004. Türkiye için önemli bir maden: bor. *Coğrafi Bilimler Dergisi*, 2(2), 13 – 25.

İnternet Kaynakları

1-<https://www.etimaden.gov.tr/turkiyede-bor>, (21.01.2022).

2-
https://earth.google.com/web/search/emet+eti+maden/@39.36625906,29.27548458,846.70677356a,873.66013868d,35y,0h,0t,0r/data=CigilgokCTUum3B3PkNAEUkZDFigOkNAGdl_3mfqODtAIU5jdCYsMDtA, (06.04.2023).