



T.C

SİVAS CUMHURİYET ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**FARKLI DEĞİRMENLERDE ÖĞÜTÜLMÜŞ BARİT CEVHERLERİNİN
ZENGİNLEŞTİRİLMESİ VE MORFOLOJİK ÖZELLİKLERİNİN
FLOTASYONA ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI**

DOKTORA TEZİ

GÜLER BAYAR

(201292112009)

Maden Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Meftuni YEKELER

SİVAS

Ocak, 2022

Göler BAYAR'ın hazırladığı ve 'FARKLI DEĞİRMENLERDE ÖĞÜTÜLMÜŞ BARİT CEVHERLERİNİN ZENGİNLEŞTİRİLMESİ VE MORFOLOJİK ÖZELLİKLERİNİN FLOTASYONA ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI' adlı bu çalışma aşağıdaki jüri tarafından MADEN MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI'nda DOKTORA TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı	Prof. Dr. Meftuni YEKELER Sivas Cumhuriyet Üniversitesi	
Jüri Üyesi	Prof. Dr. Alper ÖZKAN Konya Teknik Üniversitesi	
Jüri Üyesi	Prof. Dr. Uğur ULUSOY Sivas Cumhuriyet Üniversitesi	
Jüri Üyesi	Prof. Dr. Erol KAYA Dokuz Eylül Üniversitesi	
Jüri Üyesi	Prof. Dr. Hikmet SİS Malatya İnönü Üniversitesi	

Bu tez, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından DOKTORA TEZİ olarak onaylanmıştır.

Prof. Dr. Özlem Pelin CAN
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRÜ



Bu tez, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Senatosu'nun 20.08.2014 tarihli ve 7 sayılı kararı ile kabul Edilen Fen Bilimleri Enstitüsü Lisansüstü Tez Yazım Kılavuzu (Yönerge)'nda belirtilen kurallara uygun olarak hazırlanmıştır.



Bütün hakları saklıdır.

Kaynak göstermek koşuluyla alıntı ve gönderme yapılabilir.

© Güler BAYAR, 2022

Uzun süreli ve özverili bir deneysel çalışma ürünü olan bu tezi, çalışmalarım süresince bana her zaman destek olan aileme ve oğlum Çağın’a ithaf ederim.

ETİK

Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tez Yazım Kılavuzu (Yönerge)'nda belirtilen kurallara uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- ✓ 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 ve atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- ✓ Bütün bilgilerin doğru ve tam olduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- ✓ Tezin herhangi bir bölümünü, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi veya bir başka üniversitede, bir başka tez çalışması olarak sunmadığımı; beyan ederim.

21.01.2022

Güler BAYAR

KATKI BELİRTME VE TEŞEKKÜR

Çalışmamın her aşamasında yardımlarını esirgemeyen, yapıcı ve yönlendirici fikirleri ile bana daima yol gösteren, yaptığımız işin ciddiyetini ve önemini sürekli hatırlatarak beni onurlandıran danışmanım sayın Prof. Dr. Meftuni YEKELER'e sonsuz teşekkür ederim.

Tez izleme komitesi ve tez savunma jüri üyelerim Prof. Dr. Uğur ULUSOY'a, Prof. Dr. Alper ÖZKAN'a, tez jürimde yer alarak değerli katkılar sunan Prof. Dr. Hikmet SİS'e ve Prof. Dr. Erol KAYA'ya katkılarından dolayı teşekkür ederim.

Tüm hayatım boyunca olduğu gibi zorlu eğitim süresince de hiçbir şekilde maddi ve manevi desteklerini benden esirgemeyen çok değerli anneme, babama, ağabeylerim Güngör, Güner ve çok değerli ailelerine ve sevgili oğlum Çağan'a sonsuz teşekkür ederim. Bu çalışmalarımın en büyük yapı taşları sizler oldunuz.

Çalışmalarım boyunca desteklerini esirgemeyen Prof. Dr. Ayten ATEŞ'e, Doç. Dr. Ali Özer'e, Doç. Dr. Mustafa KOÇKAYA'ya, Dr. Öğr. Üyesi Hatice Aybüke KARAOĞLAN'a, Kimyager İbrahim KULAKSIZ'a, Tekniker Feramuz ÇİFÇİ'ye, Arş. Gör. Bedrettin COŞKUN'a, Seyhan YILMAZ'a, Mehmet GÜL'e ve Doç. Dr. Edna AURELUS'a sonsuz teşekkür ederim.

Doktora çalışmalarım boyunca bölüm olanaklarından yararlandığım, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü'nün çok kıymetli öğretim üyelerine teşekkürü bir borç bilirim.

ÖZET

FARKLI DEĞİRMENLERDE ÖĞÜTÜLMÜŞ BARİT CEVHERLERİNİN ZENGİNLEŞTİRİLMESİ VE MORFOLOJİK ÖZELLİKLERİNİN FLOTASYONA ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI

Güler BAYAR

Doktora Tezi

Maden Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Meftuni YEKELER

2022, 193 + xxiii sayfa

Petro-kimya, cam, boya ve dolgu endüstrilerinde yaygın kullanılan endüstriyel hammaddelerden barit, çeşitli metotlarla zenginleştirilmektedir. Öğütme sonucunda üretilen tanelerin şekil ve morfolojik özellikleri flotasyonda önemli rol oynamaktadır. Bu tezin amacı; farklı tenördeki barit cevherlerinin konvensiyonel değirmenlerde öğütülmesi sonrasında, sarsıntılı masa, manyetik ayırma ve flotasyon ile zenginleştirilmesi ve değirmen ürünü tanelerin şekil ve morfolojik özelliklerinin flotasyonla zenginleştirmeye olan etkilerinin dinamik görüntü analizi yöntemi ve taramalı elektron mikroskobu ile incelenmesidir.

Bu kapsamda ilk olarak, farklı tenörlere sahip barit cevherlerinin, bilyalı ve çubuklu değirmenlerde öğütmeleri yapılmıştır. Öğütme çalışmalarında barit cevherleri için uygun olan değirmen tipi ve öğütme süreleri belirlenmiştir. Gravite zenginleştirme yöntemi olan sarsıntılı masada barit cevherlerinin zenginleştirilmesi çalışmaları yapılmış ve tenör değerleri, % 70,57 BaSO₄'tan % 90,26 BaSO₄'a yükseltilmiştir. Barit cevherinde bulunan demir oksit vb. gang mineralinin uzaklaştırılması ve barit cevherlerinin tenör değerlerinin yükseltilmesi amacıyla manyetik ayırıcıda zenginleştirmeye tenör değerleri % 89,79 BaSO₄'tan % 93,70 BaSO₄'a yükseltilmiştir. Ayrıca, flotasyon ile zenginleştirme işlemleri kapsamında, reaktif dozajları, flotasyon kinetiği ve tane boyutunun etkisi araştırılmıştır. Barit flotasyonunda en uygun tane boyutunun -212+38 µm, ortam pH'nın 10, reaktif dozajlarının ise; bastırıcı için 500 g/t, toplayıcı için 200 g/t ve köpürtücü için 150 g/t olduğu belirlenmiştir. Bununla birlikte farklı değirmen ürünlerinin flotasyondaki davranışları ve bunların şekil ve morfolojisine bağlı olarak hidrofobik/hidrofilik

özellikleri araştırılmıştır. Bilyalı değirmen ürünleri ile yapılan flotasyon testlerinde tenör değerleri; düşük tenörlü barit (YBD adlı) numunesinde % 59,58 BaSO₄'tan % 83,31 BaSO₄'a, yüksek tenörlü barit (YBİ adlı) numunesinde % 87,71 BaSO₄'tan % 92 BaSO₄'a yükseltilmiştir. En yüksek tenör değerleri bilyalı değirmen ürünleriyle elde edilmiştir.

Barit minerallerinin, kritik ıslanma yüzey gerilimi değerleri (γ_c), Zisman temas açısı ölçümü yöntemiyle belirlenmiştir. Bu değerler, bilyalı değirmende öğütülmüş YBD ve YBİ numunelerinin γ_c değerleri sırasıyla 32 mN/m ve 31 mN/m iken, çubuklu değirmende öğütülmüş aynı numunelerin γ_c değerleri sırasıyla 32,5 mN/m ve 31,9 mN/m bulunmuştur. Flotasyon ile zenginleştirilen numunelerin tane şekil ve morfoloji incelemeleri dinamik görüntü analizi yöntemi ve taramalı elektron mikroskopuyla yapılmıştır. Bu kapsamda tenör ve verim sonuçları ve tanelerin Dairesellik (C) ve Sınırlayıcı Dikdörtgen En-Boy Oranı (BRAR) değerleriyle anlamlı ilişkileri bulunmuştur. Çubuklu değirmen ürünü her iki barit numuneleri (düşük ve yüksek tenörlü) için BRAR değeri, bilyalı değirmen ürünlerine göre yüksek iken, C değerleri daha düşüktür. Islanma parametresi olan γ_c değerleri çubuklu değirmen ürünlerinde bilyalı değirmen ürünlerine göre daha yüksek bulunmuştur. Bu nedenle, çubuklu değirmen ürünleri bilyalı değirmenlere göre daha hidrofilik davranış göstermiş olup, beklendiği üzere flotasyon konsantrelerinin tenör değerlerinin düşük olmasına yol açmıştır.

Taramalı elektron mikroskopu (SEM) ile yapılan çalışmalarda, bilyalı değirmenlerin çubuklu değirmenlere göre daha dairesel şekiller ürettiği görülmüştür. SEM'da bulunan tenör değerleri, hem akredite laboratuvar da hem de bu çalışmada kullanılan piknometre ile yapılan deneysel ve hesapla yaklaşımda bulunan tenör değerlerine yakın sonuçlar vermiştir.

Anahtar kelimeler: Barit, Öğütme, Zenginleştirme, Sarsıntılı Masa, Flotasyon, Şekil ve Morfolojik Özellik.

ABSTRACT

ENHANCEMENT OF BARITE ORES GROUND IN DIFFERENT MILLS AND INVESTIGATION OF THE EFFECT OF ITS MORPHOLOGICAL PROPERTIES ON FLOTATION

Güler BAYAR

PhD Thesis

Department of Mining Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Meftuni YEKELER

2022, 193 + xxiii pages

Barite, which is widely used in petro-chemistry, glass, paint and filler industries as industrial raw material, is concentrated by various methods. The shapes and morphological properties of the particles after grinding process play an important role in the flotation. The aim of this thesis is to concentrate the barite samples by shaking table, magnetic separation and flotation methods after they are ground by conventional mills (rod and ball mills) and it is also aimed to determine the effects of the particle shape and morphological properties of mill products on flotation concentration by using Dynamic Image Analysis (DIA) and Scanning Electron Microscope (SEM).

For this purpose, firstly barite ores with different grade were ground in rod and ball mills. The suitable mill type and the duration of samples in the mills were determined during the grinding process. Shaking table method was used for gravity enrichment and barite ores were upgraded and the grade was increased from 70.57% BaSO₄ to 90.26% BaSO₄. In order to remove the gang minerals such as iron oxide in the barite ores and to increase the barite grades in the ores, the grade was increased from 89.79% BaSO₄ to 93.70% BaSO₄ by enrichment in the magnetic separator. In addition, the reagent dosages, flotation kinetics and the effect of particle size were investigated during the flotation process. For the flotation, the most suitable particle size is -212+38 µm; pH of 10; the reagent dosages of 500 g/t for the depressant, 200 g/t for the collector and 150 g/t for the frother. In addition, the behaviour of different mill products during flotation and their hydrophobicity/hydrophilicity with regard to their shape and morphology properties were investigated. In the flotation tests for the product of the ball mill, the grade value was

increased from 59.58% BaSO₄ to 83.31% BaSO₄ for YBD (low-grade barite) samples and from 87.71% BaSO₄ to 92% BaSO₄ for YBI (high-grade barite) samples. The highest grade was obtained with the ball milled products.

The critical surface tensions of wetting (γ_c) of barite minerals were determined by Zisman's contact angles approach. The γ_c values of the ball milled YBD and YBI samples were determined to be 32 mN/m and 31 mN/m, respectively. On the other hand the γ_c values of the same samples milled in the rod mill were found to be 32.5 mN/m and 31.9 mN/m, respectively. The particle shape and morphology examination of the samples, which were enriched by flotation, were carried out by Dynamic Image Analysis (DIA) and Scanning Electron Microscopy (SEM) instruments. In this context, significant relationships were found between the grade and yield results and the Circularity (C) and Bounding Rectangle Aspect Ratio (BRAR) values of the particles. While the BRAR value of the rod mill product gave higher values in both samples (low- and high-grade barite) than the ball milled products, the circularity (C) values were determined lower. The wettability parameter, i.e., γ_c , were found higher for rod the mill products than that of the ball milled one. Therefore, hydrophilic behaviour was observed more with rod milled products than ball milled ones and, as expected, there were low grade values for flotation concentrations.

As a result of the shape and morphological examination performed with scanning electron microscopy (SEM), it is seen that ball mill produces more circular particle shapes than the rod mill. The grades found in the SEM showed similar results with the grade values reported by an accredited chemical analysis laboratory and the experimental method by a pycnometer plus the calculated approach in this study.

Key Words: Barite, Grinding, Enrichment, Shaking Table, Flotation, Shape and Morphological Property.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	viii
ABSTRACT.....	x
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xv
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xxii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xxiii
1 . GİRİŞ	1
1.1 Barit Cevheri ve Özellikleri	1
1.2 Baritin Kullanım Alanları.....	3
1.3 Baritin Türkiye ve Dünya'daki Rezervleri.....	4
1.4 Barit Cevherinin Öğütülmesi	5
1.5 Barit Cevherinin Zenginleştirme Yöntemleri.....	7
1.5.1 Elle ayıklama ile zenginleştirme	8
1.5.2 Yoğunluk farkı ile zenginleştirme.....	8
1.5.3 Manyetik ayırma ile zenginleştirme	8
1.5.4 Flotasyon ile zenginleştirme.....	8
1.6 Minerallerin İslanma Özellikleri ve Kritik İslanma Yüzey Gerilimi Değeri	9
1.6.1 Temas açısı ve yüzey enerjileri	9
1.6.2 Kritik ıslanma yüzey gerilimi değeri ve belirleme yöntemleri	10
1.7 Baritin Çeşitli Yöntemlerle Zenginleştirilmesi, Şekil ve Morfolojik Özellikleri	12
1.8 Barit Standartları	13
2 . KAYNAK ARAŞTIRMASI	15
2.1 Öğütme Çalışmaları.....	15
2.2 Flotasyonla Zenginleştirme Çalışmaları.....	16
2.3 Manyetik Ayırma ile Zenginleştirme Testleri ile İlgili Çalışmalar	22
2.4 Şekil Faktörü ve İslanabilirlik ile İlgili Çalışmalar	23
3 . MATERYAL VE METOT	26
3.1 Materyal	26
3.2 Numune Hazırlama İşlemleri	28
3.2.1 Kırma işlemleri.....	28
3.2.2 Öğütme işlemleri	28
3.2.3 Elek analizleri.....	30
3.2.4 Piknometre ile yoğunluk tayini	31
3.3 Deneylerde Kullanılan Sıvıların Yüzey Gerilimlerinin Belirlenmesi	33
3.4 Deneylerde Kullanılan Barit Numunelerinin Temas Açılarının Belirlenmesi	34
3.5 Barit Cevherlerinin Zenginleştirme İşlemleri.....	36
3.5.1 Yaş manyetik ayırma ile zenginleştirme işlemleri	36
3.5.2 Sarsıntılı masa ile zenginleştirme işlemleri.....	37
3.5.3 Flotasyon ile zenginleştirme işlemleri.....	38
3.6 Numunelerin Şekil ve Morfolojik Analizleri	42
3.6.1 Dinamik görüntü analizi yöntemi.....	42
3.6.2 Taramalı elektron mikroskobu (SEM) yöntemi	44
4 . BULGULAR.....	46
4.1 Kırma İşlemleri	46
4.2 Eleme Testleri ve Eleme Kinetiği Çalışmaları	46
4.3 Öğütme Çalışmaları.....	49
4.3.1 Bilyalı değirmenlerde barit cevherlerinin öğütülmesi.....	52
4.3.2 Çubuklu değirmenlerde barit cevherlerinin öğütülmesi	55

4.4	Piknometre ile yoğunluk tayini	57
4.5	Barit Cevherlerinin Yaş Manyetik Ayırma ile Zenginleştirme İşlemleri.....	59
4.6	Sarsıntılı Masa ile Zenginleştirme İşlemleri	63
4.7	Islanma Deneylerinde (Temas Açısı Ölçümü) Kullanılan Çözeltiler ve Yüzey Gerilimleri	68
4.8	Temas Açısı Yöntemi ile Kritik Islanma Yüzey Gerilimi Değerlerinin (γ_c) Belirlenmesi	69
4.8.1	Bilyalı değirmenlerde öğütülmüş barit cevherlerinin kritik ıslanma yüzey gerilimi değerlerinin (γ_c) belirlenmesi	70
4.8.2	Çubuklu değirmenlerde öğütülmüş barit cevherlerinin kritik ıslanma yüzey gerilimi değerlerinin (γ_c) belirlenmesi	71
4.9	Flotasyon ile Zenginleştirme Çalışmaları	73
4.9.1	Ön flotasyon deneyleri	73
4.9.2	Tane boyutunun barit flotasyonuna etkisi	73
4.9.3	Ortam pH'nın barit flotasyonuna etkisi.....	76
4.9.4	Bastırıcı dozajının barit flotasyonuna etkisi.....	77
4.9.5	Toplayıcı dozajının barit flotasyonuna etkisi	79
4.9.6	Köpürtücü dozajının barit flotasyonuna etkisi	80
4.9.7	Flotasyon kinetiği çalışmaları	82
4.9.8	Farklı değirmenlerde öğütülmüş barit numunelerinin flotasyonu.....	83
4.10	Dinamik Görüntü Analizi Yöntemi (DIA) ile Numunelerin Tane Şekil Özelliklerinin Belirlenmesi	86
4.10.1	Düşük tenörlü (YBD) baritlerin dinamik görüntü analizi yöntemi ile tane şekillerinin belirlenmesi.....	87
4.10.2	Yüksek tenörlü (YBİ) baritlerin dinamik görüntü analizi yöntemi ile tane şekillerinin belirlenmesi.....	94
4.11	Taramalı Elektron Mikroskobu ile Numune Özelliklerinin Belirlenmesi.....	101
4.11.1	Düşük tenörlü (YBD) baritlerin Taramalı Elektron Mikroskobu ile tane şekil ve morfolojilerinin belirlenmesi	101
4.11.2	Yüksek tenörlü (YBİ) baritlerin Taramalı Elektron Mikroskobu ile tane şekil ve morfolojilerinin belirlenmesi	109
4.12	Bulguların Karşılaştırılarak Değerlendirilmesi	116
4.12.1	Bilyalı değirmen ürünleri için verilerin karşılaştırılması.....	117
4.12.2	Çubuklu değirmen ürünleri için verilerin karşılaştırılması.....	119
4.12.3	Kritik ıslanma yüzey gerilimi ile ilgili verilerin karşılaştırılması.....	121
4.12.4	Üç boyutlu dinamik görüntüleme cihazı ile elde edilen verilerin verilerin karşılaştırılması	123
4.12.5	Taramalı elektron mikroskobu verilerinin değerlendirilmesi	125
5.	TARTIŞMA VE SONUÇ.....	129
	KAYNAKLAR	135
	EKLER	142
EK-1	Farklı Eleme Teknikleri İle Yapılan Elek Analizleri	143
EK-2	Farklı Frekans/Salınım Değerlerinde Yapılan Eleme Kinetiği Çalışmaları.....	146
EK-3	Çalışılan Barit Numunelerinin Kimyasal Analizleri	148
EK-4	Bilyalı Ve Çubuklu Değirmenlerde Öğütülen Barit Cevherlerinin (Numunelerinin) Partikül Boyut Dağılımları	150

EK-5 Barit Numunelerinin Farklı Alan Şiddetlerinde Yaş Manyetik Ayırmada Elde Edilen Yoğunluk Ve Tenör Değerleri	159
EK-6 Temas Açıcı Ölçümlerinde Kullanılan Metanol-Su Karışımı Çözeltilerin Damla Ağırlık Yöntemiyle Belirlenen Yüzey Gerilimleri.....	161
EK-7 Barit Numunelerinin Kritik Islanma Yüzey Gerilimi Değerlerinin Temas Açısı Ölçüm Yöntemiyle Belirlenmesi.....	164
EK-8 Taramalı Elektron Mikroskobu (Sem) İle Yapılan Kimyasal İçerik Tayini	167
EK-9 Taramalı Elektron Mikroskobu (Sem) Spektrum Grafikleri	181
ÖZGEÇMİŞ	192



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1	Temas açısının sulu ortamda katı ve damla arasındaki üç fazlı yüzeyde şematik görünümü.	10
Şekil 1.2	Katının γ_c değerinin temas açısı ölçüm yöntemi ile belirlenmesi (Shafrin vd., 1960).....	11
Şekil 3.1	Deneylerde kullanılan çeneli kırıcının (a) genel görünümü (b) şematik kesit görünümü (Kimya teknolojisi, 2012).....	28
Şekil 3.2	Öğütme işlemlerinde kullanılan (a) bilyalı değirmenler (b) çubuklu değirmen (c) değirmen döndürme sehpası (d) halkalı değirmen.	29
Şekil 3.3	Elek sarsma cihazı ve kullanılan Retsch® marka eleklerin set halinde genel görünümü.	31
Şekil 3.4	Deneylerde kullanılan piknometre ve yoğunluk analizinin aşamalı olarak şematik görünümü.....	32
Şekil 3.5	Sıvıların yüzey gerilimlerinin belirlendiği büret ve özel toplama kabı.....	33
Şekil 3.6	Deneylerde kullanılan Gonyometre cihazı (a) genel görünümü (b) peletlenmiş barit cevheri üzerinde oluşturulan damla örneği.....	35
Şekil 3.7	Yaş manyetik ayırıcı cihazı (a) genel görünümü (b) şematik görünümü.	36
Şekil 3.8	Deneylerde kullanılan sarsıntılı masanın genel görünümü.	38
Şekil 3.9	Deneylerde kullanılan barit cevherlerinden gang minerallerinin ayrımı.....	38
Şekil 3.10	Deneylerde kullanılan denver tipi flotasyon cihazı.	39
Şekil 3.11	Micromeritics® Particle Insight cihazının (a) genel görünümü (b) çalışma mekanizması (https://www.particulatesystems.com).....	42
Şekil 3.12	Micromeritics Particle Insight 3 Boyutlu Görüntü Analiz cihazının (a) çalışma ara yüzüne ait bir görünüm (b) barit cevherlerine ait bir görüntü.....	43
Şekil 3.13	Barit cevherlerinin incelendiği Tescan MIRA3 XMU marka Taramalı Elektron Mikroskopunun genel görünümü.	44
Şekil 4.1	Bilyalı değirmende öğütülmüş barit numunelerinin farklı eleme teknikleriyle elde edilen tane boyutu dağılımlarının karşılaştırılması.	47
Şekil 4.2	Barit numunesi için optimum eleme süresinin kinetik yaklaşımla tayini.	48
Şekil 4.3	150 µm boyutlu elekte kalan barit numunelerinin farklı frekanslarda elde edilen optimum eleme süreleri.....	49
Şekil 4.4	Bilyalı değirmende öğütülmüş B1 numunesinin öğütme sürelerine bağlı olarak ürün tane boyut dağılımları.	53
Şekil 4.5	Bilyalı değirmende öğütülmüş B2 numunesinin öğütme sürelerine bağlı olarak ürün tane boyut dağılımları.	53
Şekil 4.6	Bilyalı değirmende öğütülmüş B3 numunesinin öğütme sürelerine bağlı olarak ürün tane boyut dağılımları.	54
Şekil 4.7	Bilyalı değirmende öğütülmüş B4 numunesinin öğütme sürelerine bağlı olarak ürün tane boyut dağılımları.	54
Şekil 4.8	Çubuklu değirmende öğütülmüş B1 numunesinin öğütme sürelerine bağlı olarak ürün tane boyut dağılımları.	55
Şekil 4.9	Çubuklu değirmende öğütülmüş B2 numunesinin öğütme sürelerine bağlı olarak ürün tane boyut dağılımları.	56
Şekil 4.10	Çubuklu değirmende öğütülmüş B3 numunesinin öğütme sürelerine bağlı olarak ürün tane boyut dağılımları.	56
Şekil 4.11	Çubuklu değirmende öğütülmüş B4 numunesinin öğütme sürelerine bağlı olarak ürün tane boyut dağılımları.	57
Şekil 4.12	Yoğunluk değerlerine karşılık gelen tenör değerlerinin değişimi.	58

Şekil 4.13	-106+75 µm tane boyut fraksiyonundaki barit numunesinin yaş manyetik ayırmada manyetik alan şiddetine bağlı olarak tenör ve verim değerlerinin değişimi.	60
Şekil 4.14	Farklı tane boyut fraksiyonlarındaki barit numunelerinin 13000 Gauss alan şiddetinde yapılan yaş manyetik ayırmada elde edilen tenör ve verim değerleri.....	61
Şekil 4.15	Farklı tane boyut fraksiyonlarındaki barit numunelerinin 15000 Gauss alan şiddetinde yapılan yaş manyetik ayırmada elde edilen tenör ve verim değerleri.....	61
Şekil 4.16	Farklı tane boyut fraksiyonlarındaki barit numunelerinin 17200 Gauss alan şiddetinde yapılan yaş manyetik ayırmada elde edilen tenör ve verim değerleri.....	62
Şekil 4.17	Farklı tane boyut fraksiyonlarındaki barit numunelerinin değişen manyetik alan şiddetlerinde elde edilen tenör değerleri.....	63
Şekil 4.18	Sarsıntılı masa 1. seri testleri sonucu farklı boyut fraksiyonlarındaki barit numunelerinde elde edilen tenör ve verim değerleri.....	64
Şekil 4.19	Sarsıntılı masa 1. seri testleri sonucu farklı boyut fraksiyonlarındaki barit numunelerinde elde edilen tenör ve yoğunluk değerleri.	65
Şekil 4.20	Tekrarlanan (2. seri) sarsıntılı masa testleri sonucu farklı boyut fraksiyonlarındaki barit numunelerinde elde edilen tenör ve verim değerleri.....	66
Şekil 4.21	Tekrarlanan (2. seri) sarsıntılı masa testleri sonucu farklı boyut fraksiyonlarındaki barit numunelerinde elde edilen tenör ve yoğunluk değerleri.....	66
Şekil 4.22	Farklı boyut fraksiyonlarındaki barit numunelerinin sarsıntılı masa ile yapılan zenginleştirmede iki ayrı test için elde edilen tenör değerlerinin karşılaştırılarak gösterimi.....	67
Şekil 4.23	Farklı boyut fraksiyonlarındaki barit numunelerinin sarsıntılı masa ile yapılan zenginleştirmede iki ayrı test için elde edilen yoğunluk değerlerinin karşılaştırılarak gösterimi.....	67
Şekil 4.24	Temas açısı ölçümünde kullanılan ve yüzey gerilimleri belirlenen metanol-su çözeltilerinin yüzey gerilimi değerlerinin literatür değerleriyle karşılaştırılması.	69
Şekil 4.25	Bilyalı değirmende öğütülmüş YBD numunesinin -212+38 µm boyut fraksiyonu peletlenerek, Zisman temas açısı yöntemiyle kritik ıslanma yüzey gerilimi (γ_c) ve eğim değerlerinin belirlendiği ıslanma diyagramı (Adsorbe edilen kimyasal madde: Sodyum dodesil sülfat (SDS)).....	70
Şekil 4.26	Bilyalı değirmende öğütülmüş YBİ numunesinin -212+38 µm boyut fraksiyonu peletlenerek, Zisman temas açısı yöntemiyle kritik ıslanma yüzey gerilimi (γ_c) ve eğim değerlerinin belirlendiği ıslanma diyagramı (Adsorbe edilen kimyasal madde: Sodyum dodesil sülfat (SDS)).....	71
Şekil 4.27	Çubuklu değirmende öğütülmüş YBD numunesinin -212+38 µm boyut fraksiyonu peletlenerek, Zisman temas açısı yöntemiyle kritik ıslanma yüzey gerilimi (γ_c) ve eğim değerlerinin belirlendiği ıslanma diyagramı (Adsorbe edilen kimyasal madde: Sodyum dodesil sülfat (SDS)).....	72
Şekil 4.28	Çubuklu değirmende öğütülmüş YBİ numunesinin -212+38 µm boyut fraksiyonu peletlenerek, Zisman temas açısı yöntemiyle kritik ıslanma yüzey gerilimi (γ_c) ve eğim değerlerinin belirlendiği ıslanma diyagramı (Adsorbe edilen kimyasal madde: Sodyum dodesil sülfat (SDS)).....	72

Şekil 4.29	Zisman temas açısı ölçümü yaklaşımı ile belirlenen eğim (m_c) değerlerinin ürünün alındığı değirmen türüne göre karşılaştırılması.	73
Şekil 4.30	Farklı tane boyutlarındaki barit cevherlerinin flotasyon testleri sonucu elde edilen tenör ve yoğunluk değerleri.	74
Şekil 4.31	Farklı tane boyutlarındaki barit cevherlerinin flotasyon testleri sonucu elde edilen tenör ve yoğunluk değerleri (-38 μ m fraksiyonu hariç).	75
Şekil 4.32	Barit cevherlerinin farklı tane boyutunun flotasyonla zenginleştirilmesi sonucu elde edilen yoğunluk değerleri.	76
Şekil 4.33	Flotasyon ortamı pH değerlerine bağlı olarak tenör ve verim değerleri. .	77
Şekil 4.34	Farklı bastırıcı miktarlarında barit flotasyonunda tenör ve verim değerleri.	78
Şekil 4.35	Barit flotasyonunda farklı toplayıcı miktarındaki, konsantrelerin tenör ve verim değeri.	80
Şekil 4.36	Barit flotasyonunda kullanılan farklı köpürtücü miktarlarının elde edilen konsantrelerin tenör ve verim değerlerine etkisi.	81
Şekil 4.37	YBD ve YBİ barit numunelerinin flotasyon kinetiği.	83
Şekil 4.38	Çubuklu ve bilyalı değirmenlerde öğütülmüş düşük ve yüksek tenörlü barit cevherlerinin flotasyonu sonucu ürünlerin belirlenen yoğunluk değerlerinin karşılaştırılması (a; tüvenan cevher, b; çubuklu değirmen ürünü, c; bilyalı değirmen ürünü).	84
Şekil 4.39	Çubuklu ve bilyalı değirmenlerde öğütülmüş düşük ve yüksek tenörlü barit cevherlerinin flotasyonu sonucu ürünlerin belirlenen tenör değerlerinin karşılaştırılması (a; tüvenan cevher, b; çubuklu değirmen ürünü, c; bilyalı değirmen ürünü).	85
Şekil 4.40	Çubuklu ve bilyalı değirmenlerde öğütülmüş düşük ve yüksek tenörlü barit cevherlerinin flotasyonu sonucu ürünlerin belirlenen verim değerlerinin karşılaştırılması (a; çubuklu değirmen ürünü, b; bilyalı değirmen ürünü).	85
Şekil 4.41	Bu çalışmada kullanılan barit numunelerinin Micromeritics Particle Insight 3 Boyutlu görüntü analiz cihazı ile alınan tane şekillerini gösterir genel bir görüntü.	86
Şekil 4.42	Tüvenan cevhere ait YBD (düşük tenörlü) numunesine ait tanelerin şekillerinin 3 boyutlu görüntüleme cihazı görüntüsü.	87
Şekil 4.43	Bilyalı değirmende öğütülmüş YBD numunesinin flotasyon ile zenginleştirilmesi sonucu konsantreye ait tanelerin şekillerinin 3 boyutlu görüntüleme cihazı görüntüsü.	88
Şekil 4.44	Bilyalı değirmende öğütülmüş YBD numunesinin flotasyon ile zenginleştirilmesi sonucu artığa ait tanelerin şekillerinin 3 boyutlu görüntüleme cihazı görüntüsü.	88
Şekil 4.45	Çubuklu değirmende öğütülmüş YBD numunesinin flotasyon ile zenginleştirilmesi sonucu konsantreye ait tanelerin şekillerinin 3 boyutlu görüntüleme cihazı görüntüsü.	89
Şekil 4.46	Çubuklu değirmende öğütülmüş YBD numunesinin flotasyon ile zenginleştirilmesi sonucu artığa ait tanelerin şekillerinin 3 boyutlu görüntüleme cihazı görüntüsü.	89
Şekil 4.47	YBD (düşük tenörlü barit) numunesinin bilyalı ve çubuklu değirmenle öğütülmesi sonucu alınan flotasyon konsantrelerinin dairesellik değerlerinin beslenen cevherin değeriyle birlikte gösterimi.	90

Şekil 4.48	YBD (düşük tenörlü barit) numunesinin bilyalı ve çubuklu değirmenle öğütülmesi sonucu alınan flotasyon artıklarının dairesellik değerlerinin beslenen cevherin değeriyle birlikte gösterimi.	91
Şekil 4.49	YBD (düşük tenörlü barit) numunelerinin farklı öğütme sonucu flotasyon konsantre ve artıklarının dairesellik değerlerinin karşılaştırılması.	91
Şekil 4.50	YBD (düşük tenörlü barit) numunelerinin farklı öğütme sonucu ürünün flotasyon konsantrelerinin sınırlayıcı dikdörtgen en-boy oranı (BRAR) değerlerinin karşılaştırılması.	92
Şekil 4.51	YBD (düşük tenörlü barit) numunelerinin farklı öğütme sonucu ürünün flotasyon artıklarının sınırlayıcı dikdörtgen en-boy oranı (BRAR) değerlerinin karşılaştırılması.	92
Şekil 4.52	YBD (düşük tenörlü barit) numunelerinin farklı öğütme sonucu ürünün flotasyon konsantre ve artıklarının sınırlayıcı dikdörtgen en-boy oranı (BRAR) değerleri.	93
Şekil 4.53	Yüksek tenörlü barit cevherlerinin (YBİ) tüvenan numunelerinin Micromeritics Particle Insight 3 Boyutlu görüntü analiz cihazı ile alınan tane şekillerini gösterir genel bir görüntü.	94
Şekil 4.54	Bilyalı değirmende öğütülmüş yüksek tenörlü barit cevherlerinin (YBİ) flotasyon ile zenginleştirilmesi sonucu elde edilen konsantre ürünlerinin Micromeritics Particle Insight 3 Boyutlu görüntü analiz cihazı ile alınan tane şekillerini gösterir genel bir görüntü.	95
Şekil 4.55	Bilyalı değirmende öğütülmüş yüksek tenörlü barit cevherlerinin (YBİ) flotasyon ile zenginleştirilmesi sonucu elde edilen artık ürünlerinin Micromeritics Particle Insight 3 Boyutlu görüntü analiz cihazı ile alınan tane şekillerini gösterir genel bir görüntü.	95
Şekil 4.56	Çubuklu değirmende öğütülmüş yüksek tenörlü barit cevherlerinin (YBİ) flotasyon ile zenginleştirilmesi sonucu elde edilen konsantre ürünlerinin Micromeritics Particle Insight 3 Boyutlu görüntü analiz cihazı ile alınan tane şekillerini gösterir genel bir görüntü.	96
Şekil 4.57	Çubuklu değirmende öğütülmüş yüksek tenörlü barit cevherlerinin (YBİ) flotasyon ile zenginleştirilmesi sonucu elde edilen artık ürünlerinin Micromeritics Particle Insight 3 Boyutlu görüntü analiz cihazı ile alınan tane şekillerini gösterir genel bir görüntü.	96
Şekil 4.58	YBİ (yüksek tenörlü barit) numunelerinin flotasyon konsantrelerinin farklı değirmenler için dairesellik değerleri.	97
Şekil 4.59	YBİ (yüksek tenörlü barit) numunelerinin flotasyon artıklarının farklı değirmenler için dairesellik değerleri.	97
Şekil 4.60	YBİ (yüksek tenörlü barit) numunelerinin flotasyon konsantre ve artıklarının farklı değirmenler için karşılaştırmalı dairesellik değerleri.	98
Şekil 4.61	YBİ (yüksek tenörlü barit) numunelerinin flotasyon konsantrelerinin farklı değirmenler için değirmen tiplerine göre sınırlayıcı dikdörtgen en-boy oranı (BRAR) değerleri.	99
Şekil 4.62	YBİ (yüksek tenörlü barit) numunelerinin flotasyon artıklarının farklı değirmenler için sınırlayıcı dikdörtgen en-boy oranı (BRAR) değerleri.	99
Şekil 4.63	YBİ (yüksek tenörlü barit) numunelerinin flotasyon konsantre ve artıklarının farklı değirmenler için karşılaştırmalı sınırlayıcı dikdörtgen en-boy oranı (BRAR) değerleri.	100
Şekil 4.64	YBD (düşük tenörlü barit) numunesine ait tüvenan cevheri gösteren Taramalı Elektron Mikroskobu görüntüleri (a) 75x büyütme (b) 500x büyütme. ..	101

Şekil 4.65	Bilyalı değirmende öğütülmüş YBD numunesinin, 1.flotasyon konsantrelerini gösteren Taramalı Elektron Mikroskobu görüntüleri (a) 75x büyütme (b) 500x büyütme.....	102
Şekil 4.66	Bilyalı değirmende öğütülmüş YBD numunesinin, 2.flotasyon konsantrelerini gösteren Taramalı Elektron Mikroskobu görüntüleri (a) 75x büyütme (b) 500x büyütme.....	102
Şekil 4.67	Bilyalı değirmende öğütülmüş YBD numunesinin, 3.flotasyon konsantrelerini gösteren Taramalı Elektron Mikroskobu görüntüleri (a) 75x büyütme (b) 500x büyütme.....	103
Şekil 4.68	Bilyalı değirmende öğütülmüş YBD numunesinin, 1. flotasyon artıklarını gösteren Taramalı Elektron Mikroskobu görüntüleri (a) 75x büyütme (b) 500x büyütme.....	103
Şekil 4.69	Bilyalı değirmende öğütülmüş YBD numunesinin, 2. flotasyon artıklarını gösteren Taramalı Elektron Mikroskobu görüntüleri. (a) 75x büyütme (b) 500x büyütme.....	104
Şekil 4.70	Bilyalı değirmende öğütülmüş YBD numunesinin, 3. flotasyon artıklarını gösteren Taramalı Elektron Mikroskobu görüntüleri (a) 75x büyütme (b) 500x büyütme.....	104
Şekil 4.71	Çubuklu değirmende öğütülmüş YBD numunesinin, 1. flotasyon konsantrelerini gösteren Taramalı Elektron Mikroskobu görüntüleri (a) 75x büyütme (b) 500x büyütme.	105
Şekil 4.72	Çubuklu değirmende öğütülmüş YBD numunesinin, 2. flotasyon konsantrelerini gösteren Taramalı Elektron Mikroskobu görüntüleri (a) 75x büyütme (b) 500x büyütme.	105
Şekil 4.73	Çubuklu değirmende öğütülmüş YBD numunesinin, 3. flotasyon konsantrelerini gösteren Taramalı Elektron Mikroskobu görüntüleri (a) 75x büyütme (b) 500x büyütme.	106
Şekil 4.74	Çubuklu değirmende öğütülmüş YBD numunesinin, 1. flotasyon artıklarını gösteren Taramalı Elektron Mikroskobu görüntüleri (a) 75x büyütme (b) 500x büyütme.....	106
Şekil 4.75	Çubuklu değirmende öğütülmüş YBD numunesinin, 2. flotasyon artıklarını gösteren Taramalı Elektron Mikroskobu görüntüleri (a) 75x büyütme (b) 500x büyütme.....	107
Şekil 4.76	Çubuklu değirmende öğütülmüş YBD numunesinin, 3. flotasyon artıklarını gösteren Taramalı Elektron Mikroskobu görüntüleri (a) 75x büyütme (b) 500x büyütme.....	107
Şekil 4.77	Tüvenan YBİ (yüksek tenörlü barit) numunesine ait Taramalı Elektron Mikroskobu görüntüleri (a) 75x büyütme (b) 500x büyütme.	110
Şekil 4.78	Bilyalı değirmende öğütülmüş YBİ numunesinin, 1.flotasyon konsantrelerini gösteren Taramalı Elektron Mikroskobu görüntüleri (a) 75x büyütme (b) 500x büyütme.....	110
Şekil 4.79	Bilyalı değirmende öğütülmüş YBİ numunesinin, 2. flotasyon konsantrelerini gösteren Taramalı Elektron Mikroskobu görüntüleri (a) 75x büyütme (b) 500x büyütme.....	111
Şekil 4.80	Bilyalı değirmende öğütülmüş YBİ numunesinin, 3. flotasyon konsantrelerini gösteren Taramalı Elektron Mikroskobu görüntüleri (a) 75x büyütme (b) 500x büyütme.....	111
Şekil 4.81	Bilyalı değirmende öğütülmüş YBİ numunesinin, 1. flotasyon artıklarını gösteren Taramalı Elektron Mikroskobu görüntüleri (a) 75x büyütme (b) 500x büyütme.....	112

Şekil 4.82	Bilyalı değirmende öğütülmüş YBİ numunesinin, 2. flotasyon artıklarını gösteren Taramalı Elektron Mikroskobu görüntüleri (a) 75x büyütme (b) 500x büyütme.....	112
Şekil 4.83	Bilyalı değirmende öğütülmüş YBİ numunesinin, 3. flotasyon artıklarını gösteren Taramalı Elektron Mikroskobu görüntüleri (a) 75x büyütme (b) 500x büyütme.....	113
Şekil 4.84	Çubuklu değirmende öğütülmüş YBİ numunesinin, 1. flotasyon konsantrelerini gösteren Taramalı Elektron Mikroskobu görüntüleri (a) 75x büyütme (b) 500x büyütme.	113
Şekil 4.85	Çubuklu değirmende öğütülmüş YBİ numunesinin, 2. flotasyon konsantrelerini gösteren Taramalı Elektron Mikroskobu görüntüleri (a) 75x büyütme (b) 500x büyütme.	114
Şekil 4.86	Çubuklu değirmende öğütülmüş YBİ numunesinin, 3. flotasyon konsantrelerini gösteren Taramalı Elektron Mikroskobu görüntüleri (a) 75x büyütme (b) 500x büyütme.	114
Şekil 4.87	Çubuklu değirmende öğütülmüş YBİ numunesinin, 1. flotasyon artıklarını gösteren Taramalı Elektron Mikroskobu görüntüleri (a) 75x büyütme (b) 500x büyütme.....	115
Şekil 4.88	Çubuklu değirmende öğütülmüş YBİ numunesinin, 2. flotasyon artıklarını gösteren Taramalı Elektron Mikroskobu görüntüleri (a) 75x büyütme (b) 500x büyütme.....	115
Şekil 4.89	Çubuklu değirmende öğütülmüş YBİ numunesinin, 3. flotasyon artıklarını gösteren Taramalı Elektron Mikroskobu görüntüleri (a) 75x büyütme (b) 500x büyütme.....	116
Şekil 4.90	Bilyalı değirmen ürünlerinin farklı kritik ıslanma yüzey gerilimi (γ_c) değerlerine karşı gelen dairesellik (C) değerleri.	117
Şekil 4.91	Bilyalı değirmen ürünlerinin farklı kritik ıslanma yüzey gerilimi (γ_c) değerlerine karşı gelen sınırlayıcı dikdörtgen en-boy oranı (BRAR) değerleri.....	118
Şekil 4.92	Bilyalı değirmen ürünleri olan düşük tenörlü (YBD) ve yüksek tenörlü (YBİ) barit numunelerinin Zisman ıslanma diyagramındaki eğimleri(m_c), kritik ıslanma yüzey gerilimi değerleri (γ_c), flotasyona ait konsantrenin verim (%) ve tenör (%) değerlerinin birlikte karşılaştırmalı gösterimi.	119
Şekil 4.93	Çubuklu değirmen ürünlerinin farklı kritik ıslanma yüzey gerilimleri (γ_c) değerlerine karşı gelen dairesellik (C) değerleri.	120
Şekil 4.94	Çubuklu değirmen ürünlerinin farklı kritik ıslanma yüzey gerilimleri (γ_c) değerlerine karşı gelen sınırlayıcı dikdörtgen en-boy oranı (BRAR) değerleri.....	120
Şekil 4.95	Çubuklu değirmen ürünleri olan düşük tenörlü (YBD) ve yüksek tenörlü (YBİ) barit numunelerinin Zisman ıslanma diyagramındaki eğimleri(m_c), kritik ıslanma yüzey gerilimi (γ_c) değerleri, flotasyon konsantre verim (%) ve tenör (%) değerlerinin birlikte karşılaştırmalı gösterimi.	121
Şekil 4.96	Farklı barit numunelerinin, değişik yüzey gerilimlerine sahip sıvılar ile gonyometre cihazında ölçülen temas açıları arasındaki ilişki.	122
Şekil 4.97	Barit cevherleri için bulunan kritik ıslanma yüzey gerilimi değerlerinin (γ_c) barit tenörü ile değişimi.	123
Şekil 4.98	Farklı tenör değerleri için sahip barit cevher numunelerinin dairesellik (C) ve sınırlayıcı dikdörtgen en-boy oranı (BRAR) değerleri.....	124
Şekil 4.99	Farklı verim değerleri için sahip barit cevher numunelerinin dairesellik (C) ve sınırlayıcı dikdörtgen en-boy oranı (BRAR) değerleri.....	124

Şekil 4.100 Bilyalı değirmende öğütülmüş YBD (düşük tenörlü barit) numunelerinin flotasyon konsantrelerini gösteren Taramalı Elektron Mikroskobu görüntüleri (a) 500x büyütme (b) 500x büyütmede tane boyutlandırması.	125
Şekil 4.101 Bilyalı değirmende öğütülmüş YBİ (yüksek tenörlü barit) numunelerinin flotasyon konsantrelerini gösteren Taramalı Elektron Mikroskobu görüntüleri (a) 500x büyütme (b) 500x büyütmede tane boyutlandırması.	126
Şekil 4.102 Çubuklu değirmende öğütülmüş YBD (düşük tenörlü barit) numunelerinin flotasyon konsantrelerini gösteren Taramalı Elektron Mikroskobu görüntüleri (a) 500x büyütme (b) 500x büyütmede tane boyutlandırması.	127
Şekil 4.103 Çubuklu değirmende öğütülmüş YBİ (yüksek tenörlü barit) numunelerinin flotasyon konsantrelerini gösteren Taramalı Elektron Mikroskobu görüntüleri (a) 500x büyütme (b) 500x büyütmede tane boyutlandırması.	127
Şekil 4.104 Piknometre ile yapılan ve hesaplanan tenör değerlerinin, Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) ile belirlenmiş tenör değerleri ile karşılaştırılması.	128

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1.1	Barit cevherinin fiziksel özellikleri(Anonim, 2014)	2
Çizelge 1.2	Yıllara göre Türkiye’deki barit üretim miktarları (ÖİKR, 2018)	4
Çizelge 1.3	Dünya barit rezervleri (U.S. Geological Survey, 2020)	5
Çizelge 1.4	Tane boyutuna göre barit zenginleştirme yöntemleri.....	7
Çizelge 3.1	Öğütme deneylerinde kullanılan numunelerin kimyasal kompozisyonları	26
Çizelge 3.2	Sarsıntılı masa ve manyetik ayırma deneylerinde kullanılan numunelerin kimyasal kompozisyonları	27
Çizelge 3.3	Flotasyon deneylerinde kullanılan numunelerin kimyasal kompozisyonları	27
Çizelge 3.4	Flotasyon testlerinde kullanılan reaktiflerin listesi	40
Çizelge 4.1	Bilyalı değirmen özellikleri ve deney koşulları	50
Çizelge 4.2	Çubuklu değirmen özellikleri ve deney koşulları.....	51
Çizelge 4.3	Laboratuvarda yapılan piknometre deneyleri sonucu elde edilen yoğunluk değerleri ve akredite laboratuvar yoğunluk sonuçlarının karşılaştırılması	58
Çizelge 4.4	Farklı boyutlardaki barit numunelerinin değişen manyetik alan şiddetlerinde elde edilen tenör ve verim değerleri.....	60
Çizelge 4.5	Farklı tane boyut fraksiyonlarındaki barit cevherlerinin sarsıntılı masa ile zenginleştirilmesinin 1.seri teste ait tenör ve verim değerleri.....	64
Çizelge 4.6	Farklı tane boyutundaki barit numunelerinin 2. seri sarsıntılı masa ile zenginleştirme testlerine ait tenör-verim değerleri	65
Çizelge 4.7	İslenme deneylerinde (temas açısı ölçümlerinde) kullanılan metanol-su çözeltilerinin konsantrasyonlarına karşılık bulunan yüzey gerilimi değerleri	68
Çizelge 4.8	Farklı tane boyutlarındaki barit cevherlerinin flotasyon testleri sonucu elde edilen tenör ve yoğunluk değerleri.....	74
Çizelge 4.9	Farklı tane boyut fraksiyonlarındaki barit cevherlerinin flotasyon testleri sonucu elde edilen tenör ve yoğunluk değerleri.....	75
Çizelge 4.10	Barit flotasyonunda farklı ortam pH’larında elde edilen konsantrelerin tenör ve yoğunluk değerleri.....	77
Çizelge 4.11	Barit flotasyonunda kullanılan farklı bastırıcı dozajlarında elde edilen konsantrelere ait tenör ve yoğunluk değerleri	78
Çizelge 4.12	Barit flotasyonunda kullanılan farklı toplayıcı dozajlarında elde edilen konsantrelerin tenör ve yoğunluk değerlerine etkisi	79
Çizelge 4.13	Barit flotasyonunda farklı köpürtücü dozajlarında elde edilen konsantrelerin tenör ve yoğunluk değerleri	81
Çizelge 4.14	YBD barit numunelerinin flotasyon kinetik çalışmaları	82
Çizelge 4.15	YBİ barit numunelerinin flotasyon kinetik çalışmaları	82
Çizelge 4.16	Çubuklu ve bilyalı değirmenlerde öğütülmüş barit numunelerinin flotasyon ürünlerin yoğunluk, tenör ve verim değerleri	84

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

t	: Öğütme süresi
N_c	: Kritik hız (dev/dak)
D	: Değirmen çapı
d	: Bilya/çubuk çapı
J	: Bilya/çubuk şarj oranı
U	: Bilyalar/çubuklar arasındaki boşluk oranı
f_c	: Malzeme şarj oranı
γ_{SH}	: Sıvı-hava arayüzey gerilimi, mN/m
γ_{KH}	: Katı-hava arayüzey gerilimi, mN/m
γ_{KS}	: Katı-sıvı arayüzey gerilimi, mN/m
γ_c	: Kritik ıslanma yüzey gerilimi, mN/m
θ	: Temas Açısı
W_k	: Kohezyon işi
W_a	: Adhezyon işi
θ_i	: İleriye giden temas açısı
θ_g	: Geriye giden temas açısı
m	: Bir damlanın ağırlığı, gr
v	: Bir damlanın hacmi, cm ³
r	: Büret çapı, mm
F	: Düzeltme faktörü
f	: Karakteristik değer
G_p	: Piknometre ağırlığı
G_{pn}	: Piknometre ve numune ağırlığı
G_{pns}	: Piknometre, numune ve sıvının ağırlığı
G_{ps}	: Piknometre ve sıvı ağırlığı
m_c	: Zisman temas açısı ölçüm eğrisinin (cosθ- γ _{SH} eğrisi) eğimi
DIA	: Dynamic Image Analysis, dinamik görüntü analizi
SEM	: Scanning Electron Microscope, Taramalı Elektron Mikroskobu
MIBC	: Metil izobutil karbinol (Methyl Isobutyl Carbinol)
HCl	: Hidroklorik asit
NaOH	: Sodyum hidroksit
BaSO₄	: Baryum sülfat
Na₂SiO₃	: Sodyum silikat
C	: Dairesellik (circularity)
BRAR	: Sınırlayıcı Dikdörtgen En-Boy Oranı(Bounding Rectangle Aspect Ratio)
k	: Flotasyon kinetiği miktar hız sabiti

1. GİRİŞ

Barit endüstrisi, 19. yüzyılda Amerika Birleşik Devletleri'nde başlamış olup, 1845 yılında boya sanayiinde kullanılmak üzere ilk barit üretimi yapılmıştır. 1908 yılında ise sondaj çamurunda kullanılmasıyla üretim ve tüketimde önemli artışlar başlamıştır.

Barit, baryum elementinin en yaygın minerali olan baryum sülfattır (BaSO_4). Barit mineralleri metalik olmayan cevherler içinde yoğunluğu en yüksek olan minerallerdir ve $4.45\text{-}4.5 \text{ gr/cm}^3$ yoğunluğa sahiptir (Ciullo, 1996). Aynı zamanda, X ışınlarına karşı opaklığı, inertliği ve beyazlığı nedeniyle yaygın olarak kullanılan önemli bir inorganik kimyasal üründür (Qi ve ark., 1996). Moh's sertlik skalasındaki değerine göre düşük sertlik değerine sahiptir (Moh's 3-3,5) Yüksek ısı ve basınç altında kimyasal sabitliğini koruması, su ve asitlerde düşük çözünürlüğü önemli avantajları arasındadır. Manyetik özelliğinin olmaması ve uygun maliyetlerde temini onun çeşitli endüstrilerde de giderek yaygın şekilde kullanımını sağlamıştır (Katırcıoğlu ve ark., 2018).

MTA'nın 2017 verilerine göre, Türkiye'deki barit rezervi görünür + muhtemel olarak 34.222.792 tondur (ÖİKR, 2018). Ülkemizin sahip olduğu bu önemli barit rezervi genellikle sondaj çukuru açma işlemlerinde sondaj sıvısı olarak kullanılmakta, yüksek katma değere sahip ürünlere dönüştürülmeden ihraç edilmektedir. Bu durum, öğütme işlemlerini enerji sarfiyatı açısından, barit cevherleri için daha da önemli hale getirmektedir.

1.1 Barit Cevheri ve Özellikleri

Barit; BaSO_4 kimyasal bileşiminde olup, ortorombik kristalli bir mineraldir. Barit mineralleri birçok farklı oluşum şekillerine sahiptir. Eksalatif sedimanter ve volkano sedimanter oluşumlu barit yatakları denizaltı volkanizması ile ilgilidir. Sedimentasyon sırasında ortama gelen volkanitlerle birlikte barit kristalizasyonu da oluşarak çökmektedir. Burada baryumun ana kaynağı volkanik gazlar ve çözeltilerdir. Hidrotermal-sedimanter barit yataklarında, hidrotermallerin kaynağı plütonik kayalar ya da yeraltı sularıdır. Bu yataklarda barit; pirit, sfalerit, galenit gibi minerallerle birlikte bulunabilir (Amstutz, 1963). Damar tipi olan hidrotermal barit yatakları hipojen-epijenetik karakterli olup, barite kuvars, kalsit, siderit, flüorit gibi mineraller eşlik eder

(Kuzvart, 1984). Bunun yanı sıra rezidüel barit yatakları, sedimanter barit yatakları, lateral-segresyon tipi barit yatakları gibi yataklanma şekilleri görülebilmektedir. Türkiye'deki barit yatakları rezerv yeterliliği, yüksek tenörü, beyaz rengi, endüstriyel üretimi ve kullanım alanı açısından önemli bir hammaddedir.

Çeşitli şekillerde (tabakalı, iğnemsî veya masif) bulunan barit camsı parlaklıkta, renksiz ve saydam yapıdadır. Saf halde iken beyaz olup, kahverengiye dönüşen sarı, kırmızımsı ve mavimsi renklerde de olabilir. Bunun nedeni içerisinde bulunan diğer mineraller ve/veya metallerdir. Nispeten sert olan barit cevheri, yüksek saflık değerlerine sahip ise yarı saydamdır.

Barit cevheri içerisindeki başlıca safsızlıklar, kuvars yapısı, çeşitli sodyum ihtiva eden kil yapıları ve sülfat safsızlıklarıdır (Demirci ve Özel, 2015). Cevher içerisinde bulunan safsızlıklara göre farklı fiziksel özellik göstermektedir. Kütlece yüzde safsızlık değerine göre Moh's sertliği, saydamlığı gibi özellikleri saf cevhere göre farklılık göstermektedir. Ayrıca cevherin indirgenme işlemi sırasında tane boyutu ve yapısı da önemlidir. Agregada şeklinde kullanılan cevherin, indirgenme işlemi sırasında reaksiyon kinetiklerini etkilediği, gerçekleştirilen çalışmalar ile aydınlatılmıştır (Esen ve Yılmaz 2010). Çizelge 1.1' de barit cevherinin sahip olduğu fiziksel özellikler listelenmiştir.

Çizelge 1.1. Barit cevherinin fiziksel özellikleri(Anonim, 2014)

Fiziksel Özellikler	Baritin Özellikleri
Molekül ağırlığı	233.34 g/mol
Görünüm	İnce beyaz kristal
Koku	Kokusuz
Yoğunluk	4,48 g/cm ³
Kaynama noktası	1360°C
Suda çözünübilirlik	0,0024 g/100ml (20°C su)
Çözünürlük	H ₂ SO ₄ içerisinde az
Moh's sertliği	2,5-3,5
Saydamlık	Yarı saydam
Radyoaktivite	Radyoaktif değil

1.2 Baritin Kullanım Alanları

Endüstriyel minerallerden biri olan barit mineralleri, kullanılan sektörler bazında düşünüldüğünde en yüksek pazar payı olan sondaj çamurunda kullanımıdır. Bu nedenle, ince öğütülmesinin kaçınılmaz olduğu bilinmektedir. Sektörel anlamda en yüksek pazar payı, sondaj çamuru olmasına karşın küçük ölçekli olarak, kimyasal, cam, kauçuk, boya vb. gibi birçok sektörde kullanım alanı bulmaktadır (Kyle, 1994). Bu pazar, dolgu malzemesi, kimyasallar ve seramikler olarak üç ana uygulamadan oluşmaktadır. Barit endüstrisinin bu yönlerinin derinlemesine incelemeleri, (Sibbing (1975), Brobst (1989), Massone (1982) ve Griffiths (1984) tarafından yapılmıştır.

Türkiye yaklaşık 34.2 milyon ton barit rezerviyle dünya toplam barit rezervinin yaklaşık % 2'sine sahiptir. Bu rezervler öğütülmüş, ufalanmış veya ham, yüksek kalitede barit içermektedir. Barit yatakları Konya, Maraş, Muş, Antalya, Sivas ve Kütahya illerinde bulunmaktadır. En önemli barit tüketicilerinin yakınında yer alan Türkiye, ihracat için iyi imkânlarla sahiptir.

Baritin kullanım alanları olan sondajlık, dolguluk ve kimyasal olarak Dünya pazarında tüketimi sırayla, % 90 sondaj, % 7 kimya ve % 3 dolgu sektörüdür. Kaba haliyle ya da sadece yıkama, sudan geçirme, eleme, yüzdürme ve manyetik ayırma gibi basit işlemlerden geçirilen barit ilk ürün olarak alıcı bulmaktadır. Kaba hâldeki baritin çoğunluğu minimum bir saflığa ve yoğunluğa ulaşana kadar işleminden geçirilir. Ağır çimento olarak kullanılan barit ufalandıktan sonra elenerek aynı büyüklüğe getirilir. Baritin çoğu öğütülerek sanayi ürünlerinde katkı malzemesi olarak ya da petrol veya doğalgaz kuyularını açarken ağırlık yapan katkı malzemesi olarak kullanılır. Barit boya ve kâğıt yapımında da kullanılır. Her ne kadar baritin içinde ağır metal olan baryum bulunsada, baryumun düşük çözünürlüğü nedeniyle birçok hükümet tarafından toksik maddeler arasında sayılmaz.

Dünya barit üretiminin % 85-90'ı sondaj sektöründe sadece öğütülerek kullanılmaktadır. Baritin yoğunluğunun yüksek olması, aşındırıcılığının düşük olması, yüksek basınç ve ısıya karşı stabil olması, kolay ve uygun maliyetle elde edilebilmesi sondaj sektöründe yaygın olarak tüketilmesine olanak sağlamaktadır. Cam endüstrisinde değişik baryum bileşikleri kullanılmaktadır. Özellikle preslenmiş camlarda, baryum oksit kurşun oksitten daha fazla parlaklık sağlamaktadır. Boya sanayiinde badana tipi boyalarda, beyazlatıcı pigment olarak, yağlı boyalarda inceltici olarak kullanılmaktadır. Öğütülmüş baritin

sentetik kauçukla karıştırılması ve asfalt ilavesiyle, havaalanı pistleri ve yüksek standartlı yol kaplamaları yapılmaktadır. Baryumun X-ışınlarını zararsız hale getirme özelliğinden dolayı röntgen çekimlerinde, nötronları engelleme özelliğinden dolayı atom reaktörlerinde kullanılır. Lastik sanayisinde dolgu malzemesi olarak kullanılan barit, seramik sanayisinde seramik cılası olarak kullanılır. Baritin kimya sanayisinde de önemli bir kullanımı mevcuttur. Litofon, baryum hidroksit, baryum siyanat, baryum kromat, baryum nitrat vs. eldesinde kullanılır. Cam endüstrisinde kullanılan barit, 16-20 mesh (1190-841 µm) boyutlarında öğütülmelidir. % 98 BaSO₄, en fazla % 1.5 SrO₂, % 0.15 Al₂O₃, % 0.15 Fe₂O₃ değerlerine sahip olmalıdır. Kimya sanayinde kullanılan baritin BaSO₄ oranı % 95'den fazla ve tane boyutu 4-20 mikron arasında olmalıdır (ÖİKR, 2018).

Dünya üzerinde sondajda kullanılan barit, API 13A uluslararası standardına göre, Türkiye'de ise TS 919 standardına göre üretilmektedir.

1.3 Baritin Türkiye ve Dünya'daki Rezervleri

Türkiye barit rezervleri açısından oldukça zengin bir ülkedir. Dünya rezervleri ile kıyaslandığında 2. büyük ülke olan Türkiye, barit üretimi olarak da 7.sırada yer almaktadır (ÖİKR, 2018).

Türkiye'deki barit cevherlerinin tenör aralığı % 71-99 BaSO₄ içeriğine sahiptir. Yıllar bazında barit üretimi ise Çizelge 1.2'de verilmiştir.

Çizelge 1.2. Yıllara göre Türkiye'deki barit üretim miktarları (ÖİKR, 2018)

Yıl	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Miktar(ton)	250.786	1.677.221	736.316	203.984	655.943	321.239

Türkiye'de Adana Feka ilçesi Belen köy Mahallesinde, Konya İlmen Mahallesinde, Antalya iline bağlı Alanya- Gazipaşa ilçeleri çevresinde, Giresun ilinde, Muş ilinde, Çanakkale ilinde, Bayburt ilinde, Isparta ilinde, Sivas ilinde ve Ereğli ilçesinde barit yatakları bulunmaktadır. Son olarak da Batman'ın Sason ilçesin'de 288.000 ton rezerv bulunmuştur.

TÜİK verilerine göre 2017 yılında Türkiye'nin endüstriyel hammadde ihracatı toplam 925.6 Milyon \$'dır. 2017 yılı barit ihracatımız ise 27,2 Milyon \$ olup; Azerbaycan, Mısır,

Kanada, İtalya ve Brezilya ihracatımızda ilk sıralarda yer almıştır.(Kalkınma Bakanlığı, 2018). Buna karşılık barit ithalatı aynı yıl verilerine göre 4.522,435 kg'dır.

Dünya'da şu anda tanımlanmış ve bilinen barit rezerv miktarının 550 milyon ton olduğu, ancak tüm dünya rezervinin ise 2 milyar ton olduğu tahmin edilmektedir. Dünya barit rezervleri Çizelge 1.3'te verilmiştir.

Çizelge 1.3. Dünya barit rezervleri (U.S. Geological Survey, 2020)

ÜLKELER	REZERVLER
	(Milyon Ton)
Türkiye	35,000
Çin	36,000
Hindistan	51,000
İran	24,000
Kazakistan	85,000
Pakistan	26,000
Rusya	12,000
Diğer Ülkeler	30,000
Toplam	299,000

1.4 Barit Cevherinin Öğütülmesi

Öğütme bir maden işletmesinin maliyetlerinin enerji sarfıyatı açısından yaklaşık % 30-50'sini oluşturmaktadır (Aldrich, 2013; Jeswiet ve Szekeres, 2016). Minerallerin öğütülmesi için, çok sayıda öğütücü üreticisi ve birkaç öğütücü cihaz bulunmaktadır. Ama tüm bu alternatifler arasında doğru seçim yapmak ciddi bir sorundur (Deniz vd., 2005). İnce öğütme büyük miktarda enerji tükettiğinden ve yüksek aşınmaya neden olabileceğinden, güncel araştırmaların çoğu bu bilimsel ve teknik sorunlara odaklanmıştır (Austin,1984).

İnce öğütmede en yaygın kullanılan değirmen tipi konvansiyonel bilyalı değirmenlerdir. Ancak, bilyalı değirmenlerde kullanılan en küçük bilya boyutu 25 mm olmasından dolayı, değirmen içindeki çarpma hareketlerinden öğütülen cevhere aktarılacak enerji, küçük

boyutlarda küçültme için yeterli olmamaktadır. Küçük tanelerin ufalanmasında basınç ve kesme kuvvetleri gereklidir. Çarpma ve aşınma kuvvetlerinin baskın olduğu bilyalı değirmenlerde öğütme iri boyutta kalmaktadır. Bilyalı değirmenlerin ekonomik öğütme sınırları 100 μm 'ye kadardır. Bu sınırların altına inildiğinde bilyalı değirmenlerin spesifik enerjileri üstel olarak artış göstermektedir (Liddell, 1986). Bilyalı değirmenlerde öğütme, bilyaların cevher taneleri ile noktasal teması sonucunda gerçekleşmektedir. Yeterli süre verilmesi durumunda bu değirmenler ile istenilen incelikte ürün alınabilmektedir. Bu yüzden bilyalı değirmenler ile 50 mikrometrenin altına öğütme yapmak mümkündür. Çubuklu değirmenlere göre daha ince ürün veren bu değirmenlerde boyun çapa oranı 1 ile 1.5 arasında değişmektedir. Genel olarak ince öğütmelerde değirmenin boyu daha uzundur. Çubuklu değirmenlerde, malzeme çubukların arasında bir hat boyunca öğütüldükleri için daha homojen ürünler elde edilirken, çubuklar arası boşluklar diğer konvansiyonel değirmen tiplerine göre daha az olduğundan öğütme verimi daha yüksek olmaktadır (Hacıfazlıoğlu, 2009).

Kuru öğütme uygulamaları kimya endüstrisi, mineral endüstrisi ve çimento üretimi için oldukça önemlidir. Bilyalı, otojen ve yarı otojen değirmenlerin matematiksel modellemesi ile ilgili pek çok çalışma bulunmasına rağmen, çubuklu değirmenler üzerine yapılan çalışmalar çok sınırlıdır (Benzer ve Ersayın, 1997). Ayrıca öğütme işlemlerinde değirmenlerde çoğalan ince tanelerin artması nedeniyle, öğütme zorlaşmakta ve hatta durmaktadır (Yekeler, 1995). Bu duruma kırılğan yapıda olmayan çimento klinkerlerinin birkaç saat öğütüldükten sonra daha fazla boyut küçültmenin sağlanamadığı örnek olarak gösterilebilmektedir. Bazı araştırmacılar (L.G. Austin, 1981) (Austin ve Bagga, 1981), bu durumu yavaşlama etkisi teorisi ile açıklamışlardır. Bazı barit minerallerinin içinde yüksek oranda bulunan kuvars minerallerinin öğütme süresi ve yavaşlama etkisinde önemli rol oynadığı görülmektedir.

Öğütme, öğütme ortamı, değirmen çeperi ve malzeme arasındaki temasın bir sonucu olarak gerçekleşir. Bu nedenle, öğütme ortamında, öğütme ortamı ve değirmen çeperi, öğütme ortamı ve partiküller, partiküller ve değirmen çeperi arasında ve birden çok partikül arasında çarpışmalar meydana gelebilir (Metzger, 2013). Öğütme işlemi, partiküllerle ortam parçacıkları – çubuklar veya bilyalar arasındaki göreceli hareketle indüklenir. Bu hareket, öncelikle çarpma sonucu oluşan kırılma veya birincil olarak ezilme ve aşındırmanın neden olduğu kırılma olarak karakterize edilebilir (King, 2001).

1.5 Barit Cevherinin Zenginleştirme Yöntemleri

Barit cevherinin zenginleştirilmesinde uygulanan yöntemler; elle ayıklama, yoğunluk farkına göre ayırma, manyetik ayırma ve flotasyondur. Genellikle zenginleştirme sürecinin verimi, tane boyutu küçüldükçe düşme gösterdiğinden, cevherin hazırlanmasında düşük kırma oranlarında ve kapalı devre olarak çalışan çeneli veya konik kırıcıların kullanılması kırılabilir bir mineral olan baritte oldukça önemlidir. Ayrıca baritin serbestleşme boyutunun da bilinmesi gerekmektedir. Zenginleştirme yöntemleri arasında en yaygın kullanım alanı bulan yöntemlerin başında yoğunluk farkına göre ayırma yöntemi gelmektedir. Bu yöntem, mineral taneleri arasındaki özgül ağırlık farklılığı kullanılarak yapılan zenginleştirme (ağır ortam, jig, sarsıntılı masa veya spiraller vb.) işlemleridir. Bir diğer yöntem olan, manyetik ayırma ile zenginleştirme yönteminde ise, baritin yantaşlarının manyetik özellik gösterdiği durumlarda yararlanılmaktadır. Böylece manyetik özellik göstermeyen barit numuneleri yantaşlarından kolaylıkla ayrılabilir. Baritin flotasyon ile zenginleştirilmesi de oldukça yaygın kullanılan bir yöntemdir. Liç ile zenginleştirme yöntemi ise barit cevherleri için ekonomik olmadığı için uygulama alanı bulamamıştır.

Baritin zenginleştirilmesinde uygulanan yöntemler ve uygulandıkları tane boyutları Çizelge 1.4'te gösterilmektedir.

Çizelge 1.4. Tane boyutuna göre barit zenginleştirme yöntemleri

Zenginleştirme Yöntemi	Maksimum ve Minimum Tane Boyutu (mm)	Yararlanılan Özellik
Triyaj	-50	Boyut, renk
Ağır ortam	50-0.550	Özgül ağırlık
Jig	50-0.500	Özgül ağırlık
Sarsıntılı masa	3-0.050	Özgül ağırlık
Spiral	0.500-0.050	Özgül ağırlık
Flotasyon	1-0.010	Minerallerin yüzey/arayüzey özellikler
Manyetik ayırma	1-0.020	Manyetik özellik
Yıkama/dağıtma		Suda dağıtılabilirlik

1.5.1 Elle ayıklama ile zenginleştirme

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

1.5.2 Yoğunluk farkı ile zenginleştirme

Mineral taneleri arasındaki özgül ağırlık farklılığı kullanılarak yapılan zenginleştirme işlemidir. Barit zenginleştirmesinde ağır ortam, jig, sarsıntılı masa veya spiraller kullanılabilir. Bu zenginleştirme yönteminde verimli çalışabilmesi için öncelikle cevherin dar tane boyutlarına sınıflandırılması gerekir. Barit ve değersiz mineralin zenginleştirme kriterinin 1.25'in üstünde olduğu durumlarda verimli bir şekilde ayırma işlemi yapılabilir (Özdağ, 1991).

1.5.3 Manyetik ayırma ile zenginleştirme

Cevherlerin zenginleştirilmesi açısından büyük öneme sahip olan manyetik ayırma yöntemi ile zenginleştirme, gittikçe önem kazanan bir prosestir. Daha önceleri sadece paramanyetik mineraller için kullanılan bu yöntem, artık çok düşük manyetik duyarlılığa sahip olan birçok cevherde kullanılmaktadır. Gelişmeler ile birlikte 50000 Gauss'a (5 Tesla) kadar yükseltilmiş manyetik alan şiddetlerinin varlığı bilinmektedir (Mular vd., 2002). Bu tip cihazlar, çok ince boyutlu olan barit cevherleri için de kullanılabilir (Hacıfazlıoğlu, 2011).

1.5.4 Flotasyon ile zenginleştirme

Baritin zenginleştirilmesi için yaygın kullanılan yöntemlerden biri de flotasyon ile zenginleştirmedir. Bilindiği üzere flotasyon ile zenginleştirme işlemlerinde minerallerin fizikokimyasal yapısı oldukça önem arz etmektedir. Bu durum, partiküllerin kristal yapıları, kırma ve öğütme işlemleri sonrasında gösterecekleri, kırılma davranışları ve şekil ve morfolojik özellikleri, flotasyon kimyasalları ile temas anındaki tutunma miktarını doğal olarak da flotasyon verimini ciddi oranda etkilemektedir. Minerallerin yüzey kimyasının iyi bilinmesi ve doğru analiz edilmesi başarılı bir flotasyon işlemi için önemlidir. Flotasyon verimini etkileyen diğer faktörler örneğin; pH, reaktif dozajı ve çeşidi gibi parametrelerin etkileri literatürde ayrıntılı olarak yer almaktadır.

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

Kuvars, florit ve karbonatlardan, baritin seçimli flotasyonu alkali ortamda (pH 9-11), alkali sülfat ve sülfonat gibi toplayıcılarla başarı ile yapılabilir. Ortama ilave edilen $BaCl_2$ ise baryumu canlandırmak için kullanılmaktadır (Atak, 1982).

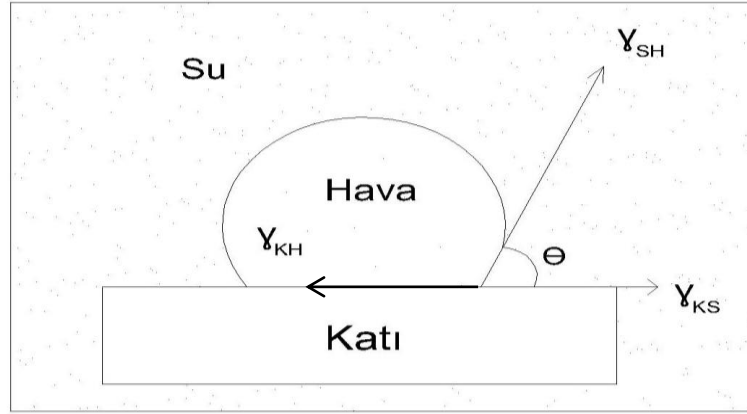
Demir oksitli minerallerden baritin flotasyonu ise yüksek pH'ta (pH 11) sodyum silikat (Na_2SiO_3) kullanılarak yağ asitleri ile yapılabilir. Tamamen temiz bir konsantre elde edebilmek için ya seyreltik sülfürik asit ile liç yapılarak demir oksitler çözeltiye alınır, ya da asidik ortamda (pH 3) sülfonatlarla demir oksitler yüzdürülür. Kuvars-Barit flotasyonunda, tannik asit, quebracho ve sodyum silikat çok iyi birer düzenleyici kimyasal olarak kullanılabilir. Sodyum silikat, silikatları bastırarak çeşitli değersiz mineralleri canlandıran Ca^{2+} katyonlarının etkisini yok ederek dağıtma özelliği gösterir (Kurama, 1991).

Petrol sülfonat bazik ortamda, yağ asitli sülfonat asidik, nötr ve bazik ortamda, alkali sülfat bazik ortamda, sodyum lorat asit, nötr ve bazik ortamda, yağ asitleri ise nötr ve bazik ortamda başarılı olarak kullanılabilir.

1.6 Minerallerin İslanma Özellikleri ve Kritik İslanma Yüzey Gerilimi Değeri

1.6.1 Temas açısı ve yüzey enerjileri

Mineral tanelerinin ıslanabilmesi, flotasyon, aglomerasyon ve katı-sıvı ayrımı gibi birçok prosesi etkileyen, önemli bir parametredir (Fuerstenau ve ark., 1991). Mineral tanelerinin hidrofobluğu veya hidrofiliği, katı-sıvı-hava sistemindeki ilişkiye dayanmaktadır. Cevher hazırlama işlemlerinde temas açıları, yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. Bunun için; ilk kez 1805 yılında Thomas Young tarafından yapılan temas açısı ölçümleri, günümüzde hala katı ve sıvı arasındaki enerji etkileşimini en doğru ifade eden yöntem olarak kabul görmektedir. Young denkleminde göre, fazlı temas hattında temas açısı yüzey gerilimlerinin dengesi ile belirlenebilmektedir (Young, 1805). Şekil 1.1'de Young eşitliği üç fazlı yüzeyde gösterilmektedir.



Şekil 1.1. Temas açısının sulu ortamda katı ve damla arasındaki üç fazlı yüzeyde şematik görünümü.

Young denklemine göre 3 fazlı temas hattında temas açısı yüzey gerilimlerinin dengesi ile belirlenir. Buna göre Young eşitliği Eşitlik 1.1'deki formül ile temsil edilmektedir.

$$\gamma_{KH} = \gamma_{KS} + \gamma_{SH} \cos\theta \quad [1.1]$$

Burada;

γ_{KH} : katı ile hava arasındaki yüzey gerilimi

γ_{KS} : katı ile sıvı arasındaki yüzey gerilimi

γ_{SH} : sıvı ile hava arasındaki yüzey gerilimi ve

θ : temas açısıdır.

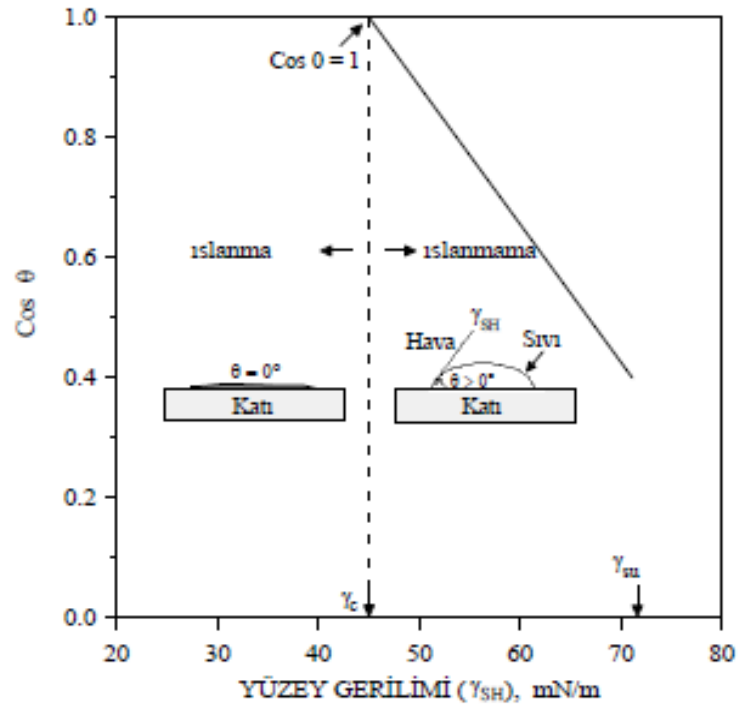
Temas açısı adı verilen bu açının büyüklüğü, sıvının kendi molekülleri arasındaki çekim kuvvetleri (kohezyon) ile sıvı-katı arasındaki çekim kuvvetlerinin (adhezyon) göreceli büyüklüğüne bağlıdır.

Flotasyon sistemlerinde katı-sıvı-hava üçlü faz mevcuttur. Bu üç fazın dengede olması Young eşitliği ile açıklanmakta ve üç fazın cebirsel toplamı sifara eşit olmaktadır. Açının büyük olması numunelerin hidrofobik olduğunu gösterirken, açının 0 (sıfır) veya sıfıra yakın olması mineral tanelerinin hidrofilik davrandığını göstermektedir.

1.6.2 Kritik ıslanma yüzey gerilimi değeri ve belirleme yöntemleri

Katıların veya mineral tanelerinin yüzebilme ve/veya ıslanabilme parametreleri birçok deneysel ve ampirik teknikle tahmin edilebilmektedir. Bunlardan biri de kritik ıslanma yüzey gerilimi (γ_c) değeridir. Bu değer, saf suyun yüzey gerilimi (~ 72 mN/m) baz

alınarak, γ_c değeri 72 mN/m'den büyük olan minerallerin hidrofilik, düşük olan minerallerin ise hidrofobik davrandığını göstermektedir. Kritik ıslanma yüzey gerilimi değeri ise Zisman temas açısı ölçüm yöntemi, flotasyon tekniği, ıslanma süresi yöntemi, hava kabarcığı toplama yöntemi, film flotasyonu yöntemi, otomatik ıslanma terazisi yöntemi ve modifiye edilmiş Hildebrand- Scott eşitliği yöntemi ile belirlenmektedir (Özkan, 2001). Fakat en yaygın kullanılan yöntemler Zisman temas açısı ölçüm yöntemi ve flotasyon tekniğidir. Bu çalışma da ise, kritik ıslanma yüzey gerilimi değerleri (γ_c) Zisman temas açısı ölçüm yöntemi ile belirlenmiştir. Bu yöntemde, önceden yüzey gerilimleri belirlenmiş sıvı veya çözeltiler kullanılarak peletlenmiş katı numunelerin temas açıları ölçülmektedir. Elde edilen temas açılarının (θ) kosinüs değerine karşı sıvıların sıvı hava yüzey gerilimi (γ_{SH}) eğrisi çizilmektedir. $\cos \theta$ 'nın 1'e eşit olduğu noktaya γ_{SH} değerinin ekstrapolasyonu ile katının kritik ıslanma yüzey gerilimi (γ_c) değeri bulunmaktadır (Shafrin vd., 1960). $\cos \theta$ 'nın 1'e eşit olması katı yüzeyinin kullanılan sıvı tarafından tamamen ıslatıldığı anlamına gelmektedir. Sıvının katı yüzeyine tamamen yayılması ile tam ıslanma anındaki bu değer, katının kritik ıslanma yüzey gerilimi değerini vermektedir (Shafrin vd,1960; Zisman, 1964). Şekil 1.2'de kritik ıslanma yüzey gerilimi değerinin nasıl bulunduğu gösterilmektedir.



Şekil 1.2. Katının γ_c değerinin temas açısı ölçüm yöntemi ile belirlenmesi (Shafrin vd., 1960).

Mineral ne kadar hidrofobik davranırsa, temas açısı da bir o kadar büyük olmaktadır (Taggart vd.1930). Temas açısının katı düz bir yüzeyde ölçümü yapıldığında damla çapı ile ölçülen temas açısı arasında ters bir orantı olduğu görülmüştür. Ölçülen damlanın çapı büyüdüğünde temas açısı düşmektedir. Bunun sebebi, damlaya etki eden yer çekimi kuvvetidir (Leja vd., 1960).

Temas açısı ile ölçüm tekniğinde, mineralin topoğrafyası ve yüzey koşulları, çalışmaları etkileyebilmektedir (Drelich vd. 2017). Bunun nedeni katıların yüzey heterojenliğinin histerezise neden olmasıdır. Temas açısı histerezisi, gerileyen ve ilerleyen olarak ölçülen iki açı arasındaki fark olarak tanımlanmaktadır. Bu nedenle temas açıları ölçümlerinde ilerleyen ve gerileyen açıları arasındaki ölçüm süresi mümkün olduğunca kısa tutulmalıdır.

1.7 Baritin Çeşitli Yöntemlerle Zenginleştirilmesi, Şekil ve Morfolojik Özellikleri

Partikül morfolojisini oluşturan şekil ve pürüzlülük gibi faktörlerin flotasyon verimindeki etkilerini inceleyen çalışmalar, henüz yeterli miktarda olmamakla beraber, flotasyon için öneminin anlaşılmasıyla, artmakta ve mekanizmaları yavaş yavaş oluşturulmaktadır.

Bu tez kapsamında, partiküllerin şekil ve morfolojik özellikleri incelenerek, flotasyon işlemlerinde kimyasallar ile tutunma yapıları hakkında bilgi sahibi olabilmek amacıyla, dinamik görüntü analiz yöntemi (Dynamic Image Analysis (DIA) ve Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) ile tüvenan cevherler ve flotasyon sonrası ürünler (konsantre ve artık) üzerinde araştırmalar yapılmıştır.

Flotasyon ile zenginleştirme işlemlerinde, partikül morfolojisinin verime etkileri incelenirken, aynı zamanda farklı değirmen ürünlerinin de flotasyon verimi üzerindeki etkileri incelenmiştir. Böylece farklı değirmen tiplerindeki ürünlerin morfolojisindeki değişimlerin çeşitliliği, flotasyon verimi üzerindeki etkilerini ayrı ayrı değerlendirme olanağı bulmuştur.

Bu tezin amacı, farklı cevher zenginleştirme yöntemleri ile baritin zenginleştirilme olasılıklarının ve partikül morfolojisinin farklı öğütme ortamlarına bağlı olarak değerlendirilmesini yaparak flotasyon verimi üzerindeki etkilerinin araştırılmasıdır.

Bu çalışmada, mineral endüstrisinde boyut küçültmede yaygın olarak kullanılan bilyalı ve çubuklu değirmenlerle farklı içeriklerdeki barit cevherlerinin öğütülmesi sonucu, kırılma parametreleri ile öğütme kolaylığı/zorluğu karşılaştırmalı olarak araştırılmıştır.

Zenginleştirme işlemlerine en uygun tane boyut dağılımının hangi öğütme sürelerinde elde edilebileceğinin belirlenmesi ve değirmenlerde verimli öğütme için yavaşlama etkisinin incelenmesi amaçlanmaktadır.

Uygun boyutlara öğütülen barit cevherlerinin, farklı zenginleştirme yöntemleri kullanılarak tenör değerlerinin yükseltilmesi amaçlanmaktadır. Bu yöntemler sırasıyla gravite farkı ile zenginleştirme yöntemlerinden biri olan sarsıntılı masalar, yantaşları dikkate alınarak yapılan manyetik ayırma ile zenginleştirme yöntemi ve flotasyon ile zenginleştirme yöntemleridir. Özellikle flotasyon ile zenginleştirme işlemlerinde, minerallerin fizikokimyasal, arayüzey özelliklerinden yararlanıldığı için, zenginleştirme işlemlerinden önce, minerallerin; Gonyometre cihazı ile temas açısı ölçümü yöntemi kullanılarak kritik ıslanma yüzey gerilimlerinin belirlenmesi amaçlanmaktadır. Ayrıca Dinamik Görüntü Analizi (Dynamic Image Analysis (DIA)) ve Taramalı Elektron Mikroskobu (Scanning Electron Microscope (SEM)) ile şekil ve morfolojik özelliklerinin belirlenmesi ve zenginleştirmeye olan etkilerinin incelenmesi hedeflenmiştir.

1.8 Barit Standartları

Barit standartlarının içinde en yaygın ihtiyaç duyulana, sondaj sektöründe, sondaj çamuru katkı maddesi olarak TS 919 (revizyona alınmıştır) ve/veya uluslararası API 13A standardıdır. Kullanılan diğer Türk standartları ise şöyledir;

1. TS EN ISO 3262-2: Boyalar için dolgu maddeleri- Özellikler ve deney yöntemleri- Bölüm 2: Barit (doğal baryum sülfat),
2. TS EN ISO 13500: Petrol ve doğalgaz sanayii - Sondaj çamuru maddeleri - Özellikler ve deneyler,
3. API 13A: Dünya üzerinde sondajda kullanılan barit.
4. TS 3504: Bu standart, barit cevherlerinin konveyör, vagon ve gemilerle taşınması sırasında numune alma ve hazırlama yöntemlerini kapsar.
5. TS 5633: Bu standart, lastik sanayiinde kullanılan öğütülmüş bariti kapsar. Diğer sanayi dallarında kullanılan baritleri kapsamaz.
6. TS 5632: Bu standart, cam imalinde kullanılan barite dairdir. Diğer sanayi dallarında kullanılan baritleri kapsamaz.
7. TS EN 12912: Mamüller - İçme ve kullanma sularının arıtımında kullanılan – Barit.

Baritin parlak olması istenirse filtre keki beyazlatılmalı (bleached) veya liç edilmelidir. Paketlemeden önce kuru öğütme gerekebilmektedir. Eğer barit sondaj çamuru olarak

kullanılacaksa üzerindeki flotasyon reaktiflerinden arındırılmalıdır. Aksi takdirde bu durum sondaj çamurunda köpürmeye sebep olabilir. Eğer kurutma ısısı 204-260 °C'ye çıkarılırsa bu sorun giderilebilir (Kaya, 1960).



2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Barit minerallerinin öğütülmesi, zenginleştirilmesi ve şekil ve morfolojik özelliklerinin belirlenebilmesi amacıyla ulusal/uluslararası birçok çalışma yer almaktadır. Tez kapsamında derlenen kaynaklar aşağıda verilmiştir.

2.1 Öğütme Çalışmaları

Barit maden T.A.Ş'den alınan barit mineralinin ince boyutlara öğütülmesinde standart S ve B test metodu kullanılarak yapılan bir çalışmada kırılma parametreleri belirlenmiştir. -850+600 μm , -600+425 μm ve -425+300 μm 'lik tek boyut fraksiyonlarına hazırlanmış barit numuneleri 25 mm çapında çelik bilyaların kullanıldığı 194 mm iç çapındaki bir değirmenle yaklaşık % 98'inin 38 μm altına geçebilecek şekilde kuru olarak öğütülmüştür. 6 dakika öğütme koşullarında spesifik kırılma hızı (S_i) ve toplam kırılma dağılım fonksiyonu (B_{ij}) değerleri elde edilerek diğer endüstriyel minerallerden kalsit ve kuvars ile karşılaştırılarak kırılma parametreleri ve kolay/zor kırılabilirliği karşılaştırılmıştır. Buna göre S_i değerleri açısından barit, kuvarsa göre daha çabuk öğütülebilmektedir. Barit için elde edilen S_i değeri -850+600 μm için 0.99 dk^{-1} olarak belirlenerek, baritin daha kırılğan bir yapıya sahip olduğunu vurgulamaktadır (Yekeler ve Sönmez, 1997).

Isparta Başer Maden'den elde edilen barit numuneleri üzerinde yapılan bir çalışmada, % 98 barit tenörlü bir cevher çok az miktarda kil mineralleriyle kuvars içermektedir. Öğütme testlerinde bond iş indeksi hesaplanmış ve barit tozlarının kolay öğütülebilirliği gösterilmiştir. Barit numunelerinin öğütülmesi için uygun bilya çapı 15mm, bilya doluluk oranı değeri $J=0,35$ 'te hızlı bir öğütme olduğu belirtilmiştir. Bu çalışmada farklı bilya çapı ve bilya doluluk oranının öğütme kinetiği parametrelerini değiştirebileceği gösterilmiştir (Deniz, 2012).

Kalsit ve barit numunelerinin kuru bilyalı değirmende öğütülmesi ile ilgili çalışmada bilyalı değirmen hacminin % 20'si 46, 26 ve 12,8 mm çapında çelik bilyalarla doldurulmuş ve 74 d/d dönüş hızı ile çalışılmıştır. Barit numuneleri için tane boyut fraksiyonları -850 + 600 μm , -600 + 425 μm ve -425 + 300 μm 'dir. Değirmende kullanılan 26 mm çaplı, bilyalı öğütme sonucu en iyi S_i değeri -850 + 600 μm fraksiyonu için 0.99 dk^{-1} bulunmuştur. -425 + 300 μm fraksiyonu için ise S_i değeri 0.66 dk^{-1}

bulunmuştur. Barit için tüm boyutların ortalamasında B_{ij} değerleri aynı kalmış ve ϕ , γ ve β değerleri sırasıyla 0,69, 0,81 ve 3,94 bulunmuştur. Ayrıca bilyalı değirmende öğütülen barit numuneleri için yavaşlama etkisi 2 dakika olarak belirlenmiştir (Teke vd., 2002).

Kuvarsın kırılma parametreleri üzerine yapılan bir çalışmada, 1,3 mm'nin üzerindeki besleme boyutları için, özgül kırılma oranı kuvars için, çubuklu değirmende bilyalı değirmenden daha yüksek, ancak bu boyutun altında özgül kırılma oranı daha düşük olduğu bildirilmiştir (Quast vd., 1998).

2.2 Flotasyonla Zenginleştirme Çalışmaları

Beyşehir-Şarkikaraağaç bölgesinde özel bir firmaya ait barit cevherinin zenginleştirilerek, sondaj çamuru spesifikasyonuna uygunluğu ve diğer uygulama alanlarındaki kullanılabilirliğinin araştırıldığı bir çalışmada, tüvenan numune ana bileşen olarak, % 77,86 $BaSO_4$, % 14,21 CaO , % 2,32 SiO_2 , % 1,96 Fe_2O_3 içermektedir. Boyut küçültme ve sınıflandırma işlemlerinin ardından optimum koşullarda yapılan flotasyon deneyleriyle % 95,80 $BaSO_4$ tenörlü barit konsantresi % 86,40 $BaSO_4$ kazanma verimiyle elde edilmiştir. Elde edilen barit konsantresinin sondaj çamuru, cam ve kimya sektöründe de kullanılabilir nitelikte olduğu gösterilmiştir. (Özkan vd., 2004).

Şarkikaraağaç (Isparta)'da bulunan Başer Maden Sanayinin şlam artıklarından baritin kazanılmasının amaçlandığı bir çalışmada, numuneler üzerinde, toplayıcı türü, toplayıcı miktarı, pH ve bastırıcı miktarının flotasyona olan etkisi araştırılmıştır. Sonuç olarak, % 94'ün üzerinde $BaSO_4$ tenörlü barit konsantresine, % 48 verimle üç aşamalı temizleme ile ulaşılabileceği ortaya çıkmıştır (Deniz, 2004).

Gümüşköy gümüş yatağında bulunan baritin flotasyonla kazanılması olanaklarının incelendiği bir çalışmada, öğütme süresinin, şlam atmanın, kollektör ve bastırıcı tipinin ve miktarlarının barit flotasyonuna etkisi araştırılmıştır. Sonuç olarak, 100 meşin (150 μm) altında serbestleşen barit numunesi Denver-Sub A laboratuvar tipi flotasyon makinasında pH 9'da, kollektör olarak A845'den 600g/t, bastırıcı olarak sodyum silikattan 670 g/t kullanarak % 97,86 $BaSO_4$ tenörü % 76,27 verimle elde edilmiştir (Delice ve Özbayoğlu, 1995).

Beylikahır bölgesi barit ve fluorit minerallerinin zenginleştirilme olasılıklarının araştırıldığı bir çalışmada, Devebağutan ve Küçükhöyük Tepe sektörlerinden alınan numunelerin rezervleri oranında karışımından oluşan kompozit cevher % 52,47 CaF_2 ve

% 25.40 BaSO₄ içermektedir. Yalnız gravite veya yalnız flotasyon yöntemlerinin uygulanmasıyla yüksek tenörlü konsantreler elde edememiş, ancak gravite, flotasyon ve manyetik ayırma yöntemlerinin sırasıyla kombinasyonu sonucu % 90.00 BaSO₄ tenörlü barit cevheri % 49.56 verimle ve % 91.85 CaF₂ tenörlü fluorit cevheri % 51.98 verimle elde edebilmişlerdir. Üretilen barit konsantresinin sondaj çamurunda kullanılacak standartları taşıdığı gösterilmiştir (Özbaş ve Özbayoğlu, 1995).

Kalsit, barit ve kuvars minerallerinin flotasyonunda ultrasonik dalgaların etkilerinin tek ve karışık mineraller halinde araştırıldığı bir çalışmada, araştırmalar süresince barit mineralinin flotasyonunda; köpürtücü olarak çam yağı 50 g/t kullanılmış, kollektör olarak sodyum oleat 250, 280, 325 ve 365 g/t dozajda kullanılmıştır. pH ayarlayıcı olarak sodyum hidroksit (NaOH) kullanılmış ve pH 10'da çalışılmıştır. Pülpte katı oranı % 40, karıştırma hızı 1100 rpm'de çalışılmıştır. Baritin kuvarsla % 12 oranında karıştırılarak yapıldığı flotasyon çalışmalarında ise kollektör dozajı 560 g/t'a, bastırıcı dozajı ise 380 g/t'a yükseltilmiştir. Sonuç olarak, flotasyon verimlerinin, tüm mineraller için toplayıcı miktarı arttıkça artış gösterdiği söylenmiştir (Gürpınar vd., 2004).

Kollektör yüzey kaplamasının ve yüzey pürüzlülüğünün, partikül-hava yapışması ve hava kabarcığından partikülün kopma olasılığı üzerindeki olasılıklarının incelendiği bir çalışmada, pürüzlülük ve yüzey heterojenliğinin, partikül-kabarcık yapışmasını ve hava kabarcığından partikülün kopma olasılığını artırabileceği ya da azaltabileceğini belirtmiştir. Bununla birlikte ideal olmayan yüzeyler, heterojenlik ve pürüzlülüğün seviyesi mikroskobik veya moleküler ölçek düzeyine göre partikül kabarcık yapışmasının yorumlanmasını, partikülden hava kabarcığının kopma olasılığını karmaşıktırmaktadır. Bunun yanı sıra, yapışma işindeki ve ayrılma olasılığındaki farklılıkların, pürüzlülük ve heterojenlik veya tahmini temas açısına bağlı olabileceğini belirtmiştir (Nikolaev, 2016).

Tasarladıkları Kanada sütun hücresi ve Partridge-Smith hücresinin bir kombinasyonu olan mikro kolon hücresi ile yapılan bir çalışmada flotasyon deneylerini ve gonyometre ile temas açısı ölçümleri, talk, sülfür ve kimyasal olarak işlenmiş kalsit ve barit mineralleri için yapılmıştır. Barit için elde edilen verilere bakılacak olursa kollektör olarak sodyum dodesil sülfat, miktar olarak 300 mg/L kullanılarak maksimum verim % 86,3 olmuştur. Baritin kritik ıslanma yüzey gerilimi ise gonyometre ile temas açısı ölçüm

tekniki ile 31,2 mN/m, yeni tasarlanan flotasyon hücresi ile 34,5 mN/m bulunmuştur (Özkan ve Yekeler, 2003).

Konya - Kuyucak yöresinden elle toplanan saf barit numunesinin temas açısı ölçümü ve FTIR spektrometri analiz sonuçlarına bağlı olarak ham barit cevheri üzerinde mekanik flotasyon deneyleri yapılmış çalışmada, barit yüzeyine kimyasal adsorblandığı belirlenen anyonik tip Aero 730 toplayıcısı ile kabul edilebilir seviyede bir hidrofobiklik elde edilebildiği belirlenmiştir. Sistematik flotasyon deneyleri sonucunda, flotasyona etki eden fiziksel ve kimyasal değişkenlerin (pH, hava akış hızı, bastırıcı, toplayıcı ve köpürücü türü ve miktarı) optimum değerleri bulunmuştur. Optimum flotasyon şartlarında yapılan flotasyon deneyinde % 92,59 BaSO₄ içeren bir konsantre üretimi mümkün olmuştur. Ayrıca flotasyon verimine tane boyutunun etkisini belirlemek için 75+53µm, -53+38µm ve -38µm tane boyutundaki örneklerle optimum flotasyon koşullarında flotasyon deneyleri yapılmış ve tane boyutu ile konsantre kalitesi arasındaki ilişki incelenmiştir. Tane boyutunun küçülmesiyle konsantre tenörünün azaldığı gösterilmiştir (Toklu ve Çilek, 2010).

Mevcut moleküler modelleme araçlarına dayanan bilimsel bir tasarım metodolojisini, belirli bir flotasyon ayırma problemi için en uygun reaktif kombinasyonlarına ulaşmak için yapılan bir çalışmada, bu yaklaşımın gücü ve faydası, esas olarak alkil hidroksamatlarla, mineral flotasyonu üzerine yapılan çalışmalardan alınan örneklerle gösterilmiştir. Burada kullanılan birçok mineralin yanında barit minerallerinin flotasyon çalışmaları da yapılmıştır (Pradip ve Beena, 2003).

Önemli endüstri minerallerinden florit, barit ve kalsit mineralleri çoğu zaman birlikte bulunurlar. Bu minerallerin benzer yüzey özellikleri nedeniyle seçimli olarak ayrılması zordur. Bu nedenle bu çalışma kapsamındaki, flotasyon çalışmalarında, valonea özütü ve sodyum fluosilikat bastırıcı, sodyum oleat ise toplayıcı olarak kullanılmıştır. Tek mineral flotasyonları sonucunda barit üzerinde sodyum fluosilikatın güçlü bastırıcı özelliği olduğu görülmüştür. Baritin floritten ve kalsitten ayrılması için, baritin bastırılması ve floritin yüzdürülmesi için $>3 \times 10^{-5}$ mol/L sodyum fluosilikat kullanılabildiğini göstermişlerdir (Ren vd., 2017).

Baritin kalsitten flotasyonla ayrılması için yapılan çalışmada, bastırıcı olarak AWG (acidified water glass) ve toplayıcı olarak sodyum oleat kullanılarak yapılan bir araştırmada, mikro flotasyon sonuçlarına göre, sodyum oleat hem barit hem de kalsit için

toplayıcı kabiliyeti yüksek, AWG ise kalsit için bastırıcı kabiliyeti yüksek davranmıştır (Deng vd., 2019).

Bir çalışmada, Nijerya Nasarawa Eyaleti'ndeki Azara barit cevherlerinin jig, köpük flotasyonu ve liç ile zenginleştirilmesi araştırılmıştır. Cevher üzerindeki kimyasal analizler % 53.09 Ba ve % 11.52 S içerdiğini ve özgül ağırlık değerinin 3.207 ± 0.03 olduğunu göstermiştir. Jig işleminden sonra, alt akış 3.77 ± 0.029 ve taşma özgül ağırlık değerleri 2.77 ± 0.058 iken, Ba ve S sırasıyla % 78.61 ve % 15.87'ye yükselmiştir. Köpük flotasyonundan sonra, elde edilen özgül ağırlık değerleri, sırasıyla pH 5, 7 ve 9 değerlerine karşılık 3.95, 4.1 ve 4.05 bulunmuştur (Mgbemere vd., 2018).

Baritin kalsitten flotasyonla ayrılması için, toplayıcı olarak sodyum dodesil sülfat ve bastırıcı olarak sodyum silikat kullanılmış bir çalışmada, sonuçlar, sodyum dodesil sülfatın hem barit hem de kalsit için yüksek toplayıcı kabiliyeti olduğunu göstermiş ve baritin kalsitten ayrılması için sodyum dodesil sülfatın tek başına kullanılamayacağı gösterilmiştir. Bastırıcı olarak sodyum silikat, sodyum dodesil sülfatın varlığında pülpün pH'ı 9'a ayarlandığında kalsit için seçici bir bastırıcı etkisine sahip olduğu gösterilmiştir. Kapalı devre testleri ile % 24.5 BaSO₄ içeren gerçek bir cevherden % 95.54 BaSO₄ içeren bir konsantre, % 86.11'lik bir verim ile elde edilebileceği belirtilmiştir (Chen vd. 2017).

Hidrofilik baryum sülfat (BaSO₄) bileşiklerinin topraktan uzaklaştırılması için flotasyon uygulamasının incelendiği bir çalışmada, mikro-flotasyon testleri, mekanik karıştırıcılı bir makine kullanılarak ve yapay olarak kirlenmiş toprak kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Test edilen flotasyon parametreleri, kollektör tipi ve dozajı, kondisyonlama süresi, flotasyon süresi ve pülp pH'ını içerir. Sonuç olarak tek kademeli flotasyonla 80-100µm aralığındaki toprak partiküllerinden empüritelerin % 85'inin giderilebileceği gösterilmiştir (Labidi, 2018).

Barit için sodyum heksadesil sülfatın çok spesifik bir toplayıcı olduğu çünkü hem çok düşük bir toplayıcı konsantrasyonu gerektirdiği hem de flotasyon pH'dan çok az etkilendiği gösteren bir tez çalışmasında, baritin yüzdürme verimi, demir safsızlıkları nedeniyle incelenen 3 farklı fraksiyon için belirgin farklılıklar göstermiştir. Demir oksit şamları tercihen yüzdürme davranışlarını değiştiren daha kaba parçacıklara yapışır. Baritin daha ince boyutlu fraksiyonunda, şamların yüzdürme geri kazanımı üzerinde çok az etkisi olduğunu göstermiştir. Barit üzerindeki elektroforetik deneylerin ve yüzdürme deneylerinin, daha ince boyutlu fraksiyonlarda birbiriyle iyi ilişkili ve toplayıcının daha

yüksek bir geri kazanım ile sonuçlanan temel pH değerlerinde kimyasal adsorpsiyonu olduğunu göstermiştir (Mohal, 1984).

Cezayir ekonomisi ve yeraltı zenginliklerinin değerlendirilmesi amacıyla baritin zenginleştirilmesi üzerine bir çalışma yapılmıştır. Baritin tek başına ve başka mineraller ile kompozisyonlarının flotasyonla zenginleştirilmesi çalışmalarına yer verilen bu çalışmada, beslenen barit % 82,4 BaSO₄ ve % 5,5 SiO₂ içeriğine sahiptir. Barit iki aşamalı flotasyon ile zenginleştirilmiştir. Flotasyonda farklı toplayıcı tipleri kullanılmıştır. Sodyum dodesil sülfat da bunlardan biridir. Kaba flotasyon konsantresinin tenörü % 95,1 ve verim % 89,4 iken, temizleme kademesi sonrası, tenör % 97,7'ye yükselirken verim % 68,9'a gerilemiştir (Kecir vd., 2015).

Saf barit ve yapay karışimli barit numunelerinin hücre ve kolon flotasyonu çalışmalarına yer verilmiş bir çalışmada, flotasyonda farklı reaktif ve dozajlarının yanı sıra pülpün pH'ı üzerine bir çalışma yapılmıştır. Kullanılan toplayıcı reaktiflerden biri de sodyum dodesil sülfattır ve 200 g/t dozajda çalışılmıştır. pH aralığı 6-9,5 arasında değişmekte ve sodyum dodesil sülfat için en iyi pH değeri 9,5 olarak bulunmuştur. Barit flotasyonun da kullanılan reaktiflerden Petronate L ve Sulfofon T35'ten de oldukça iyi sonuçlar alınmıştır. Bir diğer çalışmasına ek olarak barit cevherleri kolon flotasyonu ile zenginleştirilmeye çalışılmış ve % 82,2 BaSO₄ ve %7 SiO₂ içeren barit numuneleri, % 97,3 BaSO₄ ve % 0,6 SiO₂ tenöre % 99 verim ile getirilmiştir (Kecir vd., 2016).

Eskişehir bölgesindeki kompleks barit ve florit cevherlerinin flotasyonunda pH'ın etkisinin incelenmiş olduğu bir çalışmada kompleks cevher örneklerinin flotasyon ile zenginleştirilmesi esnasındaki tenör ve verim değerleri, kimyasal analizler ve kütle dengliği ile hesaplanmıştır. Kullanılan kompleks cevher örneklerinin barit (BaSO₄) içeriği % 25,40 ve florit (CaF₂) içeriği % 52,47'dir. Yapılan çalışmalarda pülpün doğal pH'ı 8 olarak belirlenirken, deneyler 4 ile 11 pH aralığında yapılmıştır. Pülpün asitliği ve bazikliği HCl ve NaOH ile ayarlanmıştır. Toplayıcı olarak 850 g/t S-3903 ve köpürtücü olarak 65 g/t MIBC (Methyl Isobutyl Carbinol) kullanılmıştır. En iyi sonuçlar pH 8'de elde edilmiştir. Barit numunesinin tenörü % 48,61 verimle % 34,11'e yükseltilmiştir (Özbaş ve Hiçyılmaz, 2014).

Arizona'daki kompleks barit-florit cevherlerinin zenginleştirilmesinin incelendiği bir çalışmada, numune % 24.8 CaF₂ ve % 24.3 BaSO₄ içermektedir. Bir dizi deney sonucu barit cevherlerinin zenginleştirilmesi çalışmalarında gang minerallerini bastırmak için

sodyum silikat ve toplayıcı olarak petrolüym sülfonat kullanılan deney sonucunda % 69,0 BaSO₄ tenörü % 42,6 verimle elde edilmiştir ve yoğunluk 3,93 gr/cm³ olarak bulunmuştur. Barit konsantresindeki tenörün arttırılması amacıyla barit flotasyonundan önce florit yüzdürölerek ayrılmış, böylece barit numunesinin tenörü % 78 verim ile % 84,5'e yükseltilebilmiştir. Fakat yoğunluk düşük olduğundan sondaj çamuru için yeterli olmadığı görölmüştür. Florit artıklarından baritin yüzdürölmesi deneylerinde kullanılan sodyum setil sülfat ile baritin % 73,2 verim ile % 94,8 tenöre yükseltildiği daha temiz konsantreler daha yüksek yoğunlukla (4,33 gr/cm³) elde edilmiştir (Bloom vd., 1963).

Bir başka çalışmada, Mehdiabad kahverengi barit cevherlerinin flotasyon yöntemiyle sondaj sektörü için uygun yoğunluğa getirilebileceği araştırılmıştır. Taguchi deneysel modelleme yönteminin flotasyon testlerine uygulanmasıyla çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmanın sonuçlarına göre, beslenen barit yoğunluğu (4,065 g/cm³), doğrudan flotasyon yöntemiyle 4,44 g/cm³'e, ters flotasyon yöntemiyle 4,35 g/cm³'e çıkabileceğini göstermişlerdir (Molaei vd., 2018).

Türkiye'nin Beyşehir bölgesindeki yüksek kaliteli barit mineralinin kullanılmış olduğu bir çalışmada, numune % 94.22 BaSO₄ tenörlüdür. Microflotasyon testlerinde kullanılan barit numunelerinin yüzdüröllebilmeleri için toplayıcı olarak A-845 (Cytec) süksinamat, pH 10.5'de 66 g/t olarak kullanılmıştır. Otojen ve bilyalı değirmenlerde öğütölün barit partiküllerinin morfolojik özellikleri sırasıyla yüzey pürüzlölülüğü ve keskinliği açısından Brunauer – Emmett – Teller (BET) azot adsorpsiyonu ve Permaran yöntemleri olmak üzere üç boyutlu yöntemlerle incelenmiştir. Deneysel çalışma, otojen olarak öğütölümüş ürünlerin daha düşük pürüzlölülüğe ve keskinliğe sahip olduğunu göstermiştir. Öte yandan, farklı ortamlarda öğütölün bu partiküllerin yüzdüröllebilirliğini değerlendirmek için Hallimond tüp ile yüzdürme testleri yapılmıştır. Morfolojik testler ve flotasyon testleri, pürüzsüz yüzeylere sahip parçacıkların daha iyi yüzebildiğini göstermiştir (Hıcıylmaz vd., 2005).

Bulgaristan Chelopechene bölgesinde bulunan artık göletinden yüksek kaliteli barit elde edilebilirliğinin araştırılması için yapılan bu çalışmada, flotasyon yöntemi kullanılmıştır. Barit flotasyonuyla, % 95'in üzerinde BaSO₄ tenörü % 0,82-1,52 Fe içeriğiyle % 64 verimle elde edilebilmiştir. Bunun için ALP 611 toplayıcısı veya ALP 611 ile Chemopen 3467 reaktiflerinin karıştırılması ile elde edilen OMC 199 reaktifi kullanılmıştır.

Böylelikle üretilen barit, uluslararası A ve B sınıfı standartlarını karşılamıştır (Grigороva, Dzhamyarov, ve Ivan 2015).

2.3 Manyetik Ayırma ile Zenginleştirme Testleri ile İlgili Çalışmalar

Bulgaristan (Kremikovsky) ve Ukrayna (Kerch) bölgesindeki limonit cevherinin manyetik ayırma ile zenginleştirilmesi çalışmalarında, karmaşık mineral yapısına sahip cevherlerin içerisinde demir oksitler, manganez oksitler, baryum ve kurşun oksitler, barit, kuvars vd. gibi birçok mineral yer almaktadır. Buna rağmen limonit cevherlerinin 1,2 Tesla (T) ile 1,7 Tesla arasında zenginleştirilebileceği gösterilmiştir (Maliy ve Bogdanova, 1992).

İstanbul-Çatalca-Akalan bölgesindeki kuvarsit cevherinden cam endüstrisinde kullanılabilecek bir ürün elde etmek için demir minerallerinin uzaklaştırılmasında yaş ve kuru yüksek alan şiddetli manyetik ayırıcıların etkisi incelenmiştir. Numunenin kimyasal analizi, % 97,35 SiO₂, % 1,66 Al₂O₃, % 0,16 Fe₂O₃, % 0,13 TiO₂, % 0,07 MgO içerdiğini göstermiştir. Ayrıca, numunenin mineralojik analizi çoğunlukla kuvars ve az miktarda da demir mineralleri (hematit, ilmenit, turmalin) içerdiğini ortaya koymuştur. Deneylerde - 0,5 mm +0,212 mm; -0,212 mm + 0,106 mm; -0,106 mm boyutlu numuneler kullanılmıştır. Yaş manyetik ayırma deneylerinde pülpte katı oranı % 10 olarak belirlenmiştir. Manyetik alan şiddeti; 10200 Gauss (5 amper), 15200 Gauss (10 amper), 17200 Gauss (15 amper), 18400 Gauss (20 amper), 19000 Gauss (25 amper) olarak değiştirilmiştir. Her bir boyut için yaş ve kuru yüksek alan şiddetli manyetik ayırma testleri gerçekleştirilmiş, bu testlerden elde edilen sonuçlar da kuvarsit cevherinin zenginleştirilmesinde en iyi ayırma yöntemini bulmak için mukayese edilmiştir. Sonuç olarak; kuru manyetik ayırma deneylerinde yaklaşık 14000 Gauss'da, yaş manyetik ayırma deneylerinde 19000 Gauss'da bir manyetik alan şiddeti uygulandığında istenilen Fe₂O₃ yüzdesi elde edildiği gözlemlenmiştir (Eskibalcı ve ark., 2013).

Mehdiabad kahverengi barit cevherlerinin yüksek alan şiddetli yaş manyetik ayırma yöntemiyle sondaj sektörü için uygun yoğunluğa getirilebileceği araştırılmıştır. Bu çalışmanın sonuçlarına göre, beslenen barit yoğunluğu (4,065 g/cm³), yüksek alan şiddetli yaş manyetik ayırma ile 4.2 g/cm³' e çıkabileceğini göstermişlerdir (Molaei vd. 2018).

El-Gedida demir cevherlerinden barit ve silis minerallerinin temizlenmesi ve yüksek konsantride demir elde edilebilmesi için manyetik ayırma ve sarsıntılı masalar kullanılmıştır (El-Rahiem, F., 2001).

Boya endüstrisine yönelik baritin renklendirici safsızlıklarından arındırılması için kuru ve yaş yüksek alan şiddetli manyetik ayırma yapılan bu çalışmada, manyetik ayırmanın tek başına istenilen standartlarda ürün vermediğini fakat % 15 HCl ile konsantrasyonunda 15 dakika HCl ile ağırtılması sonucu tenör % 68,05'ten % 90,12'ye yükseltilmiştir (Deniz ve Güler, 2018).

2.4 Şekil Faktörü ve Islanabilirlik ile İlgili Çalışmalar

Bazı partikül şekillerinin daha yüzebilir olup olmadığını, partiküller ve hava kabarcıkları arasında tutunmayı sağlamak için gereken indüksiyon sürelerindeki farklılıkları bir milli-Zamanlayıcı (Milli-Timer) kullanılarak yapılan çalışmada, metillenmiş küresel ve açısallı borosilikatlar kullanılmıştır. Parçacık şeklinin kısmen öğütmeye bağlı olduğu ve yapılan testler sonucunda partiküllerin köşeli hale geldiklerinde, kabarcığa yaklaştıkça indüksiyon süresinin kısaldığı gözlemlenmiştir (Verrelli vd. 2014).

Otojen ve bilyalı değirmende öğütülen barit tanelerinin şekil ve morfolojik özelliklerinin araştırıldığı bir çalışmada, taramalı elektron mikroskobu kullanılmıştır. Bu çalışma sonucunda, otojen değirmen ürünlerinin daha yuvarlak ve eksensel eşitlik derecesi daha yüksek, bilyalı değirmen ürünlerinin ise yassılığı ve göreceli uzunluğu daha yüksek bulunmuştur. Bilyalı değirmen ürünlerinin daha pürüzlü taneler verdiğini göstermiştir (Bilgen, vd., 1995).

Bazı endüstriyel minerallerden olan barit, talk ve kuvarsın yüzey pürüzlülüğü ve ıslanabilirliği arasındaki ilişkiyi inceleyen bir çalışmada, bu mineraller örneklerinin, yüzey pürüzlülüğü ve ıslanabilirlik testleri için üretmek üzere, bilyalı, çubuklu ve otojen değirmenlerde öğütme yapılmıştır. Bu minerallerin yüzey pürüzlülük değerleri, HB103-Surtronic3+ yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazı kullanılarak öğütülmüş tozların peletlenmiş yüzeyleri üzerinde belirlenmiştir. Farklı değirmenler de öğütülmüş bu minerallerin ıslanabilirlik özellikleri(γ_c), EMDEE MicroFLOT karıştırıcısı kullanılarak flotasyon tekniği ile belirlenmiştir. Deneysel sonuçlar, bu minerallerin hidrofobiklik derecesinin, azalan yüzey pürüzlülüğü ile arttığını ve daha pürüzlü yüzeylere sahip partiküllerin, kullanılan değirmen tipinden bağımsız olarak daha yüksek ıslanabilirliğe yol açtığını ortaya koymuştur. Çalışmalar, barit numunelerinde en düşük kritik ıslanma yüzey

gerilimi değerini bilyalı değirmenlerin verdiğini göstermiştir. Yüzey pürüzlülüğü açısından da değirmenler kıyaslandığında bilyalı değirmen en düşük değeri vermiştir (Ulusoy ve Yekeler, 2005).

Barit numunesi üzerinde yapılan deneysel bir çalışmada, numunelerin, daha yüksek Si (zgl kırılma hızı) değerine sahip olduklarında daha hidroforik davrandığını veya daha hızlı kırıldığını belirtmişlerdir. Numuneler incelidikçe, hidroforikliğin arttığı grlmştir. Sodyum dodesil sülfat (SDS) eltisi ile kaplanmış barit mineralinin değirmende öğütülmüş farklı besleme boyutlarındaki ürünleri için temas açısı lim verilerine göre kritik ıslanma yüzey gerilimi değerleri, 29.9–31.2 mN / m aralığında elde edilmiştir (Yekeler ve zkan, 2003).

Barit ve kalsit numuneleri üzerinde yapılan SEM ve mikro-flotasyon yöntemleri kullanarak yapılan deneysel çalışmalar sonunda, barit numunelerinin kritik ıslanma yüzey gerilimleri kıyaslanmış ve bilyalı değirmen ürünlerinin daha düşük değer verdiği grlmştir. Bilyalı değirmen ürünlerinin llen kritik ıslanma yüzey gerilim (γ_c), 28 mN/m bulunurken, ubuklu değirmenlerde bu değer 28,5 mN/m olarak bulunmuştur (Ulusoy vd., 2004).

Barit minerallerinin farklı değirmenlerde öğütme ürünlerinin şekil, pürüzlülük ve ıslanabilirlik özellikleri incelemiştir. Barit numunelerinin yüzeyleri, sodyum oleat ile kaplanmış ve temas açısı yöntemiyle kritik ıslanma yüzey gerilimi belirlenmiştir. Bilyalı değirmende 28 mN/m, ubuklu değirmenler de ise 28,5 mN/m olarak hesaplanmıştir (Ulusoy ve Yekeler, 2007)

Mineral işlemede yaygın kullanılan çeşitli değirmenlerle (bilyalı, ubuklu, otojen) ğtlen barit numunelerinin şekil analizi açısından incelendiği çalışmada dinamik görüntü analizi yöntemi kullanılmıştir. şekil parametreleri olarak en yaygın olan dairesellik (C) ve sınırlayıcı dikdörtgen en-boy oranı (BRAR) incelenmiştir. Bu verilere göre, bilyalı değirmenlerde öğütülmüş barit numunelerinin BRAR değerleri yüksek, C değerleri düşük bulunmuştur (Ulusoy, 2019).

Farklı değirmenlerde öğütülmüş talk minerallerinin, 2 boyutlu şekil parametrelerinin belirlenmesi açısından yapılan bir çalışmada taramalı elektron mikroskobu ve Malvern Morphologi- G3 cihazı kullanılmıştir. Talk minerallerinin yüksek hassasiyetli dairesellik değerleri kıyaslandığında, bilyalı değirmenlerin dairesellik değerleri 0,794, ubuklu

değirmenlerin 0,785 olarak ölçülmüştür. Bu verilere göre bilyalı değirmenlerin daha yüksek dairesellik değeri verdiği belirtilmiştir (Ulusoy vd., 2011).

Kalsit ve barit numunelerinin ıslanmasının yüzey pürüzlülüğü ile kritik ıslanma yüzey gerilimi arasında bulunan korelasyonun sunulduğu bir çalışmada, yüzey pürüzlülüğü Surtronic 3+ pürüzlülük ölçer cihazı, temas açısı ölçümleri içinde gonyometre cihazında peletlenmiş numuneler üzerinde çalışılmıştır. Barit cevherinin, farklı değirmen ürünlerinin de kıyaslandığı bu çalışmada, bilyalı değirmen ürünlerinin kritik ıslanma yüzey gerilimi değeri diğer değirmen ürünlerine göre düşük bulunmuştur. Ayrıca yüzey pürüzlülüğünün artması her iki mineral içinde ıslanabilirlik derecesini arttırmıştır (Ulusoy ve Yekeler 2004).

Kuvars partiküllerinin morfolojik özellikleri ile yüzdürme arasındaki korelasyon incelendiğinde, açısallık ve pürüzlülüğün partiküllerin yüzebilirliği üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu görülmüştür. Artan uzama oranlarının partiküllerin yüzebilirliğini arttırdığı belirlenmiştir (Güven vd. 2015).

3. MATERYAL VE METOT

3.1 Materyal

Deneylerde kullanılan barit numuneleri Sivas ilinden alınmıştır. Alınan örneklerin mineralojik ve kimyasal özelliklerinin belirlenmesi amacı ile akredite bir laboratuvar da kimyasal analizleri yapılmıştır. Akredite laboratuvar dan alınan yoğunluk değerleri ile piknometre ile hesaplanan yoğunluk değerleri grafiksel olarak değerlendirilmiş ve uyumlu olduğu görülmüştür. Bu nedenle, birbiri ile uyumlu olan yoğunluk değerleri ile buna karşılık gelen tenör değerleri bir grafik üzerinde gösterilmiş ve ekstrapolasyon tekniği ile tenör değerleri belirlenen formül yardımıyla hesaplanmıştır.

Elde edilen Analiz değerlerine bakıldığında, en yaygın gang mineralinin; kuvars (SiO_2) ve hematit (Fe_2O_3) olduğu saptanmıştır. Daha az oranlarda da Stronsiyum sülfat (SrSO_4), Kalsiyum oksit (CaO), Magnezyum oksit (MgO) ve Alüminyum oksit (Al_2O_3) olduğu gözlemlenmiştir.

Öğütme testlerinde kullanılan numunelere ait kimyasal analiz sonuçları Çizelge 3.1’de gösterilmiştir.

Çizelge 3.1. Öğütme deneylerinde kullanılan numunelerin kimyasal kompozisyonları

Mineral Adı	Bileşen				Özgöl Ağırlık g/cm^3
	BaSO_4	SiO_2	Fe_2O_3	Diğer	
	%	%	%	%	
B1	95,52	0,02	0,35	4,11	4,37
B2	79,82	5,12	6,41	8,65	3,98
B3	59,72	34,91	1,23	4,14	3,57
B4	58,36	36,81	0,93	3,9	3,54

Sarsıntılı masa ve manyetik ayırma ile zenginleştirmeler, aynı yataktan farklı zamanlarda alınan numuneler ile gerçekleştirilmiştir. Bu numunelere ait kimyasal analiz sonuçları

Çizelge 3.2’de ve flotasyon ile zenginleştirme testleri ile şekil analizi testlerinde kullanılan numunelere ait kimyasal analiz sonuçları Çizelge 3.3’te verilmektedir.

Çizelge 3.2. Sarsıntılı masa ve manyetik ayırma deneylerinde kullanılan numunelerin kimyasal kompozisyonları

Mineral Adı	Bileşen				Özgül Ağırlık g/cm ³
	BaSO ₄	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Diğer	
	%	%	%	%	
YB4	70,57	23,41	0,98	5,04	3,70
YB2	89,79	0,11	3,76	6,34	4,34

Çizelge 3.3. Flotasyon deneylerinde kullanılan numunelerin kimyasal kompozisyonları

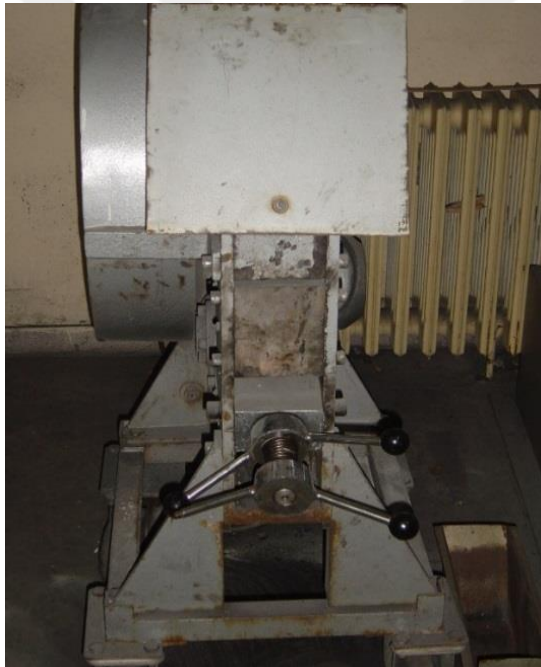
Mineral Adı	Bileşen				Özgül Ağırlık g/cm ³
	BaSO ₄	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Diğer	
	%	%	%	%	
YBD	59,90	25,04	2,03	13,03	3,67
YBD(-1180+300µm)	53,97	30,54	1,99	13,50	-
YBD(-300+212µm)	60,52	25,13	2,18	12,17	-
YBD(-212+150µm)	62,06	22,11	2,25	13,58	-
YBD(-150µm)	64,75	20,58	1,98	12,69	3,81
YBİ	87,71	1,70	3,10	7,49	4,33
YBİ(-1180+300µm)	87,90	1,91	2,86	7,33	4,34
YBİ(-300+212µm)	85,96	1,94	3,99	8,11	-
YBİ(-212+150µm)	85,10	2,03	4,80	8,07	-
YBİ(-150µm)	88,19	1,42	2,93	7,46	4,39

Flotasyon ile zenginleştirilecek ve şekil analizi yapılacak barit numunelerinin tane boyut fraksiyonlarına göre ayrı ayrı tenör değerleri bulunmuştur.

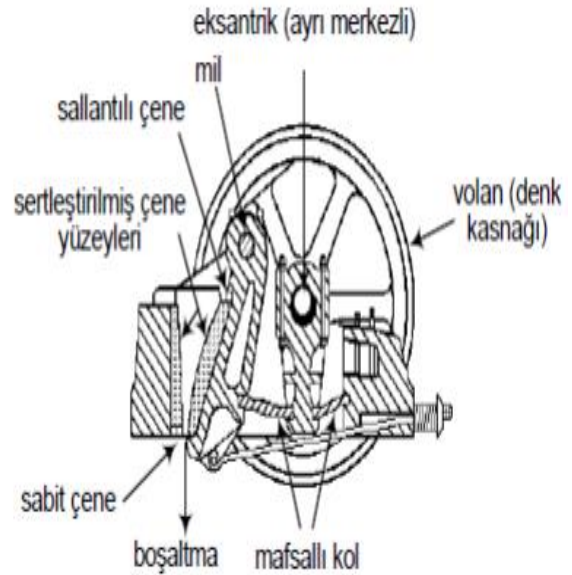
3.2 Numune Hazırlama İşlemleri

3.2.1 Kırma işlemleri

Ocaktan gelen iri boyutlu numunelerin, öğütme işlemlerine hazır hale getirilmesi için kırma işlemi ile başlanılmıştır. Kırma işlemleri için Cumhuriyet Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü, Cevher Hazırlama Laboratuvar'larındaki çeneli kırıcı kullanılmıştır. Maksimum tane boyutu 10 cm olan numuneler kırıcı yardımıyla 2.5 cm'nin altına indirilerek öğütme işlemlerine hazır hale getirilmiştir. Şekil 3.1'de çeneli kırıcının (Alfa marka) genel görünümü (a) ve kesit görünümü (b) verilmektedir.



(a)



(b)

Şekil 3.1. Deneylerde kullanılan çeneli kırıcının (a) genel görünümü (b) şematik kesit görünümü (Kimya teknolojisi, 2012).

3.2.2 Öğütme işlemleri

Ocaktan gelen numunelerin kırma işlemleri yapıldıktan sonra öğütme işlemleri için bilyalı, çubuklu değirmen ve halkalı öğütücü kullanılmıştır. Öğütme özelliklerinin belirlenmesi için 4 farklı içerik ve tenöre sahip olan B1, B2, B3 ve B4 barit numuneleri kullanılmıştır. Zenginleştirme işlemlerine numune hazırlanması amacıyla bilyalı ve çubuklu değirmenler kullanılırken, kimyasal analizler için halkalı öğütücüler

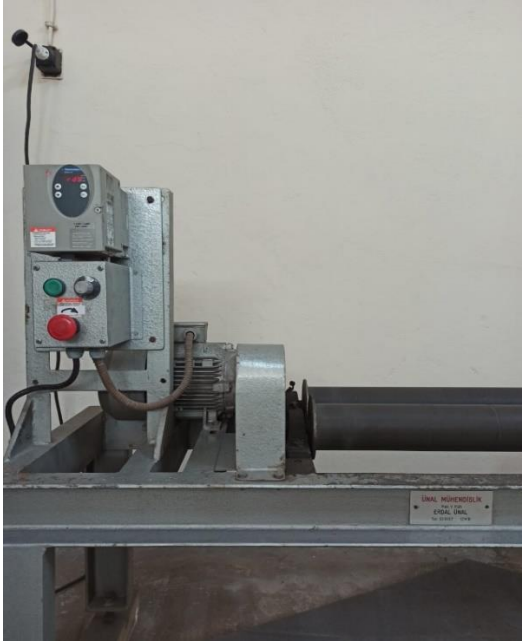
kullanılmıştır. Deneysel aşamalarda kullanılacak olan barit numuneleri, zenginleştirme türüne göre içerikleri göz önünde bulundurulduğundan farklılık göstermiştir. Deneylerde kullanılan öğütme ekipmanları olan bilyalı değirmen (a), çubuklu değirmen (b), değirmen döndürme sehpası (c) ve halkalı değirmen (d) Şekil 3.2’de gösterilmiştir.



(a)



(b)



(c)



(d)

Şekil 3.2. Öğütme işlemlerinde kullanılan (a) bilyalı değirmenler (b) çubuklu değirmen (c) değirmen döndürme sehpası (d) halkalı değirmen.

3.2.3 Elek analizleri

Cevher hazırlama işlemlerinde elek analizleri önemli bir yer tutmaktadır. Barit minerallerinin, gerek öğütme işlemleri gerek öğütme sonrası kırılma özelliklerinin belirlenmesi, gerekse zenginleştirme işlemlerine uygun boyutta numuneler hazırlanabilmesi için elek analizleri oldukça önemlidir. Barit cevherlerinin elek analizleri, Retsch® marka 200 mm çaplı standart elekler ile yapılmıştır. Elekler $\sqrt{2}$ serisini takip ederek hazırlanmıştır. Kullanılan elek seti 850 μm , 600 μm , 425 μm , 300 μm , 212 μm , 150 μm , 106 μm , 75 μm , 53 μm ve 38 μm 'lik eleklerden oluşmaktadır.

Cevher hazırlama işlemlerinde büyük önem arz eden eleme işlemleri, her mineral için farklılık göstermektedir. Çünkü her cevherin, kendine özgü şekil, nem oranları, kil içerikleri ve kritik tane boyutları bulunmaktadır. Bu nedenle, gerek endüstriyel çapta gerekse laboratuvar çalışmalarında, cevher için eleme kinetiği çalışması yaparak eleme verimi arttırılmaktadır. Bu nedenle öğütme deneylerinden önce numuneler için optimum eleme süresi belirlenmiştir. Bu nedenle hazırlama ve zenginleştirme işlemlerinden önce, barit cevherleri için eleme kinetiği çalışmaları yapılmıştır.

Optimum eleme süresinin belirlenmesinin sağladığı avantajlar; gereksiz zaman kaybını, enerji sarfiyatını, eleme süresinin artmasıyla eleklerde meydana gelen topaklanmayı, artan eleme sürelerinde elek üzerinde doğal bir ufalama işleminin başlamasını, daha az öğütme sürelerinde, ince boyutlu partiküllerin, iri boyutlu eleklerden ayrılmaya fırsat bulamamasını, verimin düşmesini engellemektir. Bu nedenle, temsili barit numunesine 150 μm 'lik ve 38 μm 'lik referans elekler kullanılarak, elek üzerinde kalan malzeme miktarı sabit kalana kadar eleme işlemi yapılmış, elek üzerinde kalan malzemenin eleme süresine bağlı değişimi gözlenerek, numune için eleme süresi belirlenmiştir.

Eleme işlemleri, önce kuru olarak yapılmıştır. Fakat -106 μm boyutlarında meydana gelen tıkanma, körlenme ve otomatik eleme esnasında meydana gelen topaklanmalar nedeniyle yaş eleme ile devam edilmiştir. Eleme testlerinde yardımcı ekipmanlar olarak, elek üzerindeki titreşimi ve süpürmeyi sağlaması amacıyla delrin diskler ve plastik toplar kullanılmıştır. Yapılan tüm ön testler sonucunda elek analizlerine yaş ve yardımcı ekipmanla devam edilmesi uygun bulunmuştur.

Eleme kinetiği çalışması sonucunda, barit cevherleri için optimum eleme süresi 10 dakika olarak belirlenmiştir. Elek analizlerinde kullanılan elek sarsma cihazı ve elek serisi Şekil 3.3'te gösterilmektedir.

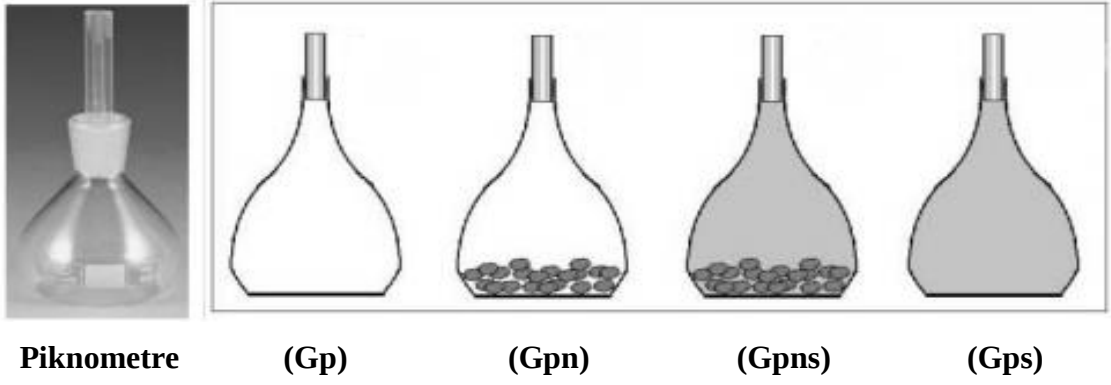


Şekil 3.3. Elek sarsma cihazı ve kullanılan Retsch® marka eleklerin set halinde genel görünümü.

3.2.4 Piknometre ile yoğunluk tayini

Piknometre ile yoğunluk tayini testlerinde, Isolab® marka kalibreli 100ml’lik ISO 3507 standartlarında üretilmiş cam piknometre kullanılmıştır.

Piknometre yardımıyla birçok sıvının ve katının yoğunluk tayininin yapıldığı bilinmektedir. Barit cevherlerinin, zenginleştirme proseslerinde yoğunluk ve tenör değerlerinin bilinmesi gerekli olduğundan, barit cevherleri için de uygulanan bu yöntem, akredite laboratuvarca yoğunluk değerleri belirlenen farklı barit cevherlerine de uygulanmıştır. Yapılan piknometre testlerinden elde edilen verilerin, akredite laboratuvarda bulunan yoğunluk sonuçlarıyla çok uyumlu olduğu görülmüştür. Şekil 3.4’te deneylerde kullanılan piknometre ve yoğunluk analizinin aşamalı olarak şematik görünümü verilmiştir.



Şekil 3.4. Deneylerde kullanılan piknometre ve yoğunluk analizinin aşamalı olarak şematik görünümü.

Piknometre ile yoğunluk tayini yapılırken aşağıdaki adımlar izlenmiştir.

- Öncelikle kullanılacak olan distile suyun yoğunluğu belirlenmiştir.
- Kullanılan piknometre ve kapağı içi boş olarak tartımı yapılmış ve kaydedilmiştir (Gp).
- İçerisine yoğunluğu belirlenmek istenen katıdan eklenerek, tartılmış ve kaydedilmiştir (Gpn).
- İçerisinde katı olan piknometrenin üzeri yavaş yavaş distile su ile doldurulmuştur. Ara ara çalkalanarak ve taneler arasında hava kabarcığı kalması önlenmiş ve referans çizgisine kadar distile su ile doldurulup, kapağı kapatılmıştır.
- Sonra standart hava koşullarında, kurutulup, tartılmış ve kaydedilmiştir (Gpns).
- Daha sonra içindeki tüm malzeme boşaltılmış, piknometre kurutulmuş ve son olarak içine distile su doldurularak, kapağı kapatılmış ve tartım yapılmıştır (Gps).

Tüm bu işlemler yapıldıktan sonra aşağıda verilen Denklem 3.1 yardımıyla, katının yoğunluğu bulunmuştur.

$$\text{Katının yoğunluğu } (d_k) = \frac{G_{pn} - G_p}{(G_{ps} - G_p) - (G_{pns} - G_{pn})} \times \rho \quad [3.1]$$

Burada;

- Gp : Piknometre ve kapağın ağırlığı
 Gpn : Piknometre, kapak ve numunenin ağırlığı
 Gpns : Piknometre, kapak, numune ve suyun ağırlığı
 Gps : Piknometre, kapak ve suyun ağırlığı
 ρ : Kullanılan sıvının özgül ağırlığıdır.

3.3 Deneylerde Kullanılan Sıvıların Yüzey Gerilimlerinin Belirlenmesi

Deneylerde kullanılan sıvıların yüzey gerilimlerinin (γ_{SH}) belirlenmesi amacıyla damla ağırlık yöntemi (drop-weight method) kullanılmıştır (Padday, 1968). Minerallerin ıslanma özelliklerinin belirlenebilmesi için temas açısı ölçümleri yapılacağından, deneylerde metanolün (CH_3OH) farklı çözeltileri kullanılmıştır. Bu çözeltiler distile su kullanılarak, ağırlıkça hazırlanmıştır. Bunun için 10 ml'lik cam malzemeden üretilmiş, özel toplama kabı bulunan bir büret kullanılmıştır. Şekil 3.5'te deneylerde kullanılan büret görülmektedir.



Şekil 3.5. Sıvıların yüzey gerilimlerinin belirlendiği büret ve özel toplama kabı.

Yüzey gerilimi belirlenecek olan çözelti, bürete konulduktan sonra, gözle sayımı yapılacak bir akış hızında, büret altındaki vana açılarak, özel toplama kabına yaklaşık 50 damla toplanmıştır. Bu damlalar hassas bir terazi yardımıyla tartılarak, toplam ağırlık bulunmuştur (ΣM). Toplam ağırlıktan yola çıkarak bir damlanın ağırlığı toplam damla sayısına bölünerek hesaplanmıştır (m). Deneysel aşamalar süresince oda sıcaklığı 20 ± 2 °C arasında sabit tutulmuştur. 10 farklı sıvısında yüzey gerilimleri bu yöntemle belirlenmiştir.

Tate (1864) yasasına göre bir damlanın ağırlığını destekleyen maksimum kuvvet, formül 3.2'de gösterilmiştir.

$$w = mg = 2\pi r \gamma' \text{ dir.}$$

[3.2]

Burada;

w: Maksimum kuvvet,

m: Bir damlanın ağırlığı,

g : Yer çekimi ivmesi,

r : Büretin silindirik uç kısmının yarı çapı ve

γ : Çözeltinin yüzey gerilimidir.

Harkins ve Brown (1919), f 'in $r/v^{1/3}$ 'ün bir fonksiyonu olduğunu bulmuşlardır.

$$F = f \frac{r}{v^{1/3}} \quad [3.3]$$

Burada;

F: Düzeltme faktörü

v: Damlanın hacmi

Lando ve Oakley (1967) tarafından, f 'in $r/v^{1/3}$ ile değişimi tablo halinde verilmiştir. Bu yaklaşım ışığında, $r/v^{1/3}$ değeri hesaplanarak, tablodaki bu değere karşılık gelen düzeltme faktörü (F) bulunmuştur. Sonuç olarak yüzey gerilimi belirlenmek istenen sıvının yüzey gerilimi Formül 3.4 yardımıyla hesaplanmıştır.

$$\gamma = \frac{mg}{2\pi r} = F \left(\frac{mg}{r} \right) \quad [3.4]$$

Bu yöntemdeki olası hatalar, kullanılan alkollerin çok hızlı buharlaşmasından kaynaklanmaktadır. Damla çok yavaş sayıldığında ölçümlerin doğruluk oranı artmakta fakat buharlaşmadan kaynaklı hatalar meydana gelmektedir. Buharlaşma etkisini en aza indirmek için hızlı damla oluşturma prosedürleri uygulanıp ve son damla ya yavaşça kapatılmalı (Harkins ve Brown, 1919) ya da belirli bir süre beklendikten (yaklaşık 1 dakika) sonra kapatılmalıdır (Wilkinson, 1972; Gunde vd., 1992). Bu hata paylarını en aza indirmek için, üzerinde büret ağız çapından biraz daha geniş açıklık bulunan, kapalı bir cam şişe içine hava ile temas kesilerek damla sayımı yapılması da ayrıca uygulanan çalışmalardandır.

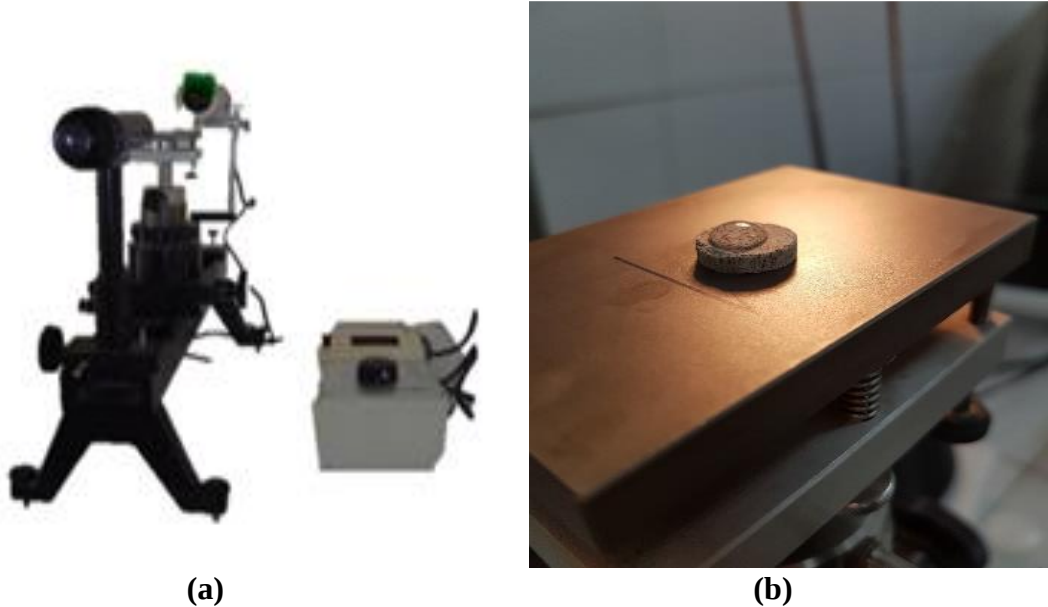
3.4 Deneylerde Kullanılan Barit Numunelerinin Temas Açılarının Belirlenmesi

Minerallerin ıslanabilirlik özelliklerinin belirlenmesini sağlayan kritik ıslanma yüzey gerilimi değeri (γ_c), yaygın olarak kullanılan iki farklı yöntem ile belirlenmektedir.

Bunlar, Zisman temas açısı ölçüm yöntemi ve flotasyon yöntemidir. Deneylerde kullanılan barit cevherlerinin (YBD (düşük tenörlü) ve YBİ (yüksek tenörlü) kritik ıslanma yüzey gerilimi değerleri, bu yöntemlerden ilki olan Zisman temas açısı ölçüm yöntemiyle bulunmuştur. Temas açısı ölçümleri için NRL C.A. marka Gonyometre cihazı kullanılmıştır.

Farklı değirmenlerde öğütülmüş ve temas açısı belirlenecek barit cevherlerinin tane boyutu $-212+38\ \mu\text{m}$ 'dir. Bu boyut barit cevherinin, flotasyon ile zenginleştirilmesi testleri için belirlenen uygun besleme boyut fraksiyonudur.

Barit cevherlerinden 1,5 gr tartılarak, 0,5 cm yarıçaplı, 0,3 mm kalınlığında peletler hazırlanmış ve yüzeyleri sodyum dodesil sülfat (SDS) ile adsorplanmıştır. Deneylerde, metanol (CH_3OH) ve distile su kullanılarak farklı çözeltiler hazırlanmıştır. Hazırlanan ve daha önce damla ağırlık yöntemiyle yüzey gerilimleri belirlenmiş çözeltiler, peletlerin üzerine ince uçlu bir pastör pipeti ile damlatılmıştır. Gonyometre cihazının ayarları yapıldıktan sonra pelet yüzeyindeki damlanın temas açısı, hem ilerleyen hem gerileyen olarak ölçülmüş ve ortalamaları alınmıştır. Cihazın genel görünümü Şekil 3.6 (a)'da verilmiştir. Temas açısı ölçümü sırasında peletlenmiş ve yüzeyi SDS ile adsorplanmış mineralin yüzeyine ince uçlu bir pastör pipeti yardımıyla bırakılan damla örneği Şekil 3.6 (b)'de gösterilmektedir.



Şekil 3.6. Deneylerde kullanılan Gonyometre cihazı (a) genel görünümü (b) peletlenmiş barit cevheri üzerinde oluşturulan damla örneği.

Temas açısı deneylerinde, farklı değirmenlerde öğütülmüş ve flotasyonda kullanılacak olan düşük tenörlü (YBD) ve yüksek tenörlü (YBİ) barit cevherleri kullanılmıştır. Bu

cevherlerin flotasyon ortamında çözeltiye verilen hava kabarcıklarına yapışıp/yapışmaması, yüzdürülebilmesi ve yapışma oranı ile ilgili ön bilgi edinmek için yapılmıştır.

Flotasyon testlerinde kullanılacak olan toplayıcı reaktifi SDS ile yüzeyleri adsorplanan iki farklı barit cevherinin temas açıları ölçülerek kritik ıslanma yüzey gerilimi değerleri bulunmuştur.

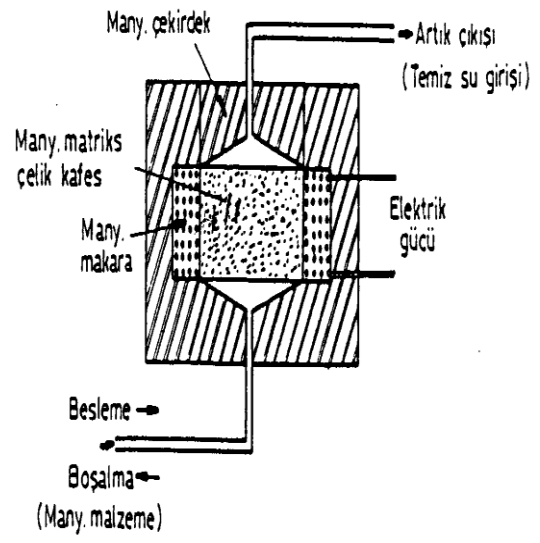
3.5 Barit Cevherlerinin Zenginleştirme İşlemleri

3.5.1 Yaş manyetik ayırma ile zenginleştirme işlemleri

Yaş manyetik ayırma ile zenginleştirme işlemleri için Cumhuriyet Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü Cevher Hazırlama Laboratuvarı'ndaki Boxmag Rapid marka Laboratuvar tipi yüksek alan şiddetli yaş manyetik ayırıcı kullanılmıştır. Cihaz haznesinin yapısı tel örgüler şeklindedir. Cihazın görünümü Şekil 3.7'de verilmiştir. Uygulanan manyetik alan çekilen akıma bağlı olarak değişmektedir.



(a)



(b)

Şekil 3.7. Yaş manyetik ayırıcı cihazı (a) genel görünümü (b) şematik görünümü.

Deneysel çalışmalarda YB2 barit numuneleri kullanılmıştır. Bu numunelerin kullanılmasının nedeni, ocaktan gelen farklı barit cevherlerinden, içerisinde yan taş olarak en yüksek hematit (Fe_2O_3) içeriğine sahip olmasıdır. Numunelerin, özgül ağırlığı $4,34 \text{ gr/cm}^3$ olup tenörü % 89,79 BaSO_4 olarak belirlenmiştir. Numuneler % 3,76 Fe_2O_3 içermektedir. Cevher numunelerinin tane boyutu $-106 \mu\text{m} + 75 \mu\text{m}$ 'dir. Ön hazırlık

testlerinde cevher için en uygun pülpte katı oranının belirlenmesi için sırasıyla % 30, % 20 ve % 10 katı oranlarında pülpler hazırlanmıştır. Otomatik besleyiciyle yapılan deneylerde pülpte % 30 ve % 20 katı oranlarıyla besleme yapılamamıştır. Bunun nedeni yüksek yoğunluğa sahip olan barit cevherlerinin yer çekimine bağlı olarak pülp içerisinde hızla çökmesidir. Bu nedenle deneysel çalışmalara, 50 gr numune kullanılarak, pülpte % 10 katı oranıyla devam edilmiştir.

Barit numunelerindeki, manyetik içerik olan hematit mineralleri zayıf ferromanyetik özellik gösteren özellikteki minerallerdir. Bu nedenle manyetik ayırma testlerinde yüksek alan şiddetlerinde çalışılmıştır. Sırasıyla 2.5, 5, 7, 8, 10, 12 ve 14 Amper (A) değerlerinde çalışılmıştır. Bu akım değerlerine eşdeğer manyetik alan şiddetleri sırasıyla 3600, 7500, 11000, 13000, 15500, 17200 ve 18400 Gauss (G)'tur.

Deneylerde barit numunelerinin, manyetik alanda sıkışma ihtimaline karşın, besleme işlemi bittikten sonra sisteme sabit debide ve tazyikli olmayacak şekilde (4 L/dk) 30 sn boyunca yıkama suyu verilmiştir. Cihazın akımı sıfırlandıktan sonra yaklaşık 2 dk süreyle tazyikli su ile sistem, manyetik ürünlerden tamamen temizlenmiştir. Testler sonucunda alınan manyetik olmayan ürünlerle manyetik olan ürünler, mikroskopta yapısal farklılıklar için incelenmiştir. Ayrıca piknometre ile yoğunluk testleri yapılmış ve kimyasal analizleri yapılarak, yaş manyetik ayırmanın barit cevherlerindeki hematitin uzaklaştırılmasındaki etkisi araştırılmıştır.

3.5.2 Sarsıntılı masa ile zenginleştirme işlemleri

Barit numunelerinin sarsıntılı masa ile zenginleştirme işlemleri için Cumhuriyet Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü Cevher Hazırlama Laboratuvarı'ndaki Wilfley Table marka sarsıntılı masa kullanılarak yapılmıştır. Kullanılan masanın genel görünümü Şekil 3.8'de gösterilirken Şekil 3.9'da ise deneyler esnasında barit minerallerinden gang minerallerinin ayrıldığı bir fotoğraf görülmektedir.

Sarsıntılı masa ile zenginleştirme işlemlerinde asıl amaç SiO_2 (Silisyum dioksit) minerallerinin uzaklaştırılması olduğundan, barit numuneleri arasında en yüksek SiO_2 içeriğine sahip olan YB4 baritleri kullanılmıştır. Dört farklı tane boyutunda (-300+212 μm , -212+150 μm , -150+106 μm , -106+75 μm) çalışmalar yapılmıştır. YB4 baritleri; 3,70 g/cm^3 yoğunluğa ve % 70,57 tenöre sahipken, içerdiği SiO_2 miktarı % 23,41'dir.

Cihazın çalışma parametrelerinin belirlenmesinde beslenen malzemenin tane boyutunun önemi oldukça büyüktür. Numunelerin serbestleşme tane boyutu dikkate alındığında

sarsıntılı masaların ince taneli cevherlerde kısa genlik ve yüksek hızla çalıştığı göz önünde bulundurulmuştur. Bu nedenle hız 300 d/d (devir/dakika) masanın eğimi suyun akış yönüne doğru 12 mm/m ve genlik 12 mm olarak ayarlanmıştır. Deneyler esnasında harcanan su miktarı 8 L/s olarak belirlenmiştir.



Şekil 3.8. Deneylerde kullanılan sarsıntılı masanın genel görünümü.



Şekil 3.9. Deneylerde kullanılan barit cevherlerinden gang minerallerinin ayrımı.

3.5.3 Flotasyon ile zenginleştirme işlemleri

Barit numunelerinin flotasyon ile zenginleştirme işlemleri için Cumhuriyet Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü Cevher Hazırlama Laboratuvarı'ndaki Denver tipi

flotasyon cihazı kullanılmıştır. Laboratuvar da kullanılan flotasyon cihazı ve hücresi Şekil 3.10’da gösterilmiştir. Bu cihaz 4 delikli ve 9,5 cm karıştırma çapına sahip ve maksimum 1400 dev/dk hızla çalışmaktadır. Selül hacmi 2 litredir.



Şekil 3.10. Deneylerde kullanılan denver tipi flotasyon cihazı.

Deneylerde, düşük tenörlü (YBD) ve yüksek tenörlü (YBİ) olmak üzere iki farklı barit numunesi kullanılmıştır. Bu numunelerden birincisi olan düşük tenörlü barit numunelerinin; BaSO₄ miktarı % 59,90, SiO₂ miktarı % 25,04, Fe₂O₃ içeriği % 2,03 ve özgül ağırlığı 3,67 gr/cm³’tür. Yüksek tenörlü barit numunelerinin ise; BaSO₄ miktarı % 87,71, SiO₂ miktarı % 1,70, Fe₂O₃ içeriği % 3,10 ve özgül ağırlığı 4,33 gr/cm³’tür. Her iki cevher içinde pülpte katı oranı % 10 olarak belirlenmiştir ve kullanılan numune miktarı 130 gramdır. Cihazın karıştırma hızı, tüm testler boyunca 1000 dev/ dk’da sabit tutulmuştur. Kullanılan distile suyun pH’ı yaklaşık 6,50’dir. Deneylerde kullanılan kondisyonlama süreleri ise şu şekildedir; barit ile su karışımı daha reaktifler eklenmeden flotasyon selülünde pülpün homojen hale gelebilmesi için 2 dakika boyunca kondisyonlanmıştır. Bu esnada pülpün pH ölçümleri yapılmaya başlanmıştır. Daha sonra sırasıyla pH düzenleyici, bastırıcı, toplayıcı ve köpürtücü eklenerek her birisi için 5 dakika kondisyonlama yapılmıştır. Köpük alma süresi 5 dakika olarak çalışmalara başlanmıştır. Ürünler için etüvde 105 °C’de yaklaşık 5 saatlik kurutma periyodunun yeterli olduğu gözlemlenmiştir. Yapılan ön deneyler ve literatür çalışmalarından yararlanılan bilgiler ışığında, baritin flotasyon ile zenginleştirme deneylerinde kullanılacak olan reaktiflerin listesi Çizelge 3.4’te verilmiştir.

Çizelge 3.4. Flotasyon testlerinde kullanılan reaktiflerin listesi

Reaktif Cinsi	Reaktif Adı	Marka/Firma
Toplayıcı	SDS (Sodyum Dodecyl Sülfat)	Sigma Aldr.
Bastırıcı	Sodyum Silikat (Na_2SiO_3)	Merck
Köpürtücü	MIBC (Metil İzobütil Karbinol)	-
pH ayarlayıcı	Sodyum Hidroksit (NaOH)	Merck

- **Sodyum Hidroksit (NaOH):** Kostik soda olarak da bilinen inorganik bir bileşiğe sahip bu reaktifler, su içerisinde tamamen çözülebilmektedir. pH'ı yükseltmesi nedeniyle (13,5) flotasyonda pH ayarlayıcı olarak kullanılmaktadır. Deneylerde kullanılan sodyum hidroksit çözeltileri % 1'lik hazırlanmıştır.
- **Sodyum Silikat (Na_2SiO_3):** Su ile tamamen karışabilen ve alkali reaksiyon veren bir kimyasal bileşiğe sahiptir. Bu nedenle, sülfür, oksit ve tuz tipi minerallerin flotasyonunda etkin bir bastırıcı olarak kullanılmaktadır. Alkali ortamda silikat minerallerinin ve bazı karbonatlı minerallerin bastırılmasını sağlar. Ortam pH'sına bağlı olmak kaydıyla güçlü bir dağıtıcı, iyi bir bastırıcıdır. Barit mineralleri içinde bastırıcı olarak kullanılmaktadır. Deneylerde kullanılan sodyum silikat çözeltileri % 1'lik olarak hazırlanmıştır.
- **Sodyum Dodesil Sülfat (SDS) :** Anyonik bir organik tuz olan sodyum dodesil sülfat, yüzey aktif bir maddedir. Asidik ve bazik ortamlarda etkilidir. Deneylerde kullanılan SDS çözeltileri % 1'lik hazırlanmıştır.
- **Metil İzobütil Karbinol (MIBC) :** Sülfürlü cevherlerin flotasyonunda kullanılan bir köpürtücü reaktiftir. Nötral yapıya sahip olan bu köpürtücüler, hem asidik ortamda hem de bazik ortamda kullanılabilir. Deneylerde kullanılan MIBC çözeltileri % 1'lik olarak hazırlanmıştır.

Flotasyon işlemleri, zamana bağlı olarak değişen bir proses olduğu için, flotasyon ile zenginleştirme işlemlerinde, kinetik çalışmaları da yapılmıştır. Flotasyonda hidrofobik tanelerin, hava kabarcıklarına yapışarak köpük zonuna hareket etmesi zamana bağlıdır ve bu süreci temsil eden bir hız sabiti vardır ve bu sabit 'k' harfi ile (1/zaman biriminde) ifade edilmektedir. Hız sabitinin ortaya çıkarılması için birçok model geliştirilmiş olmakla birlikte temelde kinetik modelleme, Flotasyon mekanizması ile kimyasal

reaksiyon kinetiği arasındaki benzerliğe dayanarak geliştirilmiştir (Saklara vd.,1998; Drzymala, 2007).

Flotasyonda konsantrelerdeki minerallerin toplam verimi flotasyon süresiyle orantılıdır. Verim ve hız fonksiyonu içeren kinetik modeller, flotasyon verim süre grafikleriyle tanımlanır (Yuan vd., 1996).

Flotasyon kinetiği, minerallerin boyutuna, yüzey özelliklerine, kullanılan reaktifin türüne ve miktarına, selüldeki hidrodinamik koşullar gibi birçok faktöre bağlıdır (Albiter ve Harris, 1962). Flotasyon prosesinin hızı, pülpten köpüğe, tanelerin gelmesi için geçen süre ile hesaplanmaktadır. Fakat bunun ölçülmesi kolay olmadığından, hız hesabı, tanelerin doğrudan pülpten köpük zonuna gelme hızına karşılık gelen verim-süre değerleri kullanılarak bulunmaktadır (Saklara vd., 1998). Bu yaklaşımla ilk kinetik çalışması laboratuvar çapında yapılan flotasyon işlemleri için Garcia (1935) tarafından aşağıdaki Eşitlik 3.5 ile yapılmıştır (Saklara vd., 1998).

$$C = \exp(-kt) \quad [3.5]$$

Buradaki;

C: flotasyon hücresinde yüzebilir tane konsantrasyonu,

t: zaman'dır.

Eşitlik 3.1 genel olarak saf numunelerin kullanıldığı mikro flotasyon çalışmalarında yüksek güvenilirliğe sahiptir. Fakat bu eşitlik gerçek numunelerin kullanıldığı laboratuvar ölçekli çalışmalarda uyum göstermediğinden Arbiter ve Harris (1962) tarafından Eşitlik 3.5'ten yola çıkılarak geliştirilen Eşitlik 3.6'yı önermişlerdir.

$$\frac{dC}{dt} = -k_n C^n \quad [3.6]$$

Buradaki;

C: flotasyon hücresinde yüzebilir tane konsantrasyonu,

t: zaman ve

n: kinetiklik derecesini ifade etmektedir (n=1).

Flotasyon kinetiğinde, tek mineralli cevherlerde ya da seyreltilmiş pülp flotasyonlarında birinci dereceden, düşük tenörlü cevherlerde ya da yüksek konsantrasyonlu pülp flotasyonlarında ikinci dereceden kinetik modeller kullanılmaktadır (Nyugen ve Shulze, 2004). Buna göre n=1 alındığında ve Eşitlik 3.6'nın integrali alınıp çözüldüğünde,

$$C = C_0 \cdot e^{-k \cdot t} \quad [3.7]$$

$C = C_0 \cdot e^{-k \cdot t}$ elde edilmektedir.

Buradaki;

C: flotasyon hücresinde yüzebilir tane konsantrasyonu,

C_0 : ilk andaki yüzebilir tane konsantrasyonu,

t: zaman ve

n: kinetiklik derecesini ifade etmektedir.

Flotasyon kinetiği çalışmalarında, bulunan k sabiti değeri, deneylerde kullanılan numunelerin hava kabarcığına tutunarak, hücreyi ne kadar sürede terk ettiğini gösterirken numunenin hızlı veya yavaş yüzen mineraller olup olmadığını karakterize etmektedir.

3.6 Numunelerin Şekil ve Morfolojik Analizleri

3.6.1 Dinamik görüntü analizi yöntemi

Barit numunelerinin, farklı değirmenlerde öğütülmüş ürünlerinin ve flotasyon ile zenginleştirildikten sonra elde edilen konsantre ve artıklarının, zenginleştirmeye olan etkilerinin incelenebilmesi açısından, tane şekillerinin belirlenebilmesi için Cumhuriyet Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü'ne ait Ekstraktif Metalurji Laboratuvarı'ndaki Micromeritics Particle Insight 3 Boyutlu Görüntü Analiz cihazı kullanılmıştır. Cihazın görünümü Şekil 3.11'de verilmiştir.



Şekil 3.11. Micromeritics® Particle Insight cihazının (a) genel görünümü (b) çalışma mekanizması (<https://www.particulatesystems.com>).

Bu sistemde, taneler taşıyıcı sıvı içinde homojen olarak süspansiyon edilmektedir. Tanelerin, taşıyıcı sisteme tam disperse halde beslenmesi, doğru şekil analiz faktörü verileri almak

için oldukça önemlidir. Taşıyıcı sıvı içine eklenen partiküller, ince bir akış hücresinden geçerek, ön tarafta bulunan bir ışık kaynağının, partiküllerin koyu silüetlerini arka tarafta bulunan yüksek çözünürlüklü bir CCD kameraya göndermesiyle her bir partikülün şekil analizi yapılabilmektedir. CCD kamera örneğin görüntüsünü alarak, siyah-beyaz renklerde dijital bir görüntüye çevirir ve bu bilgiyi nihai analiz için yazılıma gönderir. İstatiksel veriler ve histogramlar her bir partikül için tanımlanıp, ölçülmektedir. Ölçülen değerler ve grafiksel veriler ekranda görüntülendirilmiş, yazdırılmış ve Excel formatına dönüştürülerek farklı 28 şekil faktörünün değerleri minimum maksimum ve ortalamaları alınarak çalışma sonlandırılmıştır. Cihazın çalışma ara yüzüne ve barit örneklerine ait bir görüntü Şekil 3.12’de gösterilmiştir.



(a)

(b)

Şekil 3.12. Micromeritics Particle Insight 3 Boyutlu Görüntü Analiz cihazının (a) çalışma ara yüzüne ait bir görünüm (b) barit cevherlerine ait bir görüntü.

Üç Boyutlu Görüntü Analiz cihazı ile partiküllerin yuvarlaklığını ifade eden dairesellik (Circularity, (C)) ve uzunluğunu ifade eden en-boy oranları gibi parametreler barit numuneleri için karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Dairesellik (C), mükemmel bir daire için 1’e eşittir. Fakat uzun parçacıklar gibi düzensiz (irregular) parçacıklarda ise 1’den küçüktür. Dairesellik, Alan (A) ve Sınırlayıcı Daire Çapı (Bounding Circle Diameter) ile hesaplanır ve $4A/D_{BC}^2$ formülü ile hesaplanmaktadır. Tanenin uzunluğunu temsil eden parametrelerden bir diğeri olan sınırlayıcı dikdörtgen en-boy oranı (Bounding Rectangle Aspect Ratio, (BRAR)) ise uzunluğun en-boy oranıdır ve her zaman 1’den büyük veya eşittir.

BRAR değeri ne kadar büyük olursa numunenin o derecede uzun olduğundan bahsedilebilmektedir.

Üç Boyutlu Görüntü Analiz Cihazı yardımı ile daha önceden farklı değirmenlerde (bilyalı ve çubuklu) öğütülerek flotasyon testlerine tabi tutulmuş olan YBD (düşük tenörlü barit) ve YBİ (yüksek tenörlü barit) numunelerinin konsantre, artık ve ocaktan gelen tüvenan cevherlere şekil analizleri yapılmıştır.

Üç Boyutlu Görüntü Analiz Cihazı için, numuneler öncelikle döner mikro bölücü (Quantachrome® Instruments, Florida, USA) ile azaltılarak yaklaşık 1 gram numune alınmıştır. Alınan numunelerin süspansiyon ortamında dağınık bir şekilde kalabilmesi için, üzeri distile su ile doldurularak, ultrasonik banyoda 300 saniye süre ile bekletilmiştir. Ultrasonik banyodan alınan numuneler çok fazla bekletilmeden tek kullanımlık pastör damlalığı yardımı ile görüntü analizleri yapılmıştır. Her bir numune için 3 test yapılmış ve değerler otomatik bir yazılım ile sisteme kaydedilmiştir. Deney sonuçlarının değerlendirilmesinde 3 testin ortalaması kullanılmıştır.

3.6.2 Taramalı elektron mikroskobu (SEM) yöntemi

Barit numunelerinin, farklı değirmenlerde öğütüldükten sonra, zenginleştirmeye etkilerinin incelenebilmesi açısından, tane şekillerinin belirlenebilmesi için Cumhuriyet Üniversitesi İleri Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi(CÜTAM)'daki Tescan MIRA3 XMU marka Taramalı Elektron Mikroskobu (Scanning Electron Microscope (SEM)) kullanılmıştır. Cihazın görünümü Şekil 3.13'te verilmiştir.



Şekil 3.13. Barit cevherlerinin incelendiği Tescan MIRA3 XMU marka Taramalı Elektron Mikroskobunun genel görünümü.

SEM çalışmalarında, tüvenan halde bulunan düşük tenörlü (YBD) ve yüksek tenörlü (YBİ) cevherlerin yanı sıra, farklı değirmenlerde öğütülmüş ve flotasyon testleri yapılmış 12+12 adet olmak üzere toplam 24 adet konsantre ve artık ürünleri incelenmiştir. SEM analizi ölçümlerinde, ilk önce rnekler Quorum Technologies Q150R ES markalı cihaz ile saf altın kaplanarak SEM lmleri için yüzey hazırlanmıştır. Kaplama esnasında hücre basıncı 2×10^{-2} mbar olarak alınmış, kaplama kalınlığı 5-6 nm seilmıştir. Kaplama işlemi yaklaşık 420 saniye srmştir. Ardından taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile 10-15 kV enerji kullanılarak yüzey görüntüleri alınmıştır. Görüntüler 75x ve 500x büyütme ile iki ayrı şekilde incelenmiştir.



4. BULGULAR

4.1 Kırma İşlemleri

Ocaktan gelen barit cevherlerinin ortalama tane boyutu 100 mm civarındadır. Sonraki çalışmalarda öğütme ve zenginleştirme işlemlerinde kullanabilmek için, iri boyutlu barit cevherlerinin, boyut küçültme işlemleri çeneli kırıcılarda yapılmıştır. Çeneli kırıcının çıkış açıklığı 25 mm olarak ayarlanmıştır. Eleme verimi için yapılacak deneylerde ve zenginleştirme testleri için daha ince boyutlara ihtiyaç duyulduğundan kırma işlemlerinden sonra tüm barit numuneleri öğütülerek, -850+600 μm , -600+425 μm , -425+300 μm , -300+212 μm , -212+160 μm , -106+75 μm , -75+53 μm , -53+38 μm ve -38 μm eleklerden elenmiş ve partikül boyut dağılımları elde edilmiştir.

4.2 Eleme Testleri ve Eleme Kinetiği Çalışmaları

Barit numunelerinin eleme deneyleri önce kuru olarak yapılmıştır. Fakat 150 μm 'nin altındaki boyutlarda elek yüzeyleri üzerinde tıkanmalar, körlenmeler ve otomatik eleme esnasında meydana gelen topaklanmalardan dolayı, eleme veriminin düşük olduğu gözlemlenmiştir. Elek üzerinde meydana gelen bu topaklanmalar ve elek yüzeyindeki tıkanmalar nedeniyle eleme süresini belirlemek için eleme kinetiği çalışmaları yapılmış, numuneler hem kuru hem yaş olarak gerektiğinde yardımcı ekipmanlarla (delrin diskler ve kauçuk toplar) birçok ön eleme testine tabii tutulmuştur.

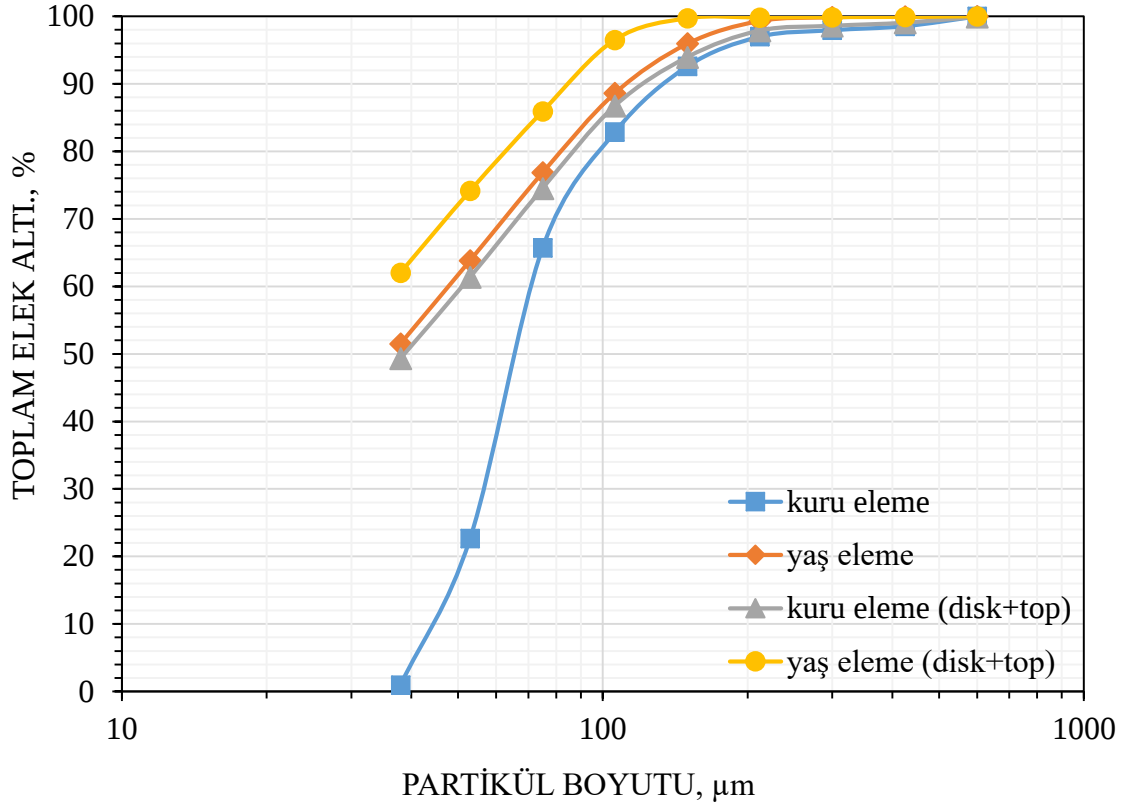
Eleme verimini arttırmak için kuru elek analizi testlerinde yardımcı ekipman olarak delrin diskler ve kauçuk toplar kullanılmıştır. Fakat yine de eleme verimi ince tanelerde düşük kalmıştır. Bu nedenle eleme deneyleri yaş olarak ve yardımcı delrin disk ve kauçuk toplarla yapılmıştır. Sonuçlar Ek-1'de verilmiştir.

Deneylerde tenörü en yüksek olan B1 numunesi (% 95,52 BaSO₄) kullanılmıştır.

Şekil 4.1'de de görüldüğü gibi eleme veriminin en iyi olduğu eleme yöntemi yaş eleme ve ek yardımcı ekipmanlar ile olmuştur. Eleme sonrası numuneler etüvde 105 °C'de kurutulularak hassas terazide tartılmış ve kuru elemeye göre daha iyi sonuçlar alınmıştır.

Tüm eleme yöntemlerinin tane boyut dağılımlarından elde edilen d₈₀ değeri kıyaslandığında, kuru eleme için d₈₀ değeri 100 μm , yaş eleme için d₈₀ değeri 85 μm , kuru eleme (disk+top) için d₈₀ değeri 81 μm ve yaş eleme (disk+top) için d₈₀ değeri 62,5 μm

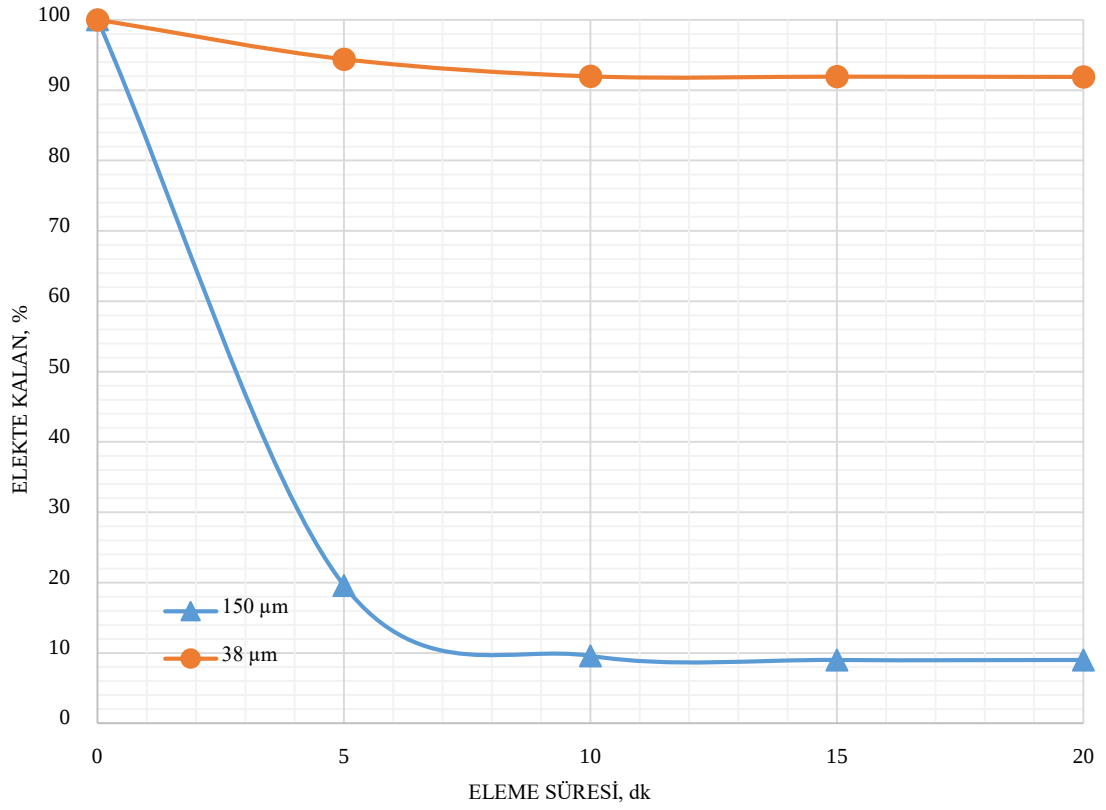
bulunmuştur. Yaş elemeye ek olarak yardımcı ekipman kullanımı diğer yöntemlere göre daha iyi sonuç vermiştir.



Şekil 4.1. Bilyalı değirmende öğütülmüş barit numunelerinin farklı eleme teknikleriyle elde edilen tane boyutu dağılımlarının karşılaştırılması.

Öğütme işlemleri sonrasında yapılacak olan elek analizleri için eleme süresi ve eleme frekansı (devir/dakika) oldukça önemli olduğundan, numunelerin eleme kinetiği çalışması yapılarak en uygun eleme süresi belirlenmiştir.

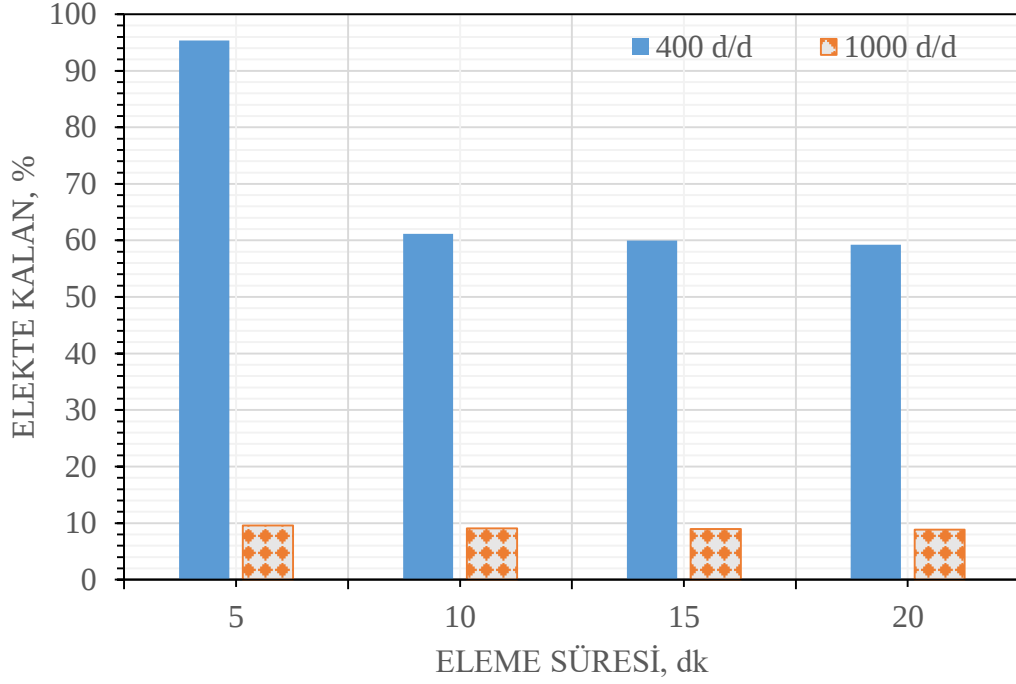
Eleme kinetiği çalışmalarında barit numunesi için belirleyici (referans) elek olarak 150 ve 38 µm'lik elekler seçilmiştir. Bunun nedeni ince boyutlarda elek analizi veriminin düşmekte olmasıdır. Barit cevherlerinden temsili olarak 10 gr numune alınarak sırasıyla 5, 10, 15 ve 20 dakika Ro-tap eleme cihazında elenmiş ve 150 µm ve 38 µm'lik eleklerin üzerinde kalan miktarların süreye bağlı değişimi Şekil 4.2'de görüldüğü gibi en uygun eleme süresi belirlenmiştir.



Şekil 4.2. Barit numunesi için optimum eleme süresinin kinetik yaklaşımla tayini.

Barit numuneleri için 10 dakikaya kadar yapılan elek analizlerinde geçen süreye oranla elek üstü miktarları azalmakta fakat 10 dakikadan sonra, artan süre ile elenen miktarının yavaşladığı ve belirli bir süre sonra da elek üstünde kalan malzemede bir değişim olmadığı görülmüştür. Bu nedenle tüm eleme çalışmalarında, optimum eleme süresi 10 dakika olarak uygulanmıştır.

Elek analizlerini etkileyen bir diğer parametre titreşim ve/veya salınım frekansıdır. Barit cevherleri için eleme işlemlerinde düşük ve yüksek frekans değerlerinin etkisini görebilmek için yapılan bir diğer çalışmada 400 d/d ve 1000 d/d’da yapılan iki farklı elek analizi testinin sonuçları Şekil 4.3’te ve Ek-2 de verilmiştir.



Şekil 4.3. 150 µm boyutlu elekte kalan barit numunelerinin farklı frekanslarda elde edilen optimum eleme süreleri.

Şekil 4.3.'te de görüldüğü gibi barit cevherlerinin 400 d/d frekanslarda referans eleği olan 150 µm'lik eleğin üzerinde optimum eleme süresi olan 10 dakika eleme süresinde beslenen ürünün % 61'i kalıyor iken, 10 dk'da 1000 d/d salınım frekansında elek üstünde malzemenin % 9'u kalmıştır. Bu nedenle numuneler için en uygun salınım frekansı 1000 d/d olarak uygulanmıştır.

4.3 Öğütme Çalışmaları

Barit numunelerinin öğütme işlemleri, çelik alaşımlı bilyalı ve çubuklu değirmenlerle yapılmıştır. Değirmenlerin teknik özellikleri, numune miktarları; özellikleri, bilya, çubuk özellikleri ve deney koşulları Çizelge 4.1'de bilyalı değirmenler için ve Çizelge 4.2'de ise çubuklu değirmenler için verilmiştir. Bilyalı ve çubuklu değirmenlerle yapılan öğütme testlerinde, kullanılan barit minerallerinin (B1, B2, B3 ve B4) her öğütme süresi sonunda elde edilen ürünlerinin tane boyut dağılımları belirlenmiştir.

Çizelge 4.1. Bilyalı değirmen özellikleri ve deney koşulları

	Parametreler	
Değirmen	İç çapı (D), mm	198
	Uzunluğu (L), mm	200
	Hacmi (V), cm ³	6155
	Kritik Hız,(N _c), d/d	103 ^a
	Çalışma Hızı (N), d/d	77
Ortam	Malzemesi	Çelik alaşım
	Ortalama bilya çapı (d), mm	31
	Sayısı, adet	45
	Özgül ağırlık, gr/ cm ³	7,8
	Toplam bilya şarjı, g	5761
Mineral (Barit Cevheri)	Bilya şarjı, J	0,2 ^b
	Besleme miktarı, g	642,60
	Dolum oranı, f _c	0,04 ^c
	Malzeme bilya doluluk oranı, U	0,5 ^d

$$^a \text{Kritik hız } (N_c) = \frac{42.3}{\sqrt{D-d}}$$

$$^b J = \frac{\text{Bilya Ağırlığı/Bilya Yoğunluğu}}{\text{Değirmen Hacmi}} * \left(\frac{1.0}{0.6}\right)$$

$$^c f_c = \frac{\text{Mineral Şarj Miktarı/Mineral Yoğunluğu}}{\text{Değirmen Hacmi}} * \left(\frac{1.0}{0.6}\right)$$

$$^d U = \frac{f_c}{0.4 * J}$$

Öğütücü ortam olarak değirmene beslenen bilyaların toplam hacminin, değirmen hacmine oranı bilya şarj oranı (J) olarak ifade edilmektedir. Bilya yatağı porozitesi, bilya boyutuna bağlı olarak düşük oranda değişmekle beraber genellikle 0,4 olarak kabul edilmektedir. Değirmene beslenen malzeme tarafından doldurulan bilyalar arasındaki boşluk oranı ise U olarak ifade edilmektedir. Değirmene beslenen malzeme miktarının değirmen hacmine oranı da malzeme şarj oranı olarak ifade edilmekte ve f_c olarak gösterilmektedir (Austin vd., 1984).

Çizelge 4.2. Çubuklu değirmen özellikleri ve deney koşulları

	Parametreler	
Değirmen	İç çapı (D), mm	214
	Uzunluğu (L), mm	300
	Hacmi (V), cm ³	9046,97
	Kritik Hız,(Nc), d/d	95,55 ^a
	Çalışma Hızı (N), d/d	59,71
Ortam	Malzemesi	Çelik alaşım
	Ortalama çubuk çapı (d), mm	19,81mm(9adet); 24,71mm(4adet); 29,84mm(3adet)
	Sayısı, adet	16
	Özgül ağırlık, gr/ cm ³	7,8
	Toplam çubuk şarjı, g	16848
	Çubuk şarjı, J	0,3 ^b
Mineral (Barit Cevheri)	Besleme miktarı, g	972
	Dolum oranı, f _c	0,04 ^c
	Malzeme çubuk doluluk oranı, U	0,5 ^d

$$^a \text{Kritik hız (Nc)} = \frac{42.3}{\sqrt{D-d}}$$

$$^b J = \frac{\text{Bilya Ağırlığı/Bilya Yoğunluğu}}{\text{Değirmen Hacmi}} * \left(\frac{1.0}{0.6} \right)$$

$$^c f_c = \frac{\text{Mineral Şarj Miktarı/Mineral Yoğunluğu}}{\text{Değirmen Hacmi}} * \left(\frac{1.0}{0.6} \right)$$

$$^d U = \frac{f_c}{0.4 * J}$$

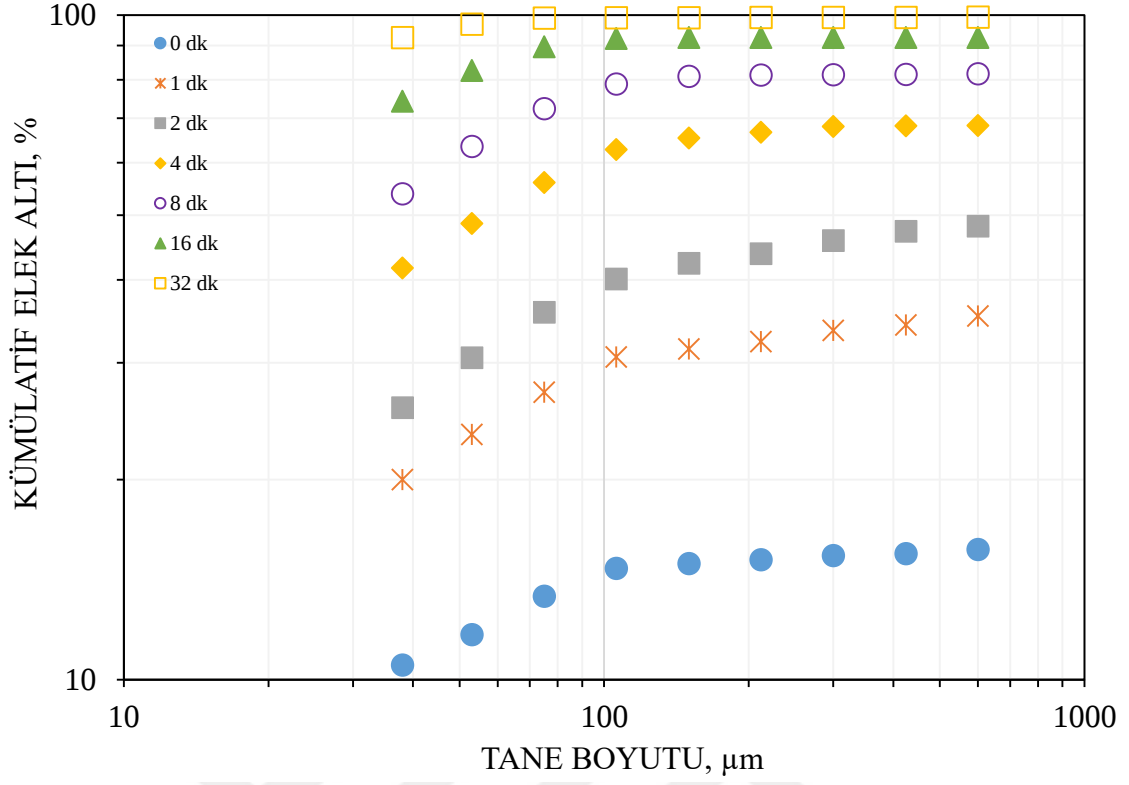
Çubuklu değirmenlerde, değirmen dönüş hızı kritik hızın genellikle 50-65 ile çalıştırılmaktadır (Yıldız, 2010).

4.3.1 Bilyalı değirmenlerde barit cevherlerinin öğütülmesi

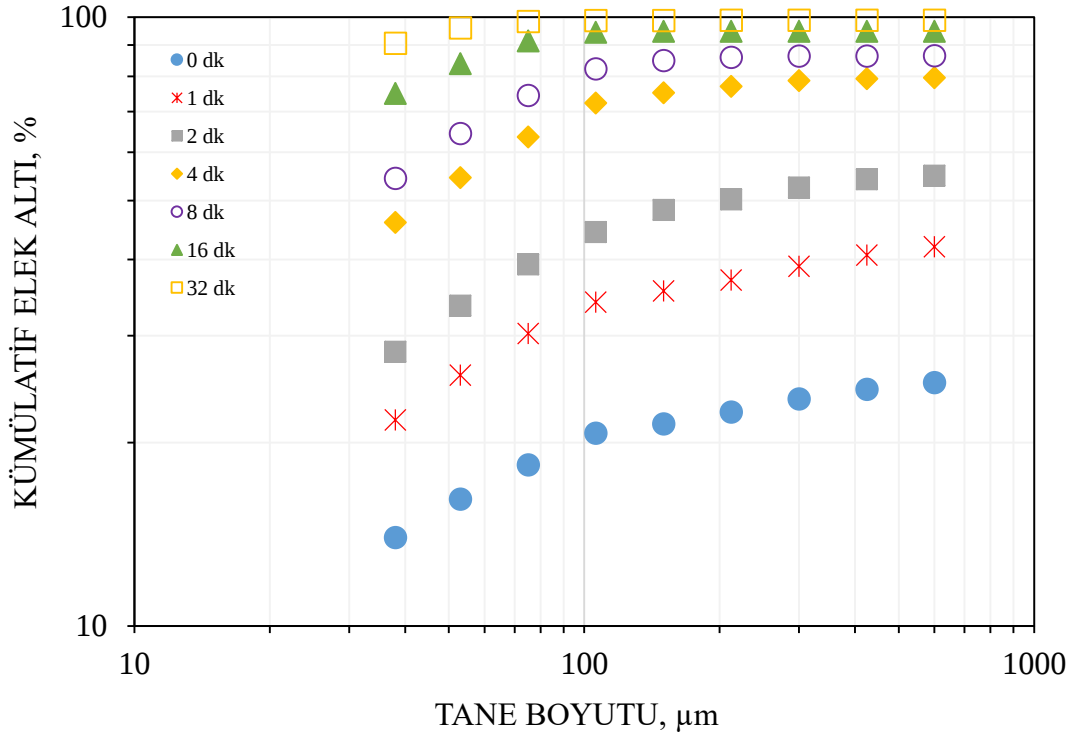
Bilyalı değirmene beslenen farklı içeriklerdeki B1, B2, B3 ve B4 barit numuneleri sırasıyla 1, 2, 4, 8, 16 ve 32 dakika sürelerle kuru olarak öğütülmüştür.

Öğütme çalışmalarından önce barit numunelerinin kimyasal analizleri yapılmış ve Ek-3'te analiz sonuçları verilmiştir. Kimyasal analiz sonucu, B1 numunesi; % 95,52 BaSO₄, % 0,021 SiO₂ ve % 0,35 Fe₂O₃ içeriğe, B2 numunesi; % 79,82 BaSO₄, % 5,12 SiO₂ ve % 6,41 Fe₂O₃ içeriğe, B3 numunesi; % 59,72 BaSO₄, % 34,91 SiO₂ ve % 1,23 Fe₂O₃ içeriğine ve B4 numunesi ise; % 58,36 BaSO₄, % 36,81 SiO₂ ve % 0,93 Fe₂O₃ içeriğine sahiptir. Numunelere ait yoğunluk değerleri ise sırasıyla 4,37 g/cm³, 4,10 g/cm³, 3,57 g/cm³ ve 3,54 g/cm³ olarak belirlenmiştir. Barit cevherlerine eşlik eden gang minerallerinin baritin öğütülmesi üzerine etkileri incelenerek, kırılgenlikleri ve öğütmede meydana gelecek olası farklılıklar incelenmiştir. Ayrıca ocaktan gelen farklı tenör içeriğine sahip numuneler bilyalı değirmenlerde farklı sürelerde öğütülerek, numunelerin, flotasyonla zenginleştirme öncesi en uygun boyuta erişmek için gerekli öğütme süreleri belirlenmiştir. Barit cevherlerine ait ürün bilyalı değirmenlerde yapılan öğütme testlerine ait tane boyut dağılımı sonuçları, Şekil 4.4, 4.5, 4.6, 4.7'de ve elek analizleri ise Ek-4'te verilmiştir.

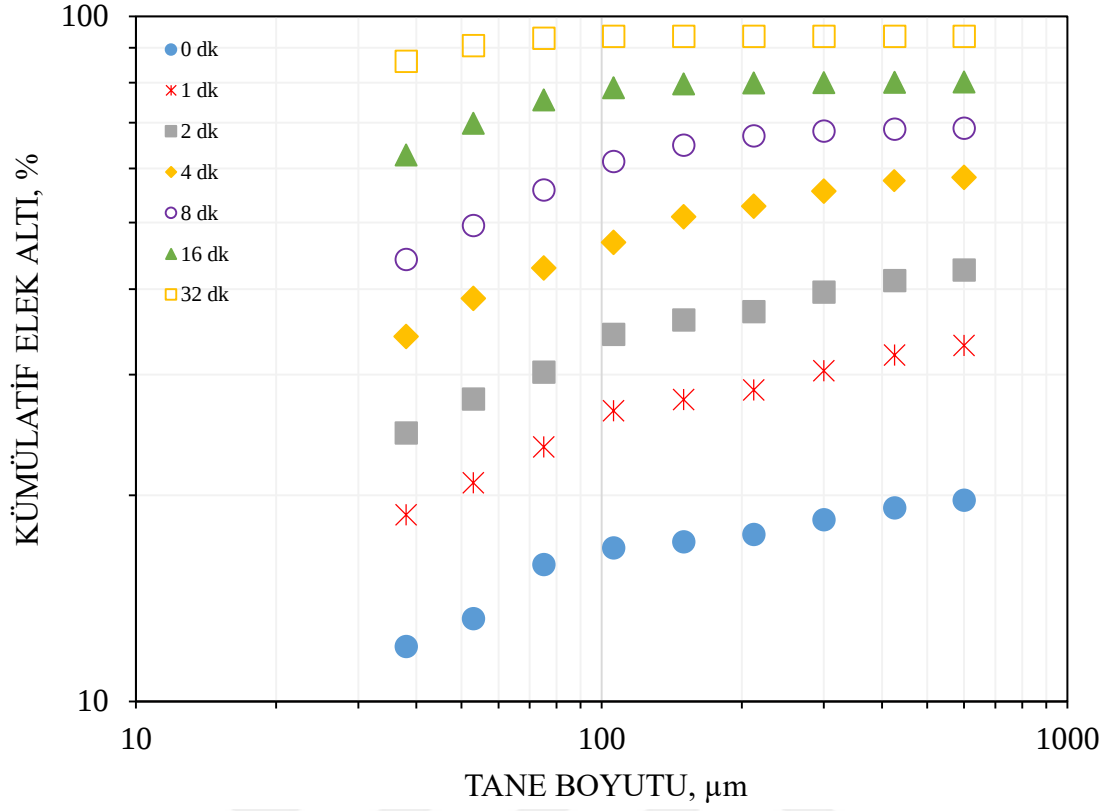
Özellikle flotasyon ile zenginleştirme işlemlerinde kullanılacak -212 µm boyut fraksiyonu esas alınmıştır. -212 µm fraksiyonunun % 80'inin geçtiği öğütme süresi barit cevherleri için gerekli öğütme süresi olarak kabul edilmiştir.



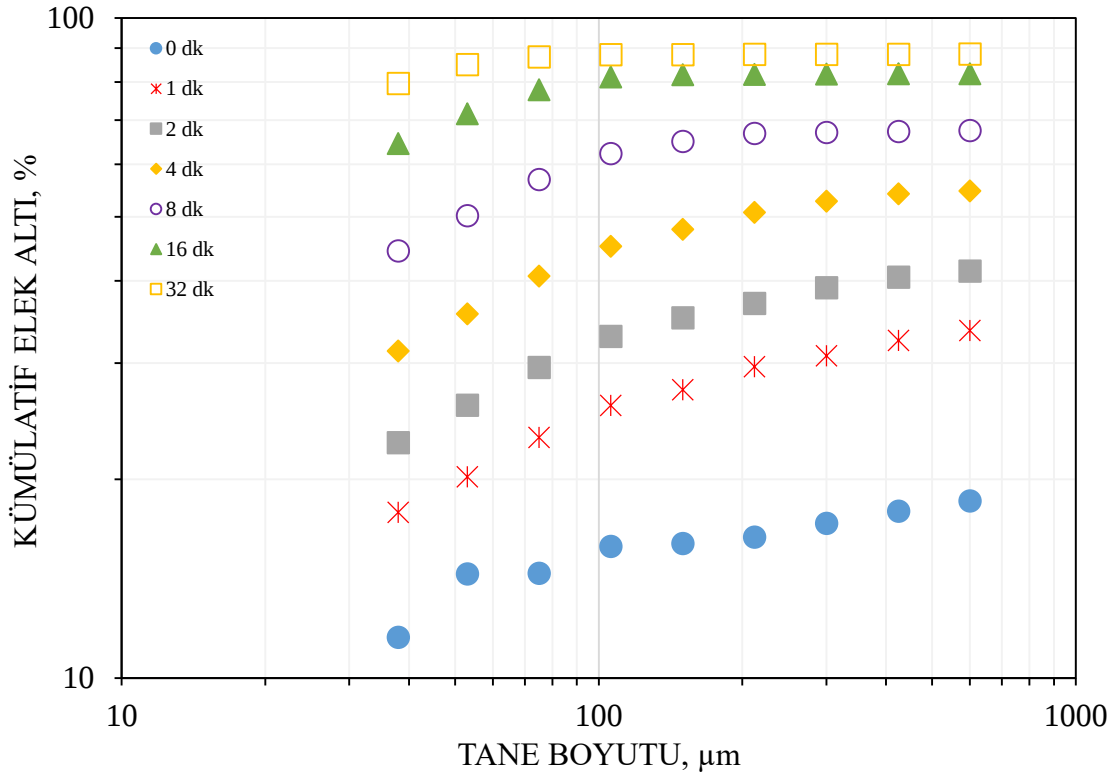
Şekil 4.4. Bilyalı değirmende öğütülmüş B1 numunesinin öğütme sürelerine bağlı olarak ürün tane boyut dağılımları.



Şekil 4.5. Bilyalı değirmende öğütülmüş B2 numunesinin öğütme sürelerine bağlı olarak ürün tane boyut dağılımları.



Şekil 4.6. Bilyalı değirmende öğütülmüş B3 numunesinin öğütme sürelerine bağlı olarak ürün tane boyut dağılımları.

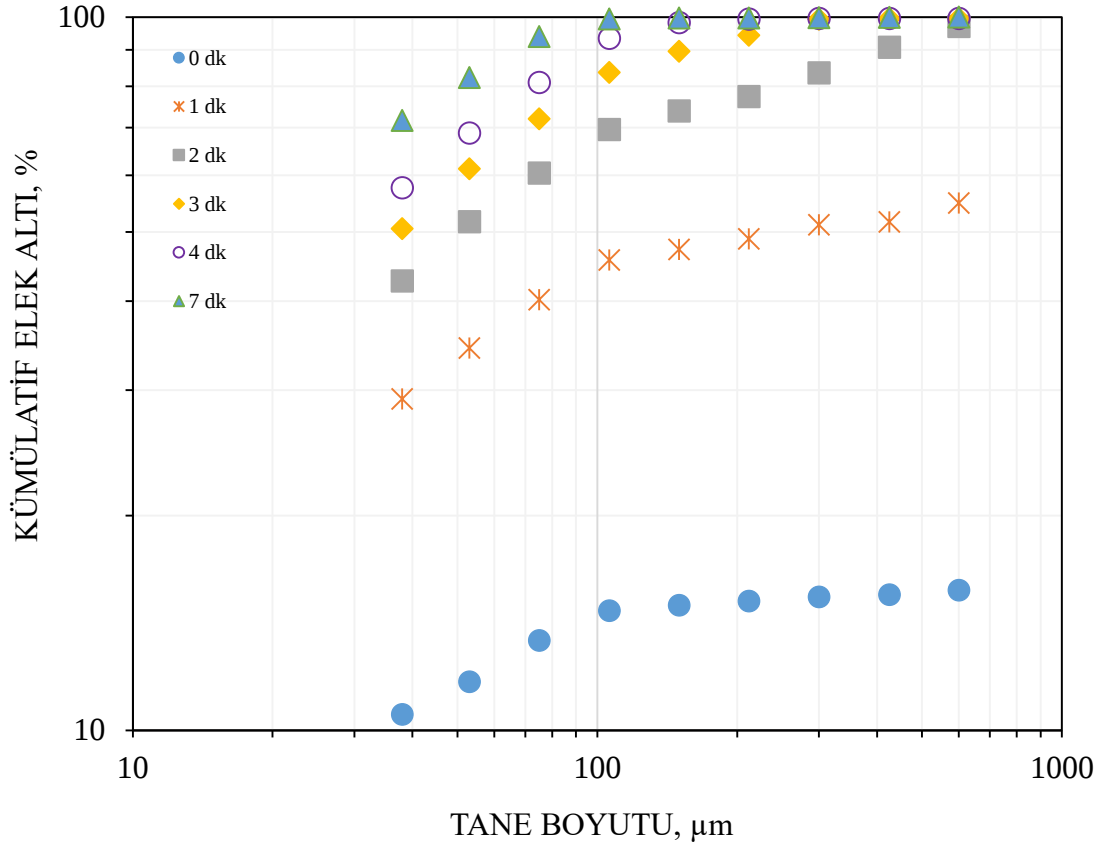


Şekil 4.7. Bilyalı değirmende öğütülmüş B4 numunesinin öğütme sürelerine bağlı olarak ürün tane boyut dağılımları.

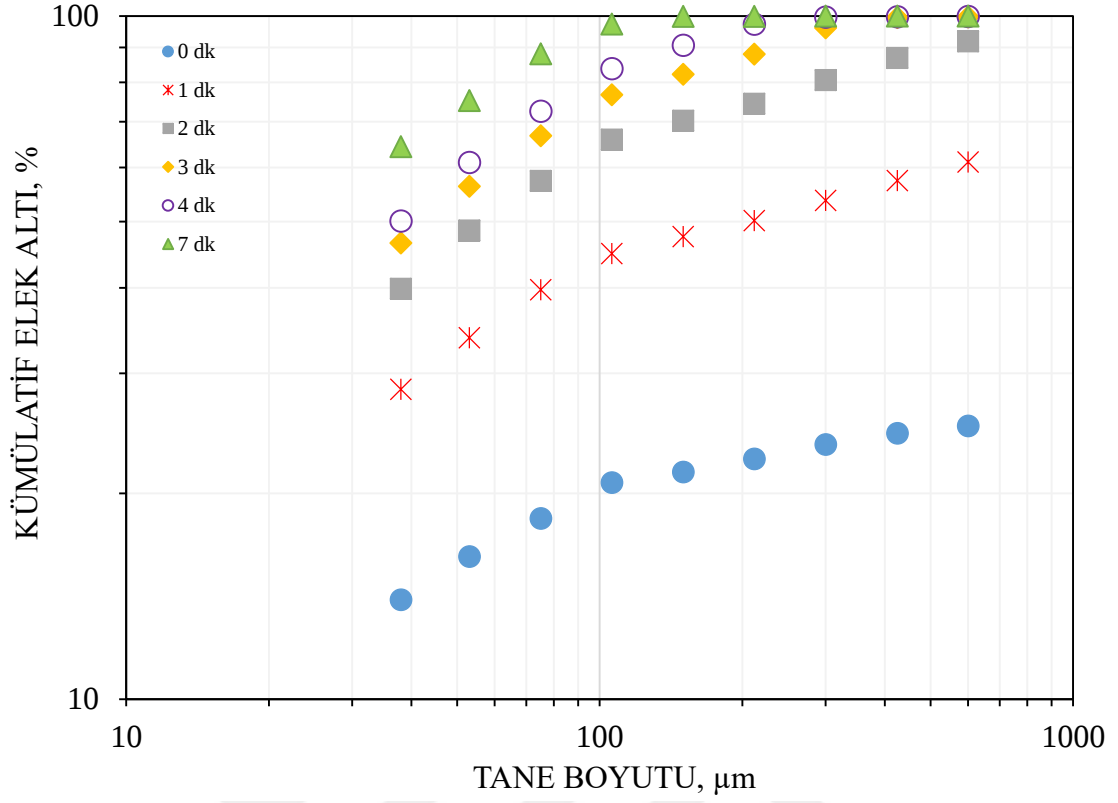
Bilyalı değirmen ile yapılan öğütme çalışmalarında, ürün tane boyut dağılımlarından da anlaşılacağı üzere, B1 ve B2 numuneleri için optimum öğütme süresi 8 dakika olarak belirlenirken, B3 ve B4 numuneleri için bu süre 16 dakika olarak belirlenmiştir. Süre farklılıklarının numunelerin kimyasal kompozisyonlarından kaynaklandığı özellikle SiO₂ içeriğinin öğütme sürelerinde artışa sebep olduğu belirlenmiştir.

4.3.2 Çubuklu değirmenlerde barit cevherlerinin öğütülmesi

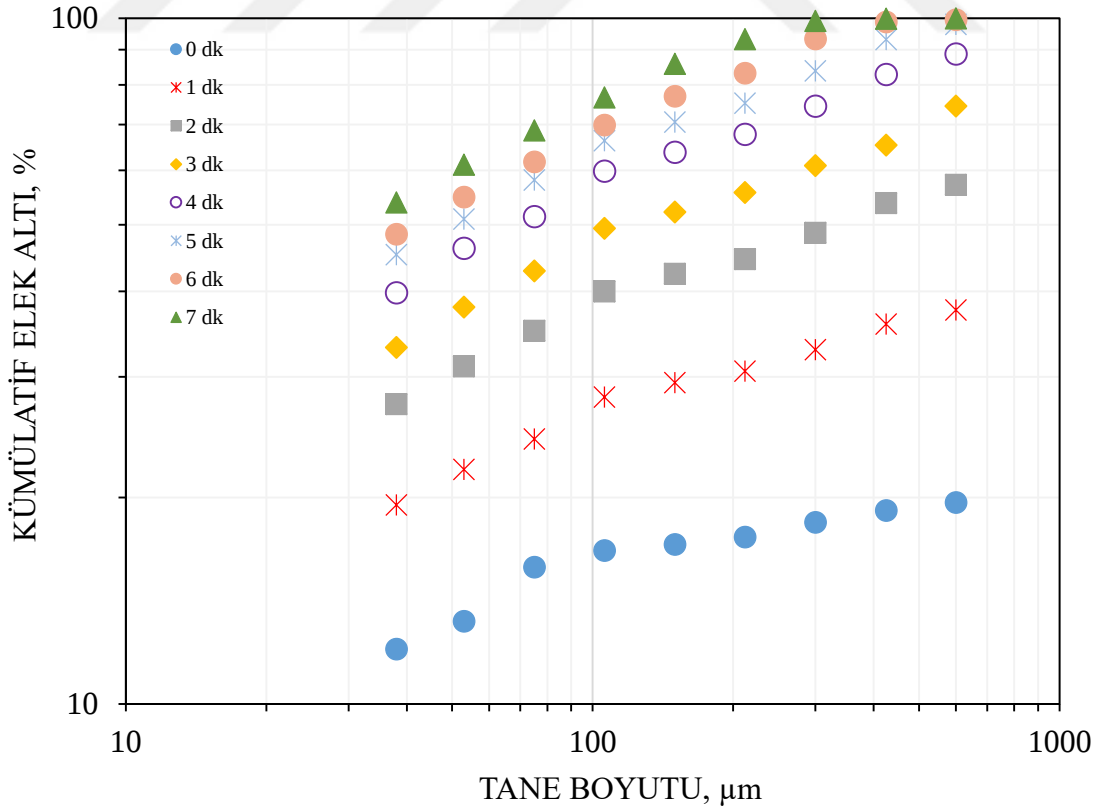
Çubuklu değirmene beslenen farklı içeriklerdeki B1 ve B2 barit numuneleri sırasıyla 1, 2, 3, 4 ve 7 dakika süre ile kuru olarak öğütülmüştür. B3 ve B4 baritleri ise 1, 2, 3, 4, 5, 6 ve 7 dakika öğütme sürelerine tabii tutulmuştur. Barit cevherlerine ait çubuklu değirmenlerde yapılan öğütme testlerine ait ürün tane boyut dağılımları sonuçları Şekil 4.8, 4.9, 4.10 ve 4.11’de ve elek analizleri Ek- 4’te verilmiştir.



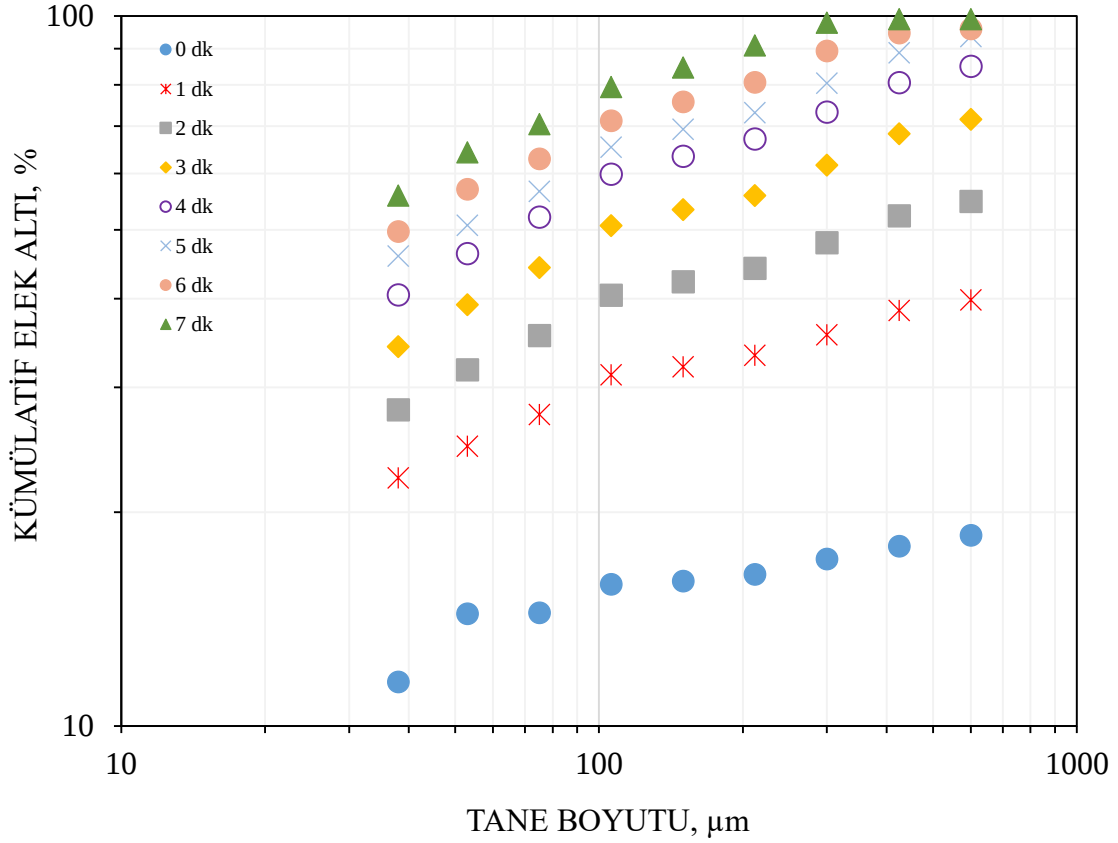
Şekil 4.8. Çubuklu değirmende öğütülmüş B1 numunesinin öğütme sürelerine bağlı olarak ürün tane boyut dağılımları.



Şekil 4.9. Çubuklu değirmende öğütülmüş B2 numunesinin öğütme sürelerine bağlı olarak ürün tane boyut dağılımları.



Şekil 4.10. Çubuklu değirmende öğütülmüş B3 numunesinin öğütme sürelerine bağlı olarak ürün tane boyut dağılımları.



Şekil 4.11. Çubuklu değirmende öğütülmüş B4 numunesinin öğütme sürelerine bağlı olarak ürün tane boyut dağılımları.

Çubuklu değirmen öğütmelerinde B1 ve B2 barit numuneleri için flotasyon öncesi uygun boyuta erişmek için gerekli öğütme süresinin 3 dakika, B3 ve B4 baritlerinin ise 6 dakika olduğu Şekil 4.8, 4.9, 4.10 ve 4.11’ de belirlenmiştir.

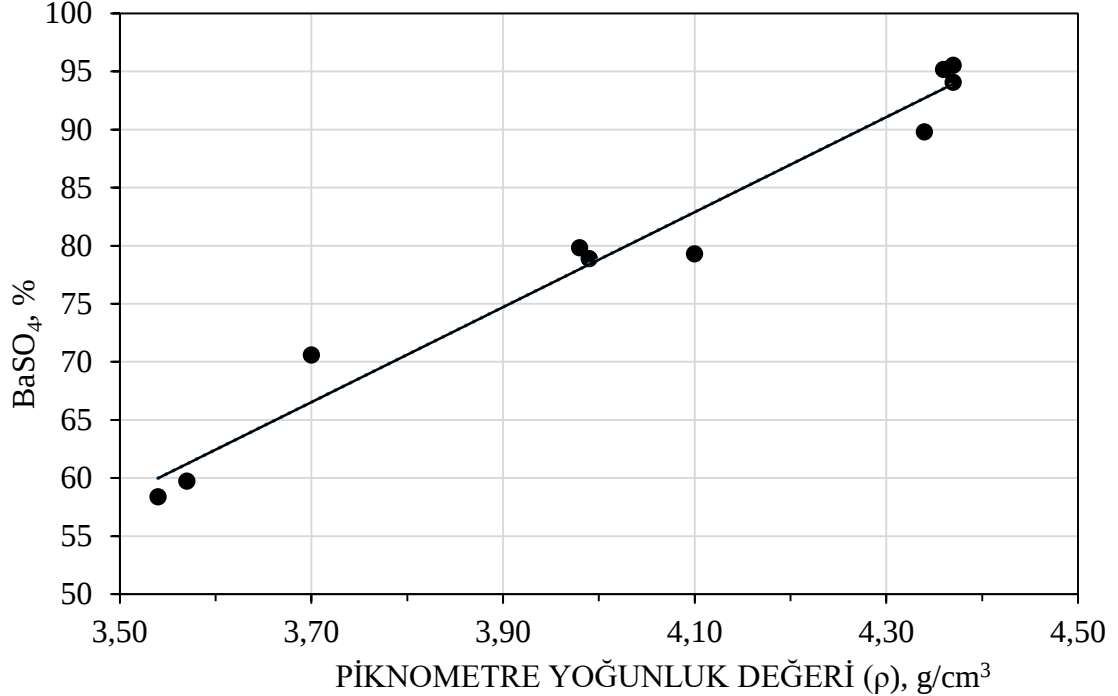
4.4 Piknometre ile yoğunluk tayini

Ocak çıkışı tüm barit numunelerin kimyasal analizleri ile yoğunluk değerleri akredite bir laboratuvar tarafından yapılmıştır. Laboratuvar çalışmalarında ise barit cevherlerine ait numunelerin yoğunluk değerlerini belirleme çalışmaları piknometreler ile yapılmıştır. Piknometre ile yoğunluk değerleriyle laboratuvar yoğunluk değerleri, Çizelge 4.3’te verilmiş ve bulunan değerlerin birbiriyle uyumlu oldukları gözlenmiştir.

Çizelge 4.3. Laboratuvarda yapılan piknometre deneyleri sonucu elde edilen yoğunluk değerleri ve akredite laboratuvar yoğunluk sonuçlarının karşılaştırılması

Numune Adı	Akredite Laboratuvar (g/cm ³)	Piknometre ile Belirlenen Yoğunluk (g/cm ³)
B1	4,37	4,31
B2	4,10	4,25
B3	3,57	3,58
B4	3,54	3,51
YB1	4,37	4,36
YB2	4,34	4,31
YB3	3,99	3,97
YB4	3,70	3,75
YBD	3,67	3,72
YBİ	4,33	4,30

Piknometre ve laboratuvarda belirlenen tüm yoğunluk değerlerine karşılık gelen tenör değerleri Şekil 4.12’de görülmektedir.



Şekil 4.12. Yoğunluk değerlerine karşılık gelen tenör değerlerinin değişimi.

Şekil 4.12’deki yoğunluk-tenör değerlerinden elde edilen yoğunluk tenör ilişkisi Eşitlik 4.1 yardımıyla tüm ürünlerin tenör değerleri hesaplanmıştır.

$$\text{Tenör (\% BaSO}_4\text{)} = 40,909. \rho - 84,826$$

[4.1]

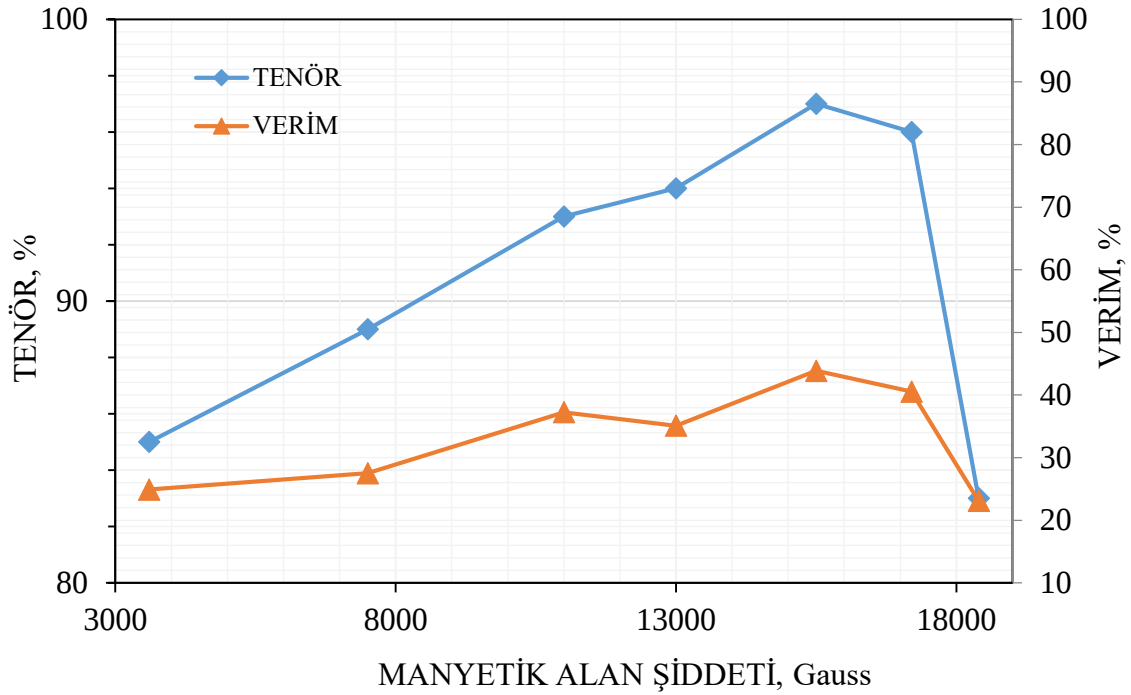
Burada;

ρ = piknometre ile belirlenen yoğunluk değeridir.

Yani, ürünlerin önce piknometre ile yoğunluk değerleri bulunmuş daha sonra da korelasyonla ifade edilen Eşitlik 4.1 aracılığıyla numunelerin tenör değerleri hesaplanmıştır.

4.5 Barit Cevherlerinin Yaş Manyetik Ayırma ile Zenginleştirme İşlemleri

Yaş manyetik ayırma ile zenginleştirme deneylerinde, ocaktan gelen numunelerden hematit (Fe_2O_3) içeriği en yüksek olan YB2 numuneleri çalışılmıştır. YB2 numunelerinin kimyasal analizi sonucunda BaSO_4 içeriği % 89,79 ve Fe_2O_3 içeriği % 3,76'dır. Tüm deneylerde pülpte katı oranı % 10 ile çalışılmıştır. Deneysel çalışmalar geniş bir manyetik alan şiddetlerinde 2.5, 5, 7, 8, 10, 12 ve 14 Amper (A), değerlerinde yapılmıştır. Amper değerlerine karşılık gelen manyetik alan şiddetleri sırasıyla; 3600, 7500, 11000, 13000, 15500, 17200 ve 18400 Gauss (G)'dur. Tane boyut fraksiyonu -106+75 μm olan barit numunelerinin, değişen manyetik alan şiddeti değerlerine karşılık gelen tenör verim değerleri Şekil 4.13'te ve Ek-5'te sunulmuştur.

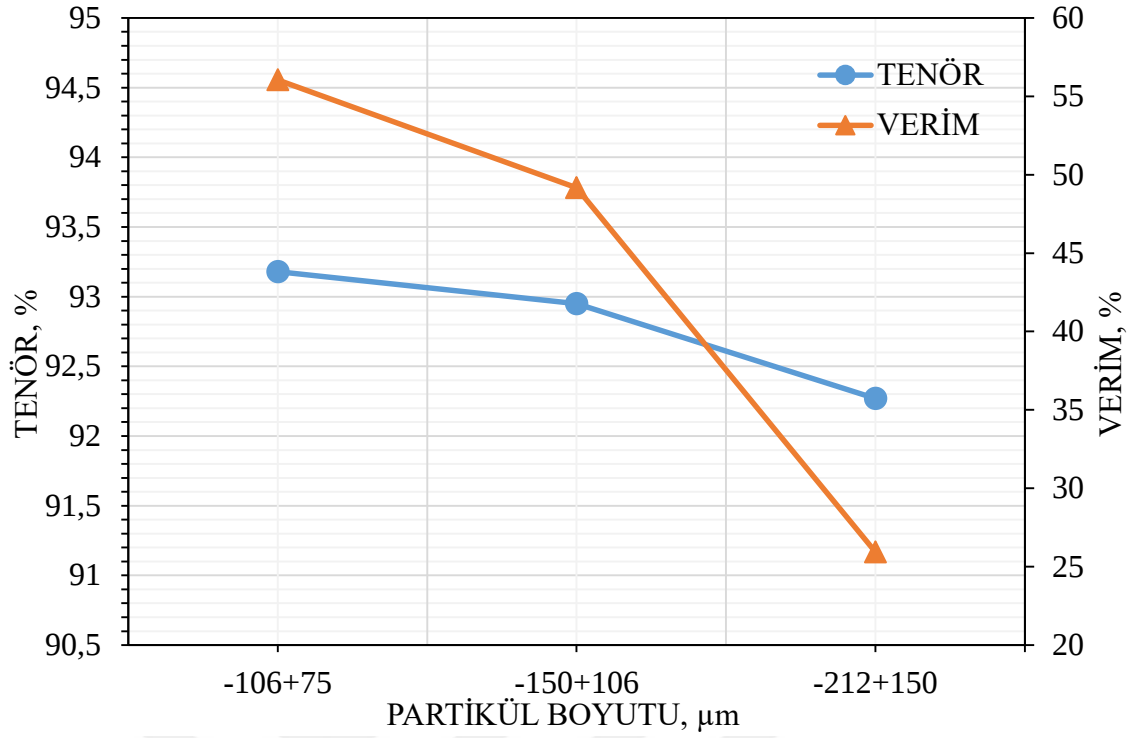


Şekil 4.13. -106+75 µm tane boyut fraksiyonundaki barit numunesinin yaş manyetik ayırmada manyetik alan şiddetine bağlı olarak tenör ve verim değerlerinin değişimi.

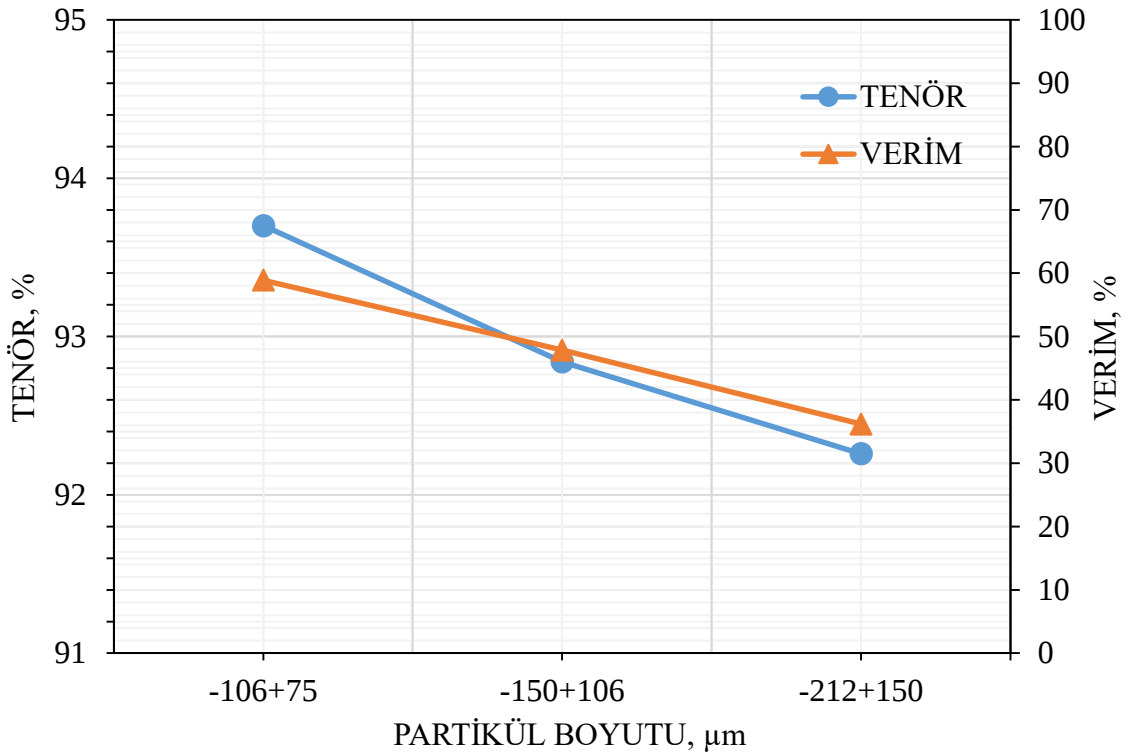
Şekil 4.13 incelendiğinde manyetik alan şiddetinin, 15500 Gauss (10A) olduğu deneyde, barit numunesinden demir içeriği yüksek hematitin uzaklaştırıldığı görülmektedir. Tane boyutunun da etkisinin incelenmesi açısından 3 farklı fraksiyonda numuneler çalışılmış olup; bunlar; -212+150 µm , -150+106 µm ve -106+75 µm'dir. Bir önceki seri deneylerde 15500 Gauss'ta en iyi sonuçlar alınmış olmasından ve tekrarlanabilirliğinin olduğunu gösterebilmek amacıyla 3 farklı tane fraksiyonundaki barit cevherleri, 13000 G, 15500 G ve 17200 G manyetik alan şiddetinde testlere tabi tutulmuştur. Elde edilen sonuçlar, Çizelge 4.4'te ve sırasıyla Şekil 4.14, 4.15 ve 4.16'da gösterilmektedir.

Çizelge 4.4. Farklı boyutlardaki barit numunelerinin değişen manyetik alan şiddetlerinde elde edilen tenör ve verim değerleri

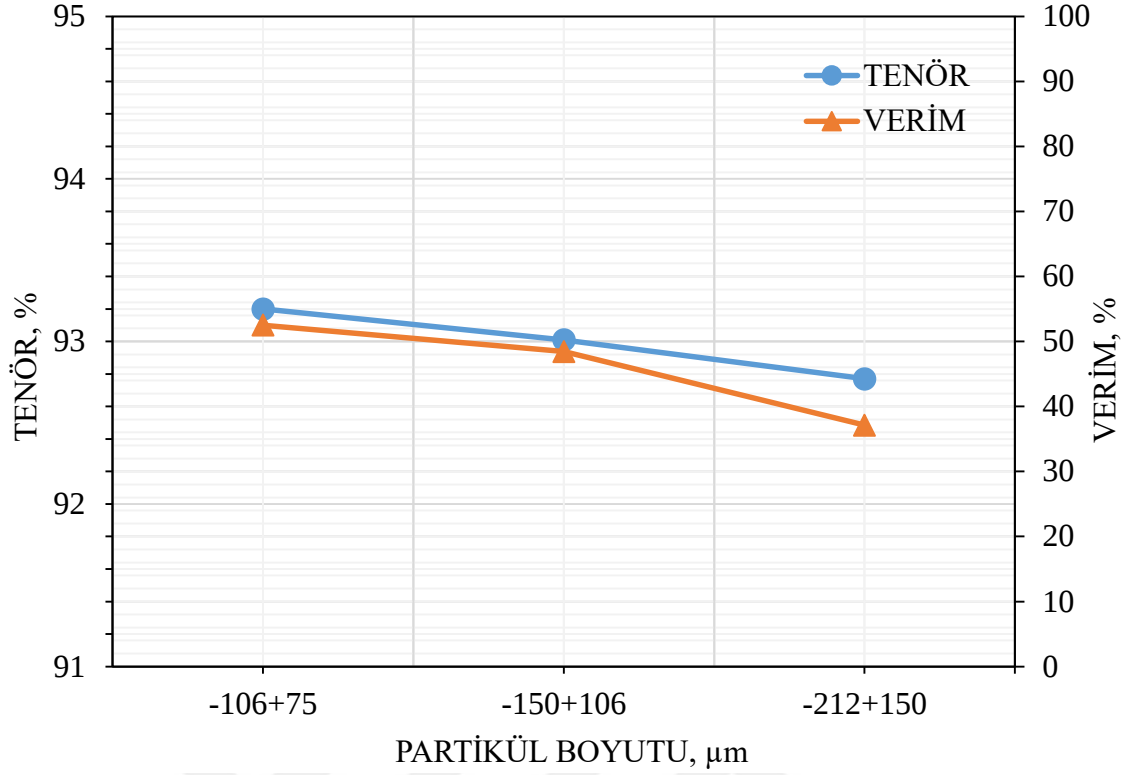
Tane boyutu, µm	Manyetik alan şiddeti (Gauss)					
	Tenör, %			Verim, %		
	13000	15500	17200	13000	15500	17200
-212+150	92,27	92,26	92,77	25,95	36,17	37,12
-150+106	92,95	92,84	93,01	49,17	47,84	48,44
-106+75	93,18	93,70	93,20	56,05	58,89	52,50



Şekil 4.14. Farklı tane boyut fraksiyonlarındaki barit numunelerinin 13000 Gauss alan şiddetinde yapılan yaş manyetik ayırmada elde edilen tenör ve verim değerleri.

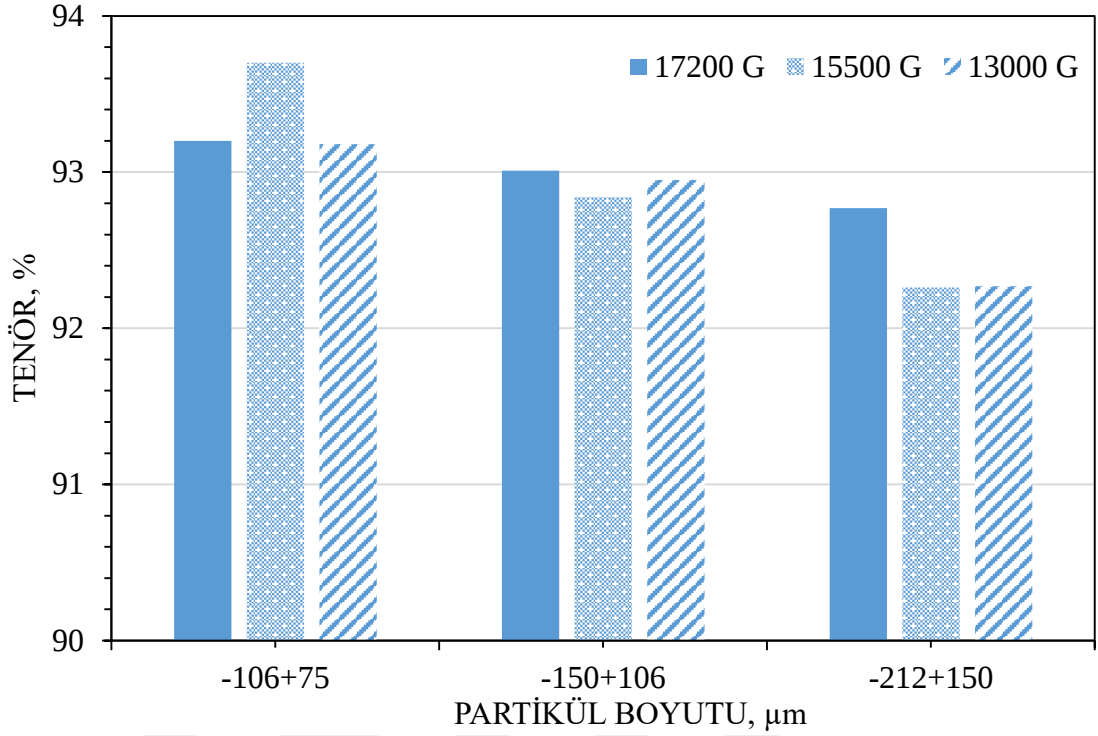


Şekil 4.15. Farklı tane boyut fraksiyonlarındaki barit numunelerinin 15000 Gauss alan şiddetinde yapılan yaş manyetik ayırmada elde edilen tenör ve verim değerleri.



Şekil 4.16. Farklı tane boyut fraksiyonlarındaki barit numunelerinin 17200 Gauss alan şiddetinde yapılan yaş manyetik ayırmada elde edilen tenör ve verim değerleri.

Farklı tane boyut fraksiyonlarında yapılan yaş manyetik ayırma testleri de, barit cevherleri için hematitin uzaklaştırıldığı en iyi manyetik alan şiddetinin 15500 G olduğunu göstermiştir. Şekil 4.17’de de görüldüğü üzere tane boyut fraksiyonları karşılaştırıldığında, tenör değerlerinin birbirine çok yakın olduğu fakat -106+75 μm ’lik boyut fraksiyonunun da en yüksek tenör değerinin elde edildiği görülmektedir.



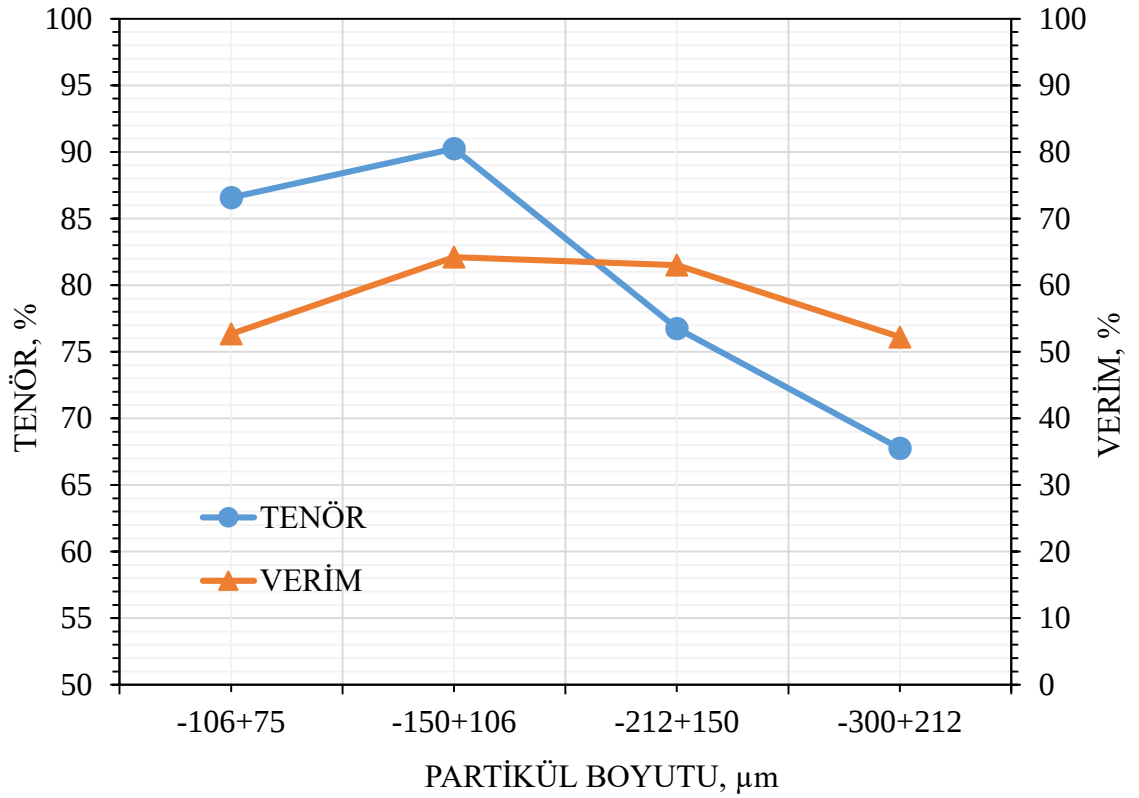
Şekil 4.17. Farklı tane boyut fraksiyonlarındaki barit numunelerinin değişen manyetik alan şiddetlerinde elde edilen tenör değerleri.

4.6 Sarsıntılı Masa ile Zenginleştirme İşlemleri

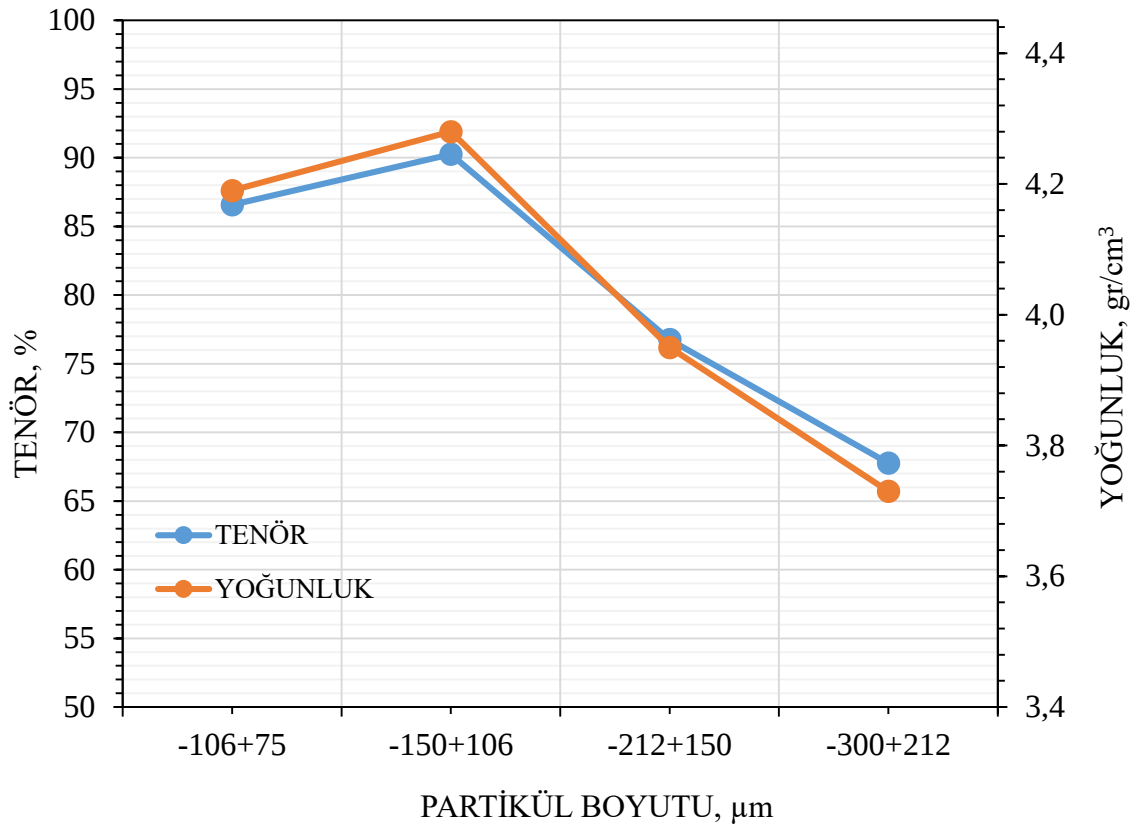
Barit cevherlerinde içeriği oluşturan barit minerali ile gang mineralleri arasında özgül ağırlık farkının belirgin olması ve gravite farkı ile zenginleştirme işlemlerinde etkili bir ayırma yapmak amacıyla, sarsıntılı masa ile zenginleştirme deneyleri yapılmıştır. Sarsıntılı masa ile zenginleştirme yöntemi için, özgül ağırlık farkının yanı sıra, cevherin serbestleştiği tane boyutu da oldukça önemlidir. Genel olarak iri tane boyutlarına uygulanan ve yüksek verimle çalışan bu cihazlar, ince taneli cevherlere de uygulanmakta, fakat verim düşebilmektedir. Bu nedenle çalışma için hazırlanan farklı boyut fraksiyonlarındaki barit numuneleri (-300+212 µm, -212+150 µm, -150+106 µm, -106+75µm) ile sarsıntılı masa deneyleri gerçekleştirilmiştir. Sarsıntılı masa ile zenginleştirme işlemleri, ocaktan gelen barit numunelerinden SiO₂ içeriği en yüksek olan YB4 numunesi ile yapılmıştır. YB4 numunesinin BaSO₄ tenörü % 70,57 iken, SiO₂ miktarı % 23,41'dir. Cevherin özgül ağırlığı ise, 3,70 gr/cm³'tür. Sarsıntılı masanın çalışma parametreleri ise, ince boyutlu barit numunesine göre ayarlanmıştır. Bu nedenle masanın eğimi 12°, genlik ise 3 mm olarak belirlenmiştir. Masa deneyleri boyunca yıkama suyu sabit tutulmuş ve 8 L/s kullanılmıştır. 4 tane boyutu için tekrar testleri yapılmıştır. 1.seri sarsıntılı masa test sonuçları Çizelge 4.5'te ve Şekil 4.18 ve 4.19'da görülmektedir.

Çizelge 4.5. Farklı tane boyut fraksiyonlarındaki barit cevherlerinin sarsıntılı masa ile zenginleştirilmesinin 1.seri teste ait tenör ve verim değerleri

Tane Boyutu (μm)	Konsantre Yoğunluğu (gr/cm^3)	Konsantre Tenörü (%)	Verim (%)
-300+212	3,73	67,76	52,23
-212+150	3,95	76,76	63,02
-150+106	4,28	90,26	64,21
-106+75	4,19	86,58	52,68



Şekil 4.18. Sarsıntılı masa 1. seri testleri sonucu farklı boyut fraksiyonlarındaki barit numunelerinde elde edilen tenör ve verim değerleri.

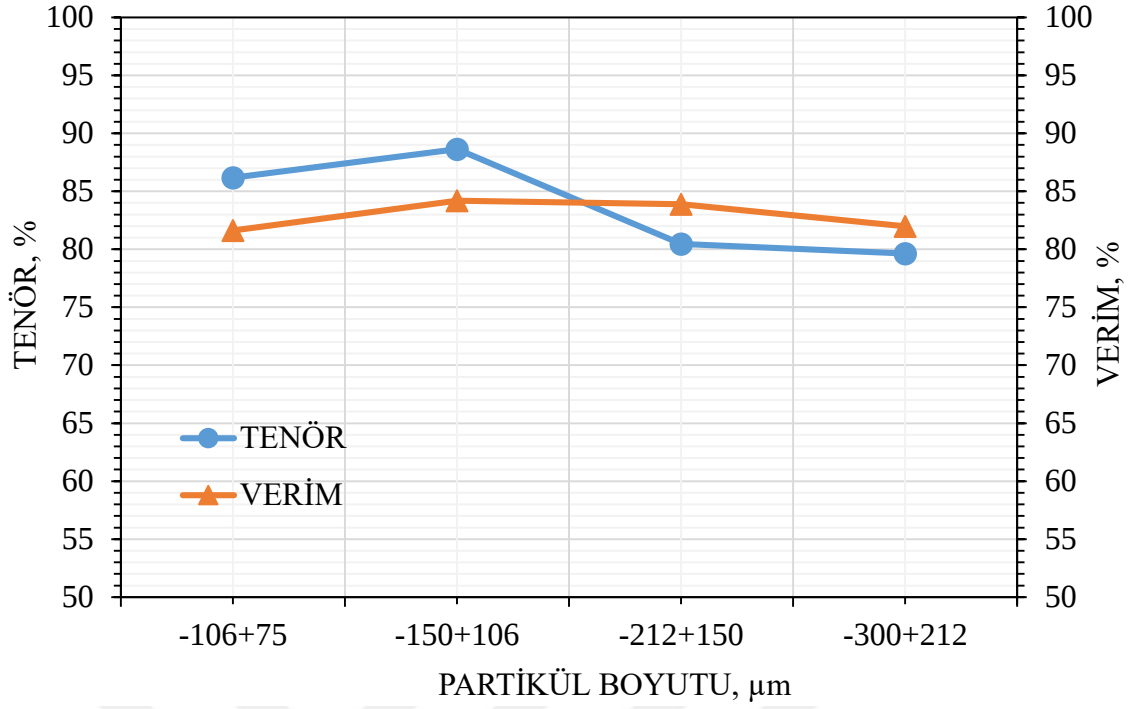


Şekil 4.19. Sarsıntılı masa 1. seri testleri sonucu farklı boyut fraksiyonlarındaki barit numunelerinde elde edilen tenör ve yoğunluk değerleri.

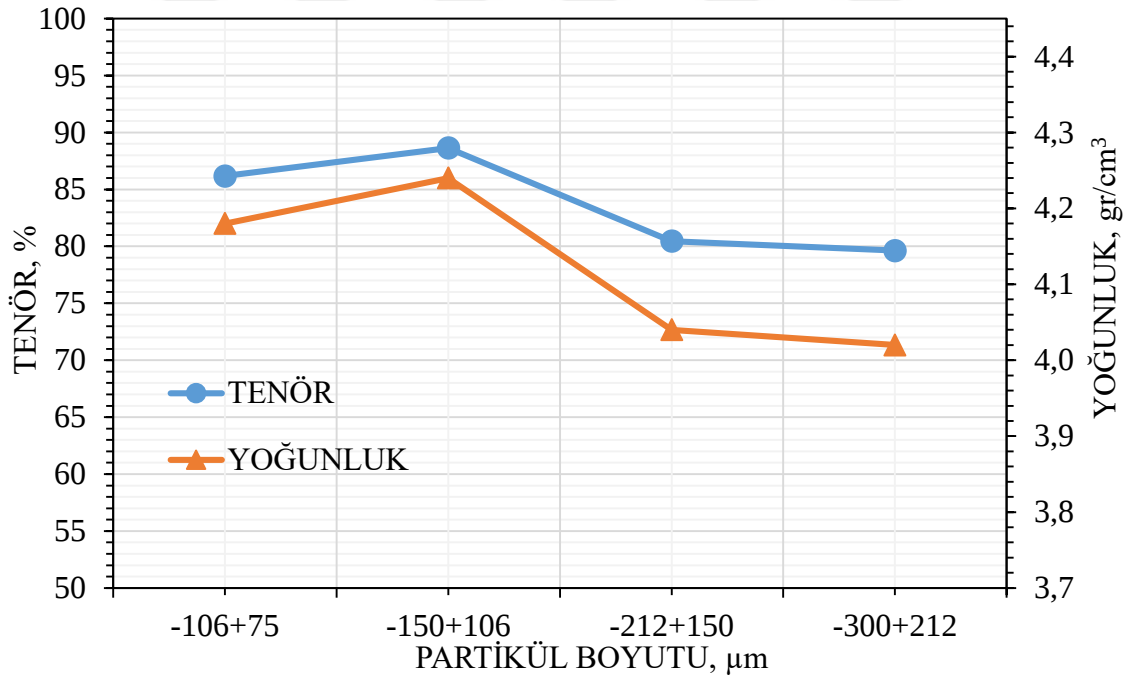
Yapılan ilk sarsıntılı masa deneylerinde barit cevherlerinin tenör değerlerinin -150+106 μm boyut fraksiyonunda elde edilebilecek en yüksek değere geldiği görülmüştür. Bulunan değerler için sarsıntılı masa testleri aynı koşullarda tekrar edilmiştir. Tekrar edilen 2. seri testlere ait sonuçlar ise Çizelge 4.6'da ve Şekil 4.20 ve 4.21'de sunulmuştur.

Çizelge 4.6. Farklı tane boyutundaki barit numunelerinin 2. seri sarsıntılı masa ile zenginleştirme testlerine ait tenör-verim değerleri

Tane Boyutu (μm)	Konsantre Yoğunluğu (gr/cm^3)	Konsantre Tenörü (%)	Verim (%)
-300+212	4,02	79,63	81,97
-212+150	4,04	80,45	83,88
-150+106	4,24	88,63	84,18
-106+75	4,18	86,17	81,62

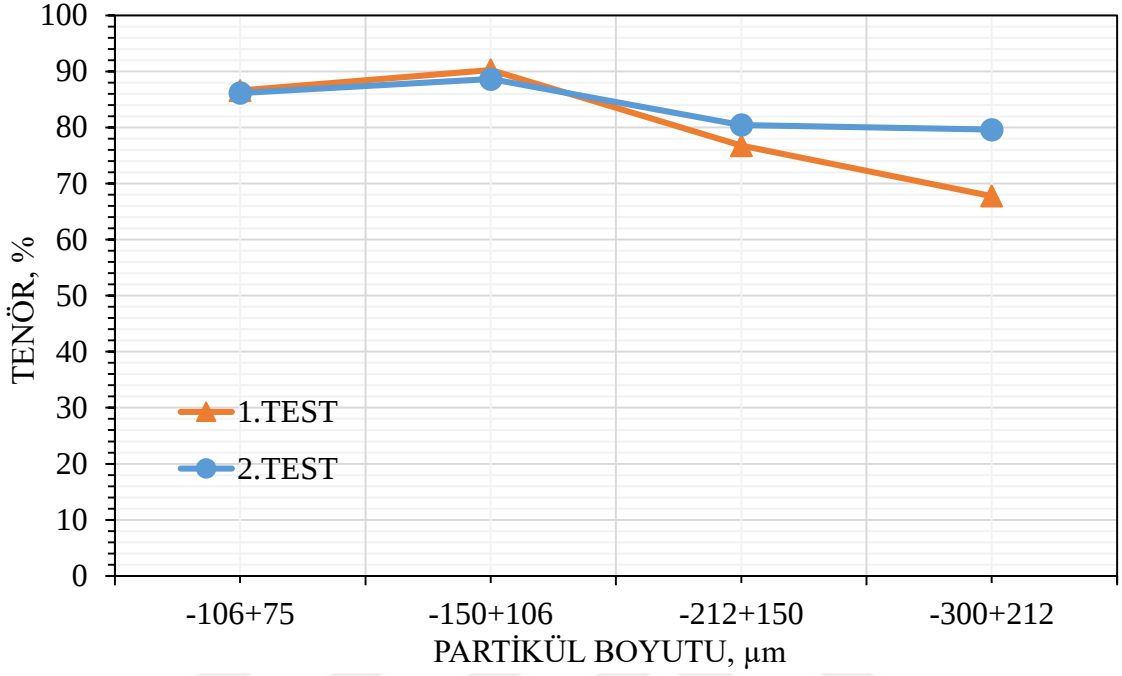


Şekil 4.20. Tekrarlanan (2. seri) sarsıntılı masa testleri sonucu farklı boyut fraksiyonlarındaki barit numunelerinde elde edilen tenör ve verim değerleri.

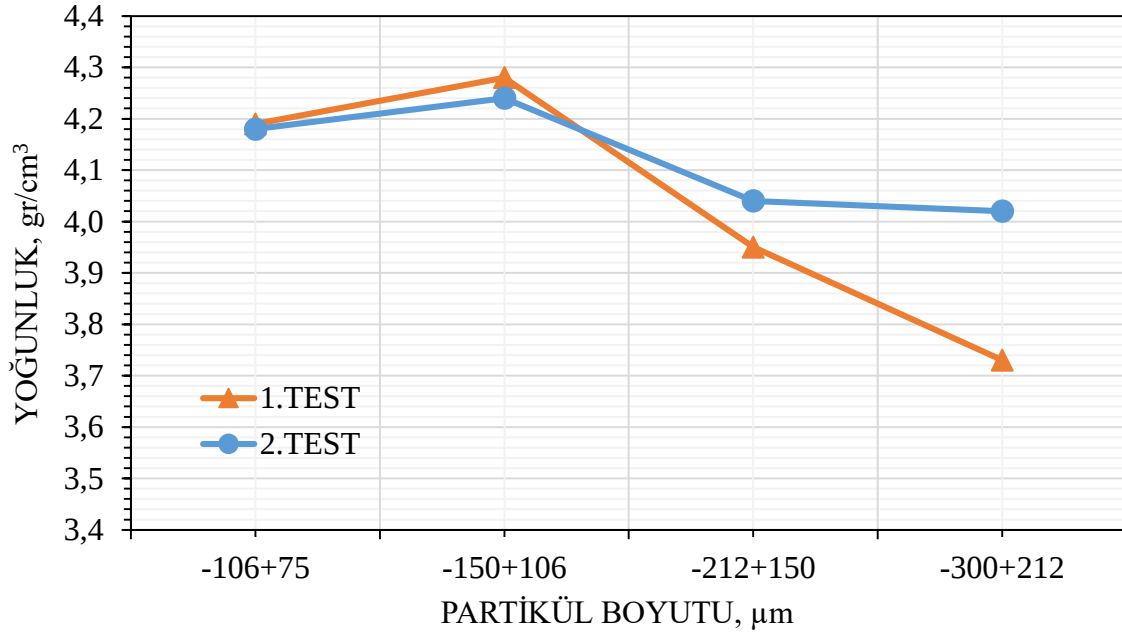


Şekil 4.21. Tekrarlanan (2. seri) sarsıntılı masa testleri sonucu farklı boyut fraksiyonlarındaki barit numunelerinde elde edilen tenör ve yoğunluk değerleri.

Sarsıntılı masa ile yapılan zenginleştirme çalışmalarında her iki test sonuçları da birbirine yakın çıkmıştır. Her iki testi kıyaslamak için, tenör değerleri Şekil 4.22’de ve yoğunluk değerleri Şekil 4.23’te görülmektedir.



Şekil 4.22. Farklı boyut fraksiyonlarındaki barit numunelerinin sarsıntılı masa ile yapılan zenginleştirmede iki ayrı test için elde edilen tenör değerlerinin karşılaştırılarak gösterimi.



Şekil 4.23. Farklı boyut fraksiyonlarındaki barit numunelerinin sarsıntılı masa ile yapılan zenginleştirmede iki ayrı test için elde edilen yoğunluk değerlerinin karşılaştırılarak gösterimi.

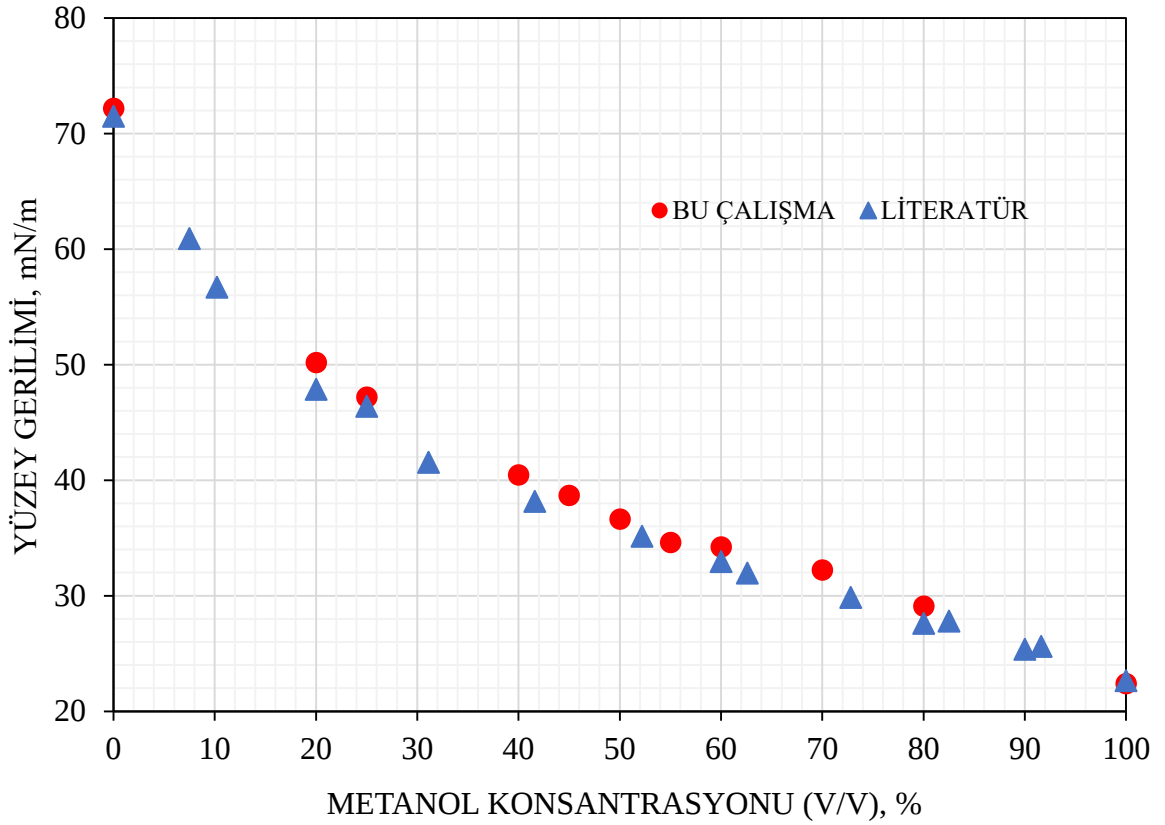
Sarsıntılı masa ile yapılan ilk test sonucunda barit tenörünün -300+212 μm boyut fraksiyonunda, beslenen tenörü olan % 70,57 BaSO_4 değerinin altına düştüğü fakat 2. testlerde yükseldiği görülmüştür. Bu sapmanın nedeninin, serbestleşme tane boyutundan kaynaklandığı, bağlı tanelerin kararsız yapısından dolayı, konsantreye geçmesi beklenen barit mineralinin artık ile beraber atıldığı görülmüştür. Fakat daha küçük boyutlar olan -212+150 μm boyutunda tenör 1.testte % 76,76'ya 2.testte % 80,45'e, -106+75 μm boyutunda 1.testte % 86,58'e 2.testte % 86,17'ye yükseltilmiştir. En yüksek değerler -150+106 μm boyutunda elde edilmiştir; Tenör, 1.testte % 90,26 BaSO_4 'a ve 2.testte % 88,63 BaSO_4 olarak elde edilmiştir.

4.7 Islanma Deneylerinde (Temas Açısı Ölçümü) Kullanılan Çözeltiler ve Yüzey Gerilimleri

Barit cevherlerinin hidrofobluk özelliklerini belirlemek için temas açısı ölçümlerinde kullanılacak farklı konsantrasyonlarda (% 0'dan % 100'e kadar değişen) metanol-su çözeltileri hazırlanmıştır. Kullanılan sıvıların konsantrasyonlarına karşılık gelen ve damla-ağırlık yöntemiyle belirlenen yüzey gerilimi değerleri Çizelge 4.7'de verilmiştir. Söz konusu damla - ağırlık yöntemi ile belirlenen metanol çözeltilerinin yüzey gerilimleri değerleri literatür (Weast, 1987) değerleriyle karşılaştırılarak uyumlu olduğu Şekil 4.24'te ve Ek-6'da sunulmuştur.

Çizelge 4.7. Islanma deneylerinde (temas açısı ölçümlerinde) kullanılan metanol-su çözeltilerinin konsantrasyonlarına karşılık bulunan yüzey gerilimi değerleri

Sudaki Metanol Miktarı	Yüzey Gerilimi (γ_{SH}),
%, v/v	mN/m
0	72,18
20	50,19
25	47,20
40	40,47
45	38,68
50	36,64
55	34,61
60	34,23
70	32,23
80	29,09
100	22,40



Şekil 4.24. Temas açısı ölçümünde kullanılan ve yüzey gerilimleri belirlenen metanol-su çözeltilerinin yüzey gerilimi değerlerinin literatür değerleriyle karşılaştırılması.

Bulunan yüzey gerilimleri değerlerinin, literatürde bulunan yüzey gerilimi değerleri ile kıyaslandığında birbirine çok yakın olduğu görülmektedir.

4.8 Temas Açısı Yöntemi ile Kritik Islanma Yüzey Gerilimi Değerlerinin (γ_c) Belirlenmesi

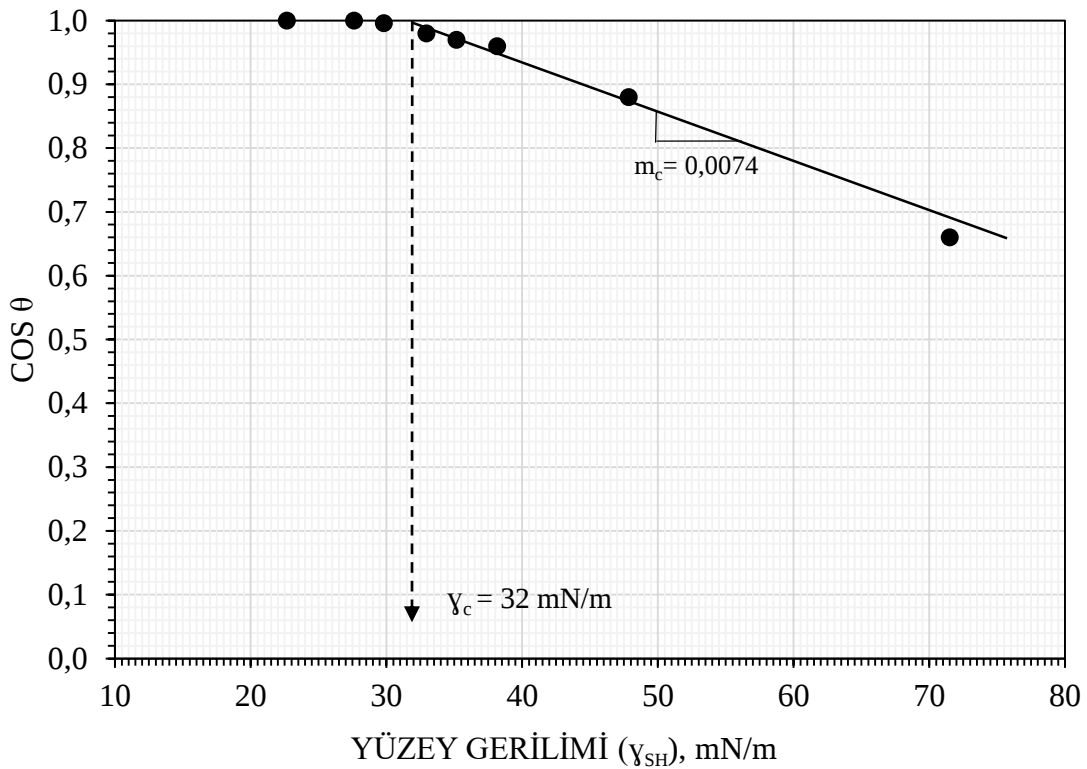
Bilyalı ve çubuklu değirmenlerde öğütülmüş, farklı tenörlere sahip barit cevherleri (düşük tenörlü YBD numunesi ve yüksek tenörlü YBİ numunesi), flotasyon için uygun değirmen çıkışı olan -212+38 μm boyut fraksiyonlarından temas açısı ölçümleri için disk şeklinde preslenerek peletler hazırlanmıştır. Peletlerin yüzeylerinin hidrofobik yapılacağı Sodyum dodesil sülfat (SDS) çözeltisi $0,77 \times 10^{-3}$ M olarak hazırlanmıştır ve pelet yüzeyleri bu konsantrasyondaki SDS ile adsorplanmıştır.

Yüzeyi SDS reaktifi ile adsorplanan pelet halindeki numunelerin, gonyometre ile temas açıları ölçülerek kritik ıslanma yüzey gerilimi değerleri Zisman Temas Açısı ölçümü yaklaşımıyla tespit edilmiştir.

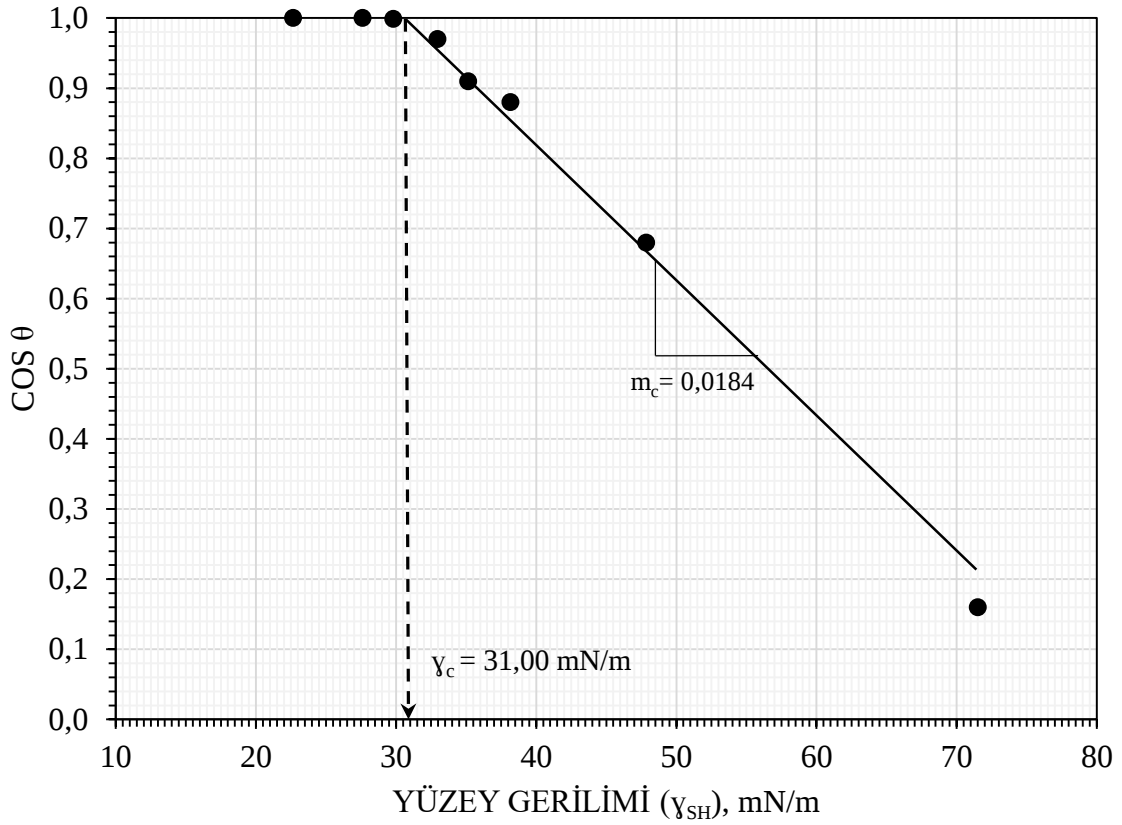
Gonyometre ile ölçülmüş temas açıları değerleri Ek-7’de sunulmuştur. Ayrıca, söz konusu ıslanma diyagramında, minerallerin hidrofobluk derecesine ait başka bir gösterge olan doğrunun eğimi (m_c) de gösterilmiştir. Doğrunun eğim değerleri numuneler arasında kıyaslandığında flotasyon için hidrofobik/hidrofilik dereceleri hakkında ön bilgiler vermiştir.

4.8.1 Bilyalı değirmenlerde öğütülmüş barit cevherlerinin kritik ıslanma yüzey gerilimi değerlerinin (γ_c) belirlenmesi

Bilyalı değirmenlerde öğütülen ve flotasyon için beslenen tane boyut fraksiyonuna hazırlanan düşük ve yüksek tenörlü barit cevherlerinin Zisman Temas Açısı Metoduyla temas açıları ölçülerek ıslanma $\cos\Theta$ - γ_{SH} diyagramları sunulan ve kritik ıslanma yüzey gerilimi (γ_c) değerleriyle diyagramdaki eğim değerleri yorumlanarak Şekil 4.25 ve 4.26 da verilmiştir.



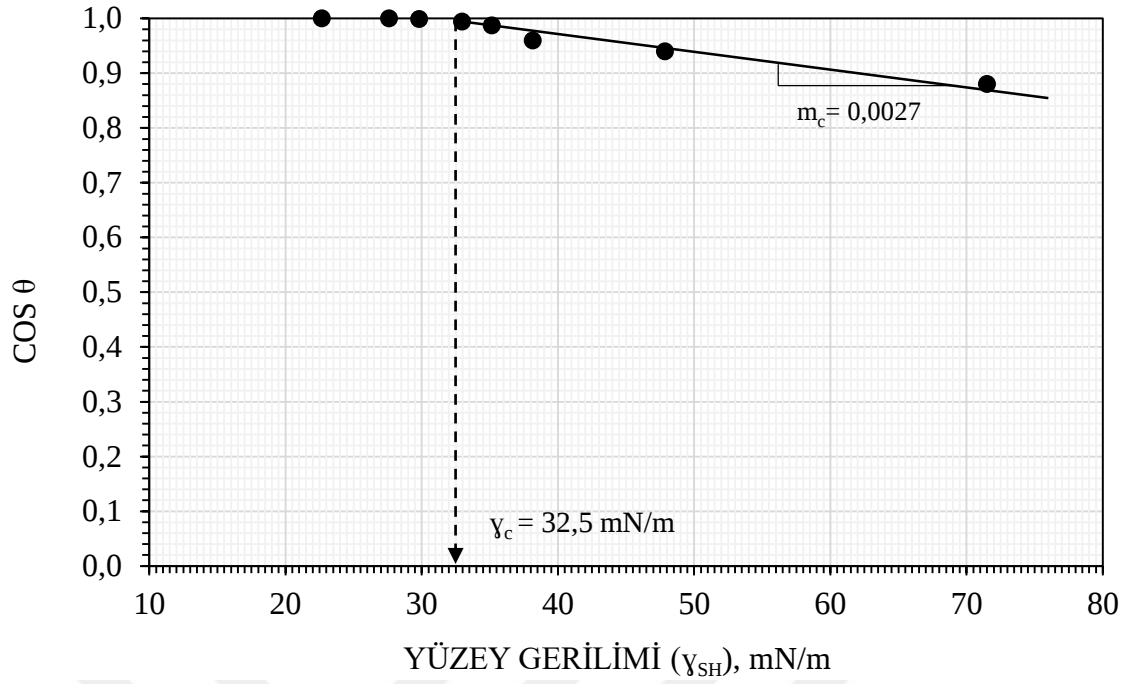
Şekil 4.25. Bilyalı değirmende öğütülmüş YBD numunesinin -212+38 μm boyut fraksiyonu peletlenerek, Zisman temas açısı yöntemiyle kritik ıslanma yüzey gerilimi (γ_c) ve eğim değerlerinin belirlendiği ıslanma diyagramı (Adsorbe edilen kimyasal madde: Sodyum dodesil sülfat (SDS)).



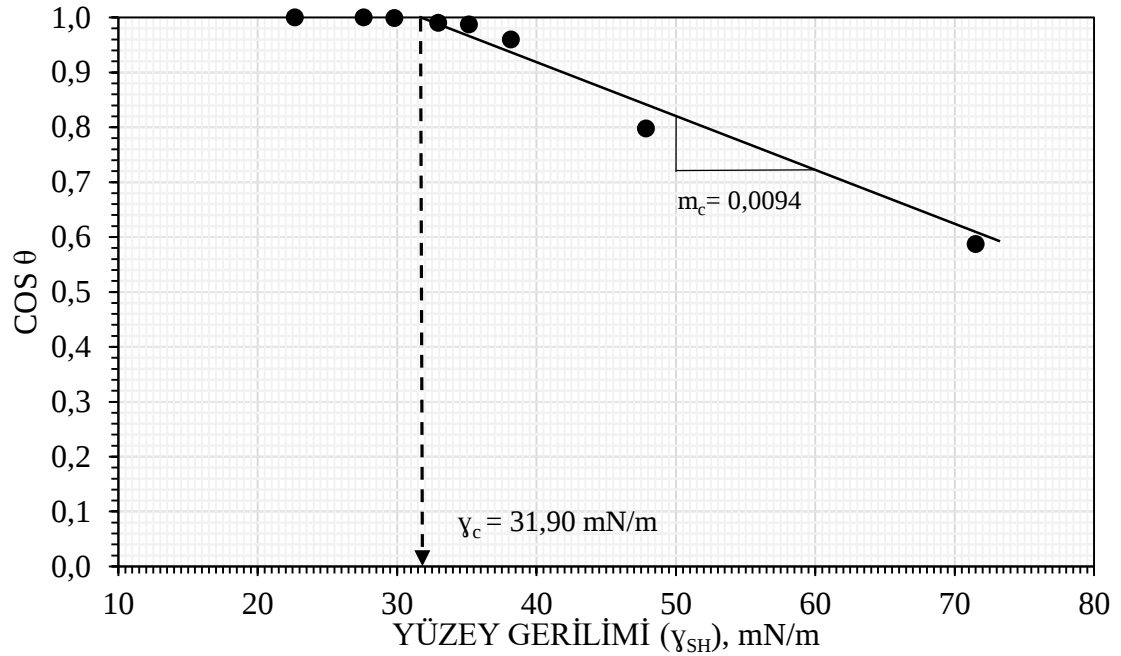
Şekil 4.26. Bilyalı değirmende öğütülmüş YBİ numunesinin -212+38 μm boyut fraksiyonu peletlenerek, Zisman temas açısı yöntemiyle kritik ıslanma yüzey gerilimi (γ_c) ve eğim değerlerinin belirlendiği ıslanma diyagramı (Adsorbe edilen kimyasal madde: Sodyum dodesil sülfat (SDS)).

4.8.2 Çubuklu değirmenlerde öğütülmüş barit cevherlerinin kritik ıslanma yüzey gerilimi değerlerinin (γ_c) belirlenmesi

Çubuklu değirmenler öğütülmüş ürünler olarak düşük ve yüksek tenörlü barit cevherlerinin temas açısı ölçümleri sonucu benzer yaklaşımla elde edilen kritik ıslanma yüzey gerilimleri (γ_c) ve eğim değerleri Şekil 4.27 ve 4.28’ de verilmiştir.

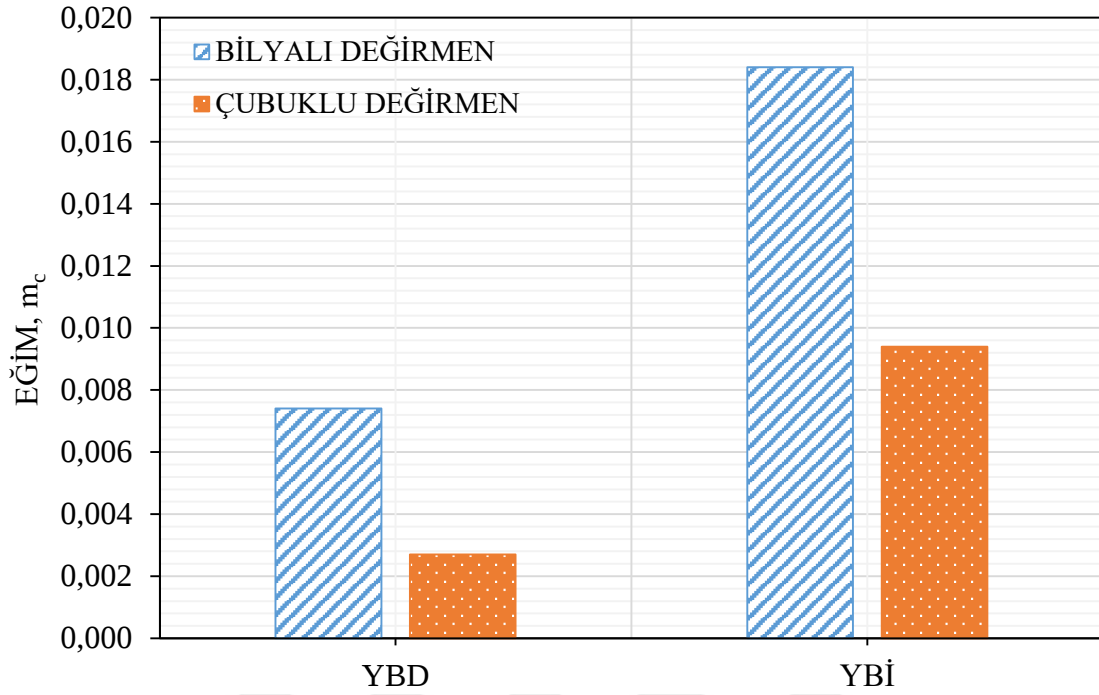


Şekil 4.27. Çubuklu değirmende öğütülmüş YBD numunesinin -212+38 μm boyut fraksiyonu peletlenerek, Zisman temas açısı yöntemiyle kritik ıslanma yüzey gerilimi (γ_c) ve eğim değerlerinin belirlendiği ıslanma diyagramı (Adsorbe edilen kimyasal madde: Sodyum dodesil sülfat (SDS)).



Şekil 4.28. Çubuklu değirmende öğütülmüş YBİ numunesinin -212+38 μm boyut fraksiyonu peletlenerek, Zisman temas açısı yöntemiyle kritik ıslanma yüzey gerilimi (γ_c) ve eğim değerlerinin belirlendiği ıslanma diyagramı (Adsorbe edilen kimyasal madde: Sodyum dodesil sülfat (SDS)).

Barit numunelerinin ıslanma diyagramlarında (Şekil 4.25, 4.26, 4.27 ve 4.28’de) verilen eğim değerleri (m_c) Şekil 4.29’da karşılaştırmak amacıyla topluca verilmiştir.



Şekil 4.29. Zisman temas açısı ölçümü yaklaşımı ile belirlenen eğim (m_c) değerlerinin ürünün alındığı değirmen türüne göre karşılaştırılması.

4.9 Flotasyon ile Zenginleştirme Çalışmaları

4.9.1 Ön flotasyon deneyleri

Yapılan ön flotasyon çalışmaları için, literatür çalışmalarından yararlanılarak, uygun reaktiflerin seçimi, reaktiflerin dozajı, ortamın pH'ı, beslenenin tane boyutu, kullanılacak hücrenin boyutu, pülpte katı oranı vb. parametreler değerlendirilmiştir.

Baritin flotasyon yöntemiyle zenginleştirilmesi testleri Denver tipi kendinden hava emmeli flotasyon hücresinde yapılmıştır. Flotasyon hücresi 1000 d/d hızla ve 2 L'lik selülde % 10 katı oranında gerçekleştirilmiştir.

4.9.2 Tane boyutunun barit flotasyonuna etkisi

Flotasyon ile zenginleştirme işlemleri için en uygun besleme boyutların -250 μ m olduğu birçok araştırma için kabul görmüş olsa da her cevherin karakteristik özelliklerinden dolayı değişkenlik gösterdiği de bilinmektedir. Farklı cevherlerin farklı boyutlarda serbestleştiği göz önüne alınarak ve hatta aynı cevherlerin farklı lokasyonlardan alınmış örneklerinin bile farklı serbestleşme derecesine sahip olduğu göz önüne alınarak,

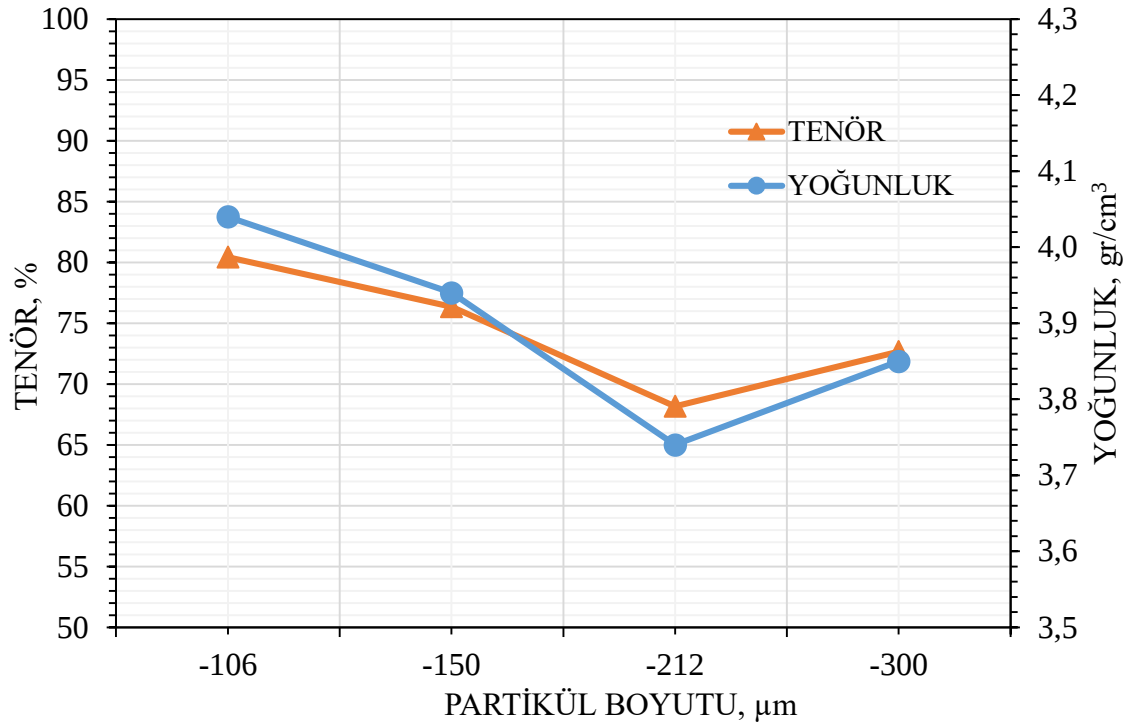
flotasyon deneylerinde kullanılacak olan barit numunelerinin farklı tane boyut fraksiyonlarında hazırlanan örnekleri ile zenginleştirme çalışmaları yapılmıştır. Yapılan ilk testlerden elde edilen sonuçlar Çizelge 4.8’de ve Şekil 4.30’da sunulmuştur.

Çizelge 4.8. Farklı tane boyutlarındaki barit cevherlerinin flotasyon testleri sonucu elde edilen tenör ve yoğunluk değerleri

Tane boyutu (μm)	Konsantre yoğunluğu* (gr/cm^3)	Konsantre tenörü** (%)	Konsantre verimi (%)
-300	3,85	72,67	39,27
-212	3,74	68,17	75,32
-150	3,94	76,35	78,00
-106	4,04	80,44	82,00

*Piknometre ile bulunan yoğunluk değerleri

**Piknometre+hesapla bulunan tenör değerleri



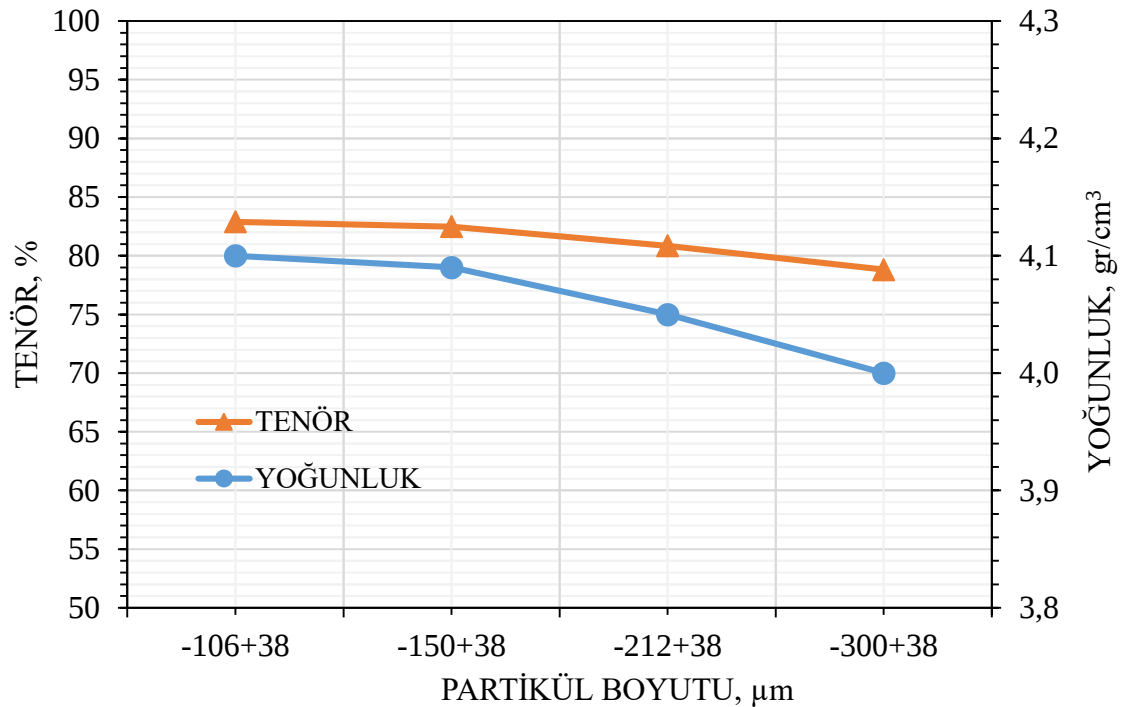
Şekil 4.30. Farklı tane boyutlarındaki barit cevherlerinin flotasyon testleri sonucu elde edilen tenör ve yoğunluk değerleri.

Flotasyon testlerinde, verimli bir zenginleştirme için öncelikle tane boyutunun belirlenmesi oldukça önemlidir. İlk testlerde elde edilen tenör değerlerinin istenilen

seviyede olmadığı görülmüş ve bu nedenle birçok farklı boyutta ön testler yapılmıştır. Tenörün düşük olmasının nedeni, çok ince boyutlu partiküllerin, flotasyon verimini ince partiküllerin yarattığı problemler nedeniyle olumsuz etkilediği düşünüldüğünden, -38 μm tane boyut fraksiyonu, beslenen ürünlerden elenip çıkarılarak yeni numuneler (-300+38 μm , -212+38 μm , -150+38 μm ve -106+38 μm) hazırlanmıştır. Bu deneylere ait sonuçlar Çizelge 4.9’da ve Şekil 4.31’de verilmiştir.

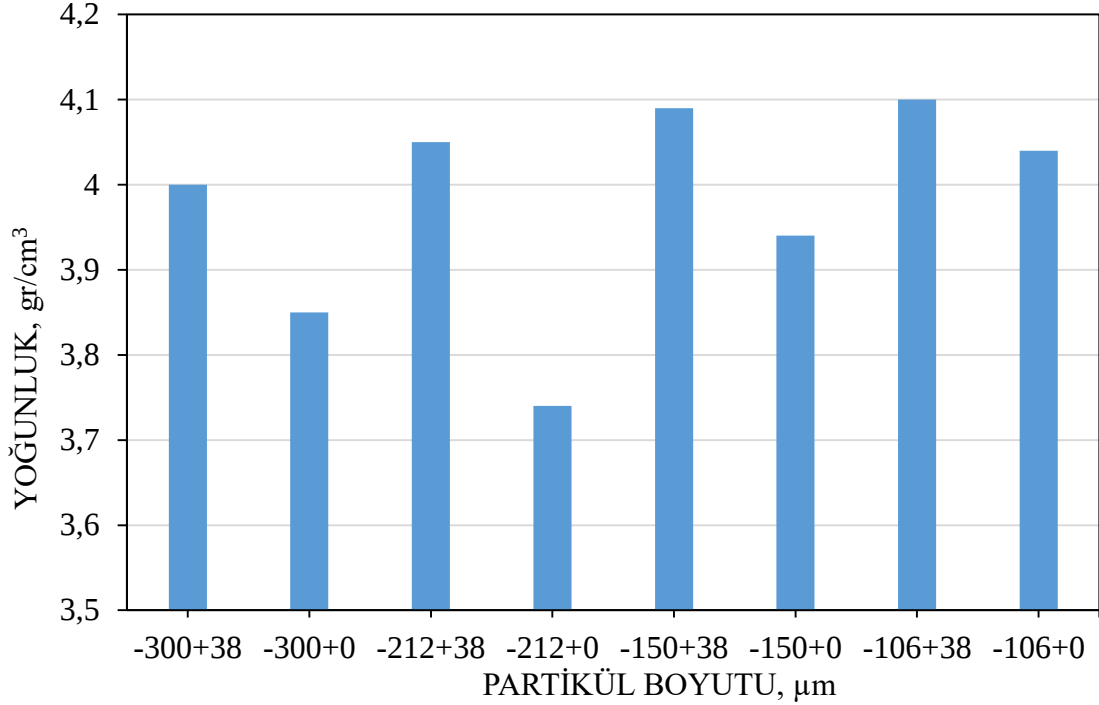
Çizelge 4.9. Farklı tane boyut fraksiyonlarındaki barit cevherlerinin flotasyon testleri sonucu elde edilen tenör ve yoğunluk değerleri

Tane boyutu (μm)	Konsantre yoğunluğu (gr/cm^3)	Konsantre tenörü (%)	Konsantre verimi (%)
-300+38	4,00	78,81	29,00
-212+38	4,05	80,85	72,00
-150+38	4,09	82,49	74,00
-106+38	4,10	82,90	76,00



Şekil 4.31. Farklı tane boyutlarındaki barit cevherlerinin flotasyon testleri sonucu elde edilen tenör ve yoğunluk değerleri (-38 μm fraksiyonu hariç).

Barit cevherleri için yapılan tüm tane boyut testlerinin gösterildiği Şekil 4.32’de de görüldüğü gibi, 38 µm boyutlu fraksiyon beslenen fraksiyondan ayrıldığında, tenör de artmıştır.



Şekil 4.32. Barit cevherlerinin farklı tane boyutunun flotasyonla zenginleştirilmesi sonucu elde edilen yoğunluk değerleri.

Deney sonuçlarından da görüldüğü gibi barit cevherlerinde -38 µm boyutunun flotasyon ile zenginleştirme testlerini yoğunluk (diğer bir anlamda tenör değerleri açısından) olumsuz etkilediği görülmüştür. Bundan dolayı deneysel çalışmalarda -38µm boyut fraksiyonu beslenen fonksiyondan hariç tutularak testler yapılmıştır. Daha ince tane boyutlarına geçildiğinde tenör değerlerinin yükseldiği görülmüş fakat ince öğütmenin artan maliyeti ve tenör değerlerinin de birbirine yakın olması göz önünde tutulduğundan dolayı flotasyon çalışmalarına -212+38 µm boyut fraksiyonu ile devam edilmiştir.

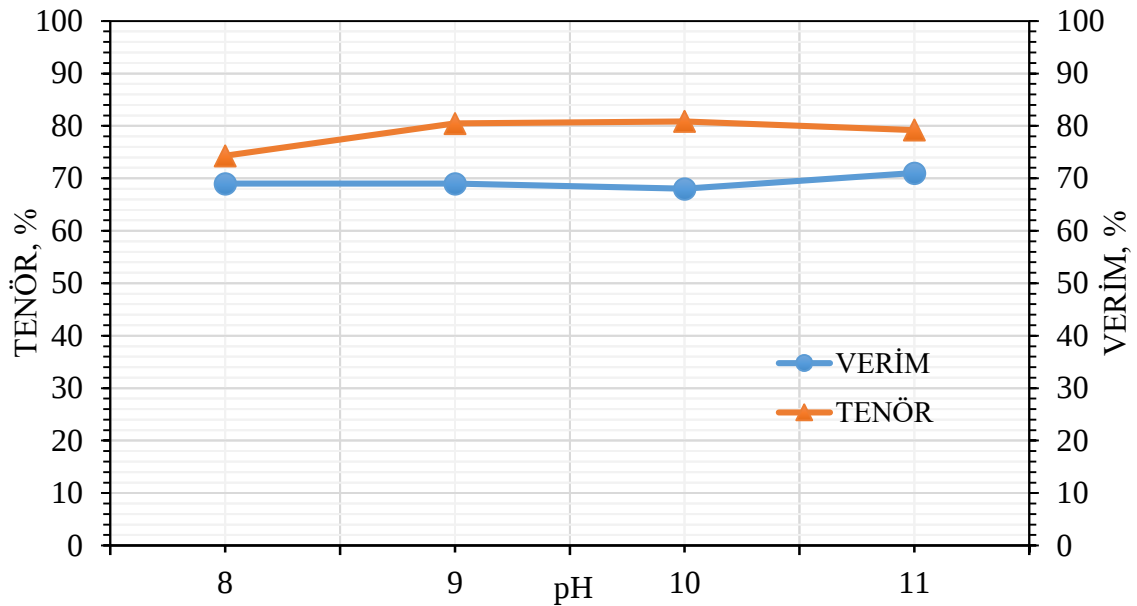
4.9.3 Ortam pH'ının barit flotasyonuna etkisi

Oksitli cevherlerden biri olan baritin sıfır yük noktası pH 5.3'te olup, potansiyeli tayin eden iyon hem baryum (Ba^{+2}) katyonu, hem de sülfat (SO_4)⁻² anyonudur. Pülpteki Ca^{+2} , Mg^{+2} , Fe^{+2} , Al^{+3} gibi katyonlar barit flotasyonunu etkilemekte, metal tuzu derişiminin artışı, baritin sıfır yük noktasını daha bazik pH'a kaydırmaktadır (Zadowski ve Smith, 1985). Barit cevherinin flotasyon ile zenginleştirme işlemlerinde ortam pH'ının oldukça etkili olduğu yapılan birçok araştırma sonucunda kanıtlanmıştır. Flotasyon için kullanılan kimyasalların, pülp içindeki mineral yüzeyleri ile istenilen tepkimeleri verebilmesi için

pülp pH'ının uygun olması gerektiği için, flotasyon deneylerinde ortam pH'ı; 8, 9, 10 ve 11'e ayarlanarak testler yapılmış ve elde edilen sonuçlar Çizelge 4.10'da ve Şekil 4.33'te verilmiştir.

Çizelge 4.10. Barit flotasyonunda farklı ortam pH'larında elde edilen konsantrelerin tenör ve yoğunluk değerleri

Ortam pH'ı (NaOH ilavesi ile)	Konsantre verimi (%)	Konsantre yoğunluğu (gr/cm ³)	Konsantre tenörü (%)
8	69,00	3,89	74,31
9	69,00	4,04	80,45
10	68,00	4,05	80,85
11	71,00	4,01	79,21



Şekil 4.33. Flotasyon ortamı pH değerlerine bağlı olarak tenör ve verim değerleri.

Flotasyon çalışmalarında yapılan farklı ortam pH değerlerinde flotasyon çalışmalarında, ortam pH'ının 10'a ayarlandığı testlerde en yüksek tenör elde edilmiştir. pH değerinin 11'e çıkmasıyla tenör değerleri düşmüş olup bu sebeple deneysel çalışmalarda pülp pH'ı 10'a ayarlanarak, diğer reaktiflerin uygun dozajları kullanılmıştır.

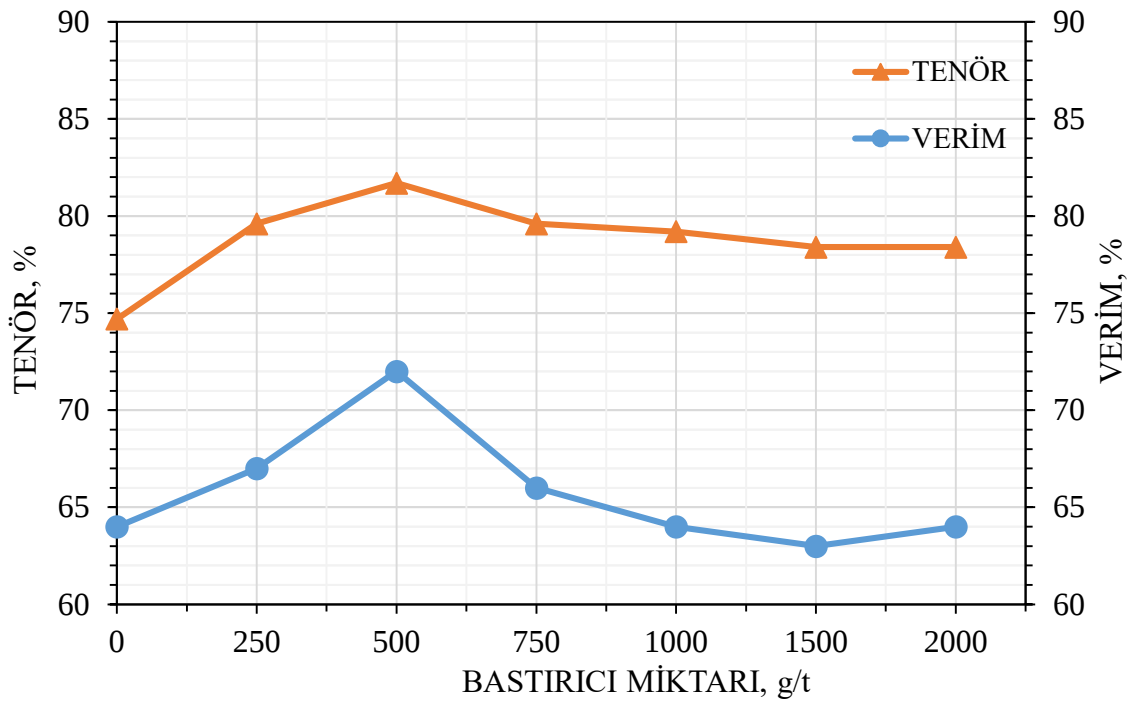
4.9.4 Bastırıcı dozajının barit flotasyonuna etkisi

Ön flotasyon deneyleri sonucunda belirlenen bastırıcı reaktifin seçiminden sonra deneylere bastırıcı dozajının belirlenmesi çalışmalarıyla devam edilmiş ve diğer

parametreler sabit tutularak, bastırıcı dozajı 0 g/t, 250 g/t, 500 g/t, 750 g/t, 1000 g/t, 1500 g/t ve 2000 g/t'a ayarlanarak testler yapılmıştır. Piknometre + hesapla bulunan deney sonuçları, Çizelge 4.11'de ve Şekil 4.34'te verilmiştir.

Çizelge 4.11. Barit flotasyonunda kullanılan farklı bastırıcı dozajlarında elde edilen konsantrelere ait tenör ve yoğunluk değerleri

Bastırıcı (Na_2SiO_3) Dozajı (g/t)	Konsantre Yoğunluğu (gr/cm ³)	Konsantre Tenörü (%)	Konsantre Verimi (%)
250	4,02	79,60	67,00
500	4,07	81,70	72,00
750	4,02	79,60	66,00
1000	4,01	79,20	64,00
1500	3,99	78,40	63,00
2000	3,99	78,40	64,00



Şekil 4.34. Farklı bastırıcı miktarlarında barit flotasyonunda tenör ve verim değerleri.

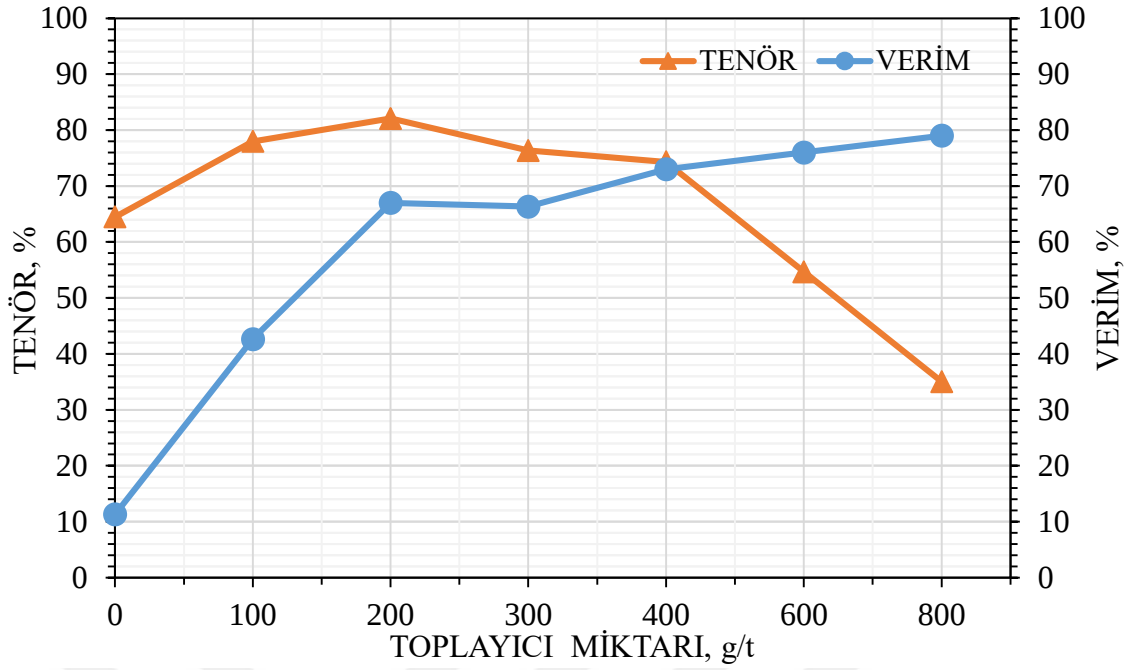
Bastırıcı miktarının 500 g/t'dan az kullanıldığı testlerde tenörde artış gözlenirken, bu değerden sonra tenörde düşüş gözlemlenmiştir. Bastırıcı miktarının 500 g/t kullanıldığı barit flotasyonunda, en yüksek tenör değerleri % 81,70 ile elde edilmiştir. Yüksek dozajda bastırıcı kullanıldığında tenördeki düşüşün nedeni, yüzdürülmek istenen değerli (barit) minerallerinin, bastırılmış olması ve gang mineralleri ile birlikte hareket etmiş olmasıdır. Bu nedenle çalışmalarda bastırıcı miktarı 500 g/t kullanılmıştır.

4.9.5 Toplayıcı dozajının barit flotasyonuna etkisi

Bir yüzey aktif maddenin toplayıcı olarak tanımlanabilmesi için, pülp içine eklendiğinde çözünerek ya da en azından dağılarak, hedef mineral yüzeyine fiziksel veya kimyasal olarak adsorblanması gerekmektedir. Toplayıcı miktarı arttıkça, ara yüzeyde yer kalmayacağı için toplayıcı monomerlerinin apolar kuyruklarının birleşmesiyle önce dimer yapı, derişiminin daha da artırılmasıyla ise misel yapılar oluşur. Bunun için yüzey aktif madde miktarı misel yapının başladığı kritik misel derişiminden (kmd) daha az olmalıdır. Bu çalışmada, flotasyon deneylerinin tamamında Sodyum Dodesil Sülfat (SDS) kullanılmıştır. Çizelge 4.12’de verilen sonuçlar incelendiğinde, en yüksek tenör ve verim değerleri (% 82,08 BaSO₄ ve % 67 verimle) sodyum dodesil sülfat dozajının 200 g/t’da yapılan deneyde elde edildiği görülmektedir. Piknometre + hesapla bulunan deney sonuçları, Şekil 4.35’te verilmiştir.

Çizelge 4.12. Barit flotasyonunda kullanılan farklı toplayıcı dozajlarında elde edilen konsantrelerin tenör ve yoğunluk değerlerine etkisi

Toplayıcı (SDS) dozajı	Konsantre yoğunluğu	Konsantre tenörü	Konsantre verimi
(g/t)	(gr/cm ³)	(%)	(%)
0	3,65	65,00	11,30
100	3,98	78,00	42,65
200	4,08	82,08	67,00
300	3,94	76,00	66,35
400	3,89	74,00	73,00
600	3,41	55,00	76,00
800	2,93	35,00	79,00



Şekil 4.35. Barit flotasyonunda farklı toplayıcı miktarındaki, konsantrelerin tenör ve verim değeri.

Çizelge 4.12’de ve Şekil 4.35’te görüldüğü gibi toplayıcı miktarının kullanılmadığı deneyde tenör çok düşük çıkmıştır. Dozaj arttırıldıkça tenörün yükseldiği ve 200 g/t’da en yüksek tenör değerinin elde edildiği görülmüştür. Bastırıcı 100 g/t kullanıldığında tenör yükselmiştir fakat verim oldukça düşük çıkmıştır. Bunun nedeni, konsantreye gelmesi beklenen değerli mineral tanelerinin yüzeylerinin yeteri kadar hidrofobik özellik kazanamamasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Toplayıcı miktarının 200 g/t’ dan fazla olduğu durumlarda ise tenörde düşüşler yaşanırken verimde gözle görülür yükselme yaşanmıştır. Bunun nedeni ise, toplayıcı miktarının artmasıyla artığa geçmesi beklenen artık ürünlerinin, konsantreye karışarak köpüğe geçmesidir. Bu sebeplerden dolayı, hem verim, hem de tenördeki değişimler göz önüne alınarak toplayıcı miktarı 200 g/t olarak belirlenmiştir.

4.9.6 Köpürtücü dozajının barit flotasyonuna etkisi

Hava kabarcıklarının birbirleriyle birleşerek büyük boyutlu kabarcık oluşturmaması için, kabarcıkların etrafındaki sıvı filmin viskozitesinin yeterince kuvvetli olması ve kabarcıkların etrafını saran sıvı filmin aşağı doğru akışının olmaması gerekmektedir. Bunun sağlanması için de mekanik mukavemet ve dışarıdan gelecek tane veya kabarcık çarpışmasına dayanıklı olması gerekmektedir. Çizelge 4.13’te ve Şekil 4.36’da görüldüğü gibi, köpürtücü miktarı 150 g/t’da en iyi tenör ve verim değerleri elde edilmiştir.

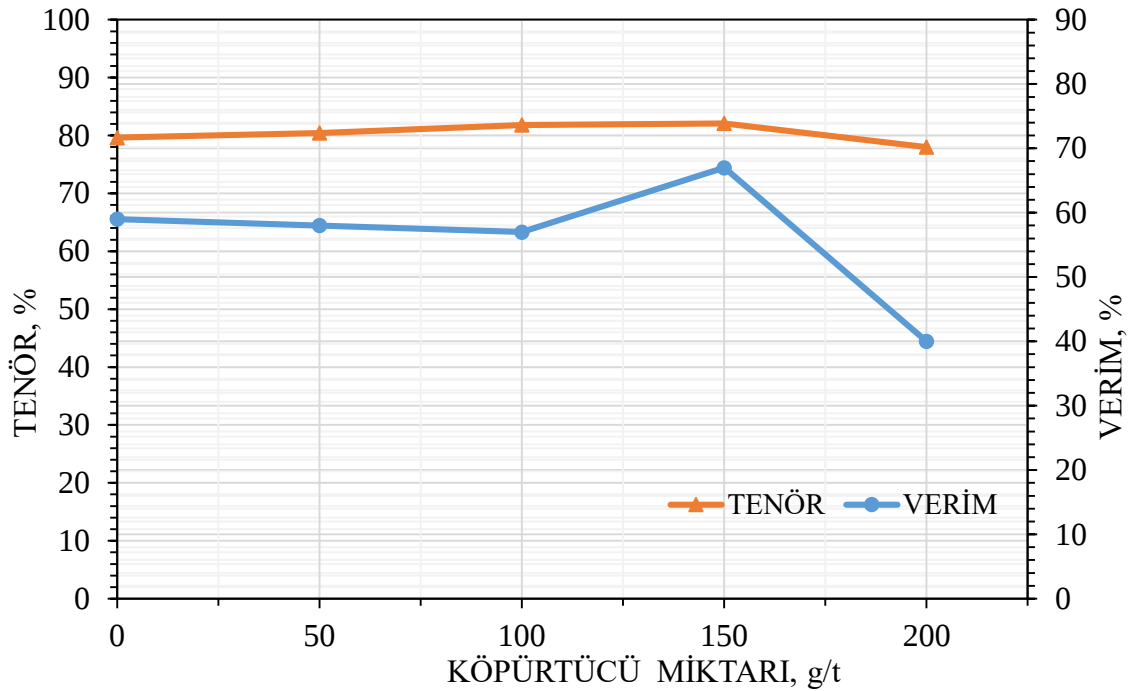
Çizelge 4.13. Barit flotasyonunda farklı köpürtücü dozajlarında elde edilen konsantrelerin tenör ve yoğunluk değerleri

Köpürtücü (MIBC) dozajı (g/t)	Konsantre verimi (%)	Konsantre yoğunluğu* (gr/cm ³)	Konsantre tenörü** (%)
0	59,00	4,02	79,63
50	58,00	4,04	80,44
100	57,00	4,07	81,83
150	67,00	4,08	82,08
200	40,00	3,98	77,99

*Piknometre ile bulunan yoğunluk değerleri

**Piknometre+hesapla bulunan tenör değerleri

MIBC köpürtücü dozajının 150 g/t'dan daha fazla miktarda kullanılmasında aşırı köpük hacminin hızlı köpük taşmasına ve hava kabarcıklarına yapışması istenen hidrofobik minerallerin tutunamayarak, hidrofilik minerallerle birlikte artığa karışmasına sebep olarak, konsantre verimi ve tenör değerinin de düşmesine neden olmuştur. Buna göre en uygun köpürtücü miktarının 150 g/t olduğu ve bu çalışmalarda bu dozaj değeri kullanılmıştır.



Şekil 4.36. Barit flotasyonunda kullanılan farklı köpürtücü miktarlarının elde edilen konsantrelerin tenör ve verim değerlerine etkisi.

4.9.7 Flotasyon kinetiği çalışmaları

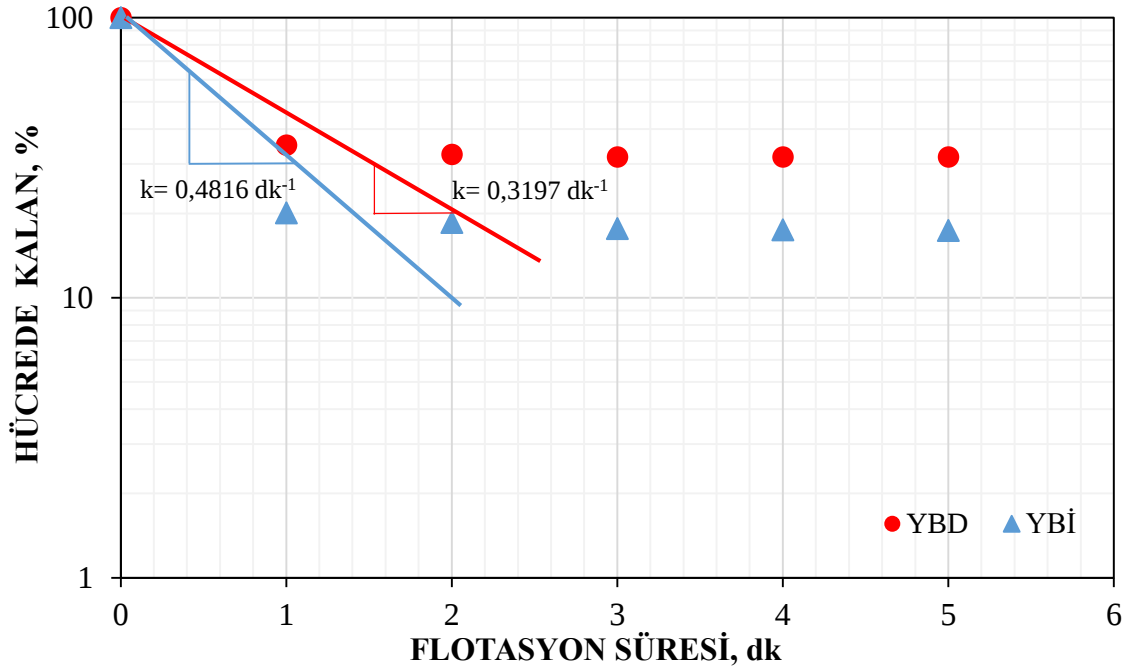
Flotasyon hücresinde barit tanelerinin gang minerallerinden etkin ayrılmasında oluşan koşullarda ve ortamda konsantre olarak alınması için flotasyon kinetiği çalışmaları kapsamında YBD ve YBİ numunelerine ait sonuçlar Çizelge 4.14, Çizelge 4.15'te ve Şekil 4.37'de sunulmuştur. Barit cevherlerindeki değerli içerik olan barit mineralinin belirli sürede ve miktarda konsantre olarak alınması gereklidir.

Çizelge 4.14. YBD barit numunelerinin flotasyon kinetik çalışmaları

Süre (dk)	Ürünler	Yüzen Kümülatif (%)	Kalan Kümülatif (%)
0	Köpük 0-1"	0,00	100
1	Köpük 1-2"	64,91	35,09
2	Köpük 2-3"	67,48	32,52
3	Köpük 3-4"	68,13	31,87
4	Köpük 4-5"	68,19	31,82
5	Artık	68,20	31,81
	Toplam	100,00	-

Çizelge 4.15. YBİ barit numunelerinin flotasyon kinetik çalışmaları

Süre (dk)	Ürünler	Yüzen Kümülatif (%)	Kalan Kümülatif (%)
0	Köpük 0-1"	0,00	100,00
1	Köpük 1-2"	79,92	20,08
2	Köpük 2-3"	81,45	18,55
3	Köpük 3-4"	82,33	17,67
4	Köpük 4-5"	82,54	17,46
5	Artık	82,63	17,37
	Toplam	100,00	



Şekil 4.37. YBD ve YBİ barit numunelerinin flotasyon kinetiği.

Şekil 4.37 incelendiğinde yüksek tenörlü baritlerin (YBİ) elde edilen flotasyon hız sabiti (k), düşük tenörlü baritlerin (YBD) hız sabitine göre yüksek ($k_{YBİ} > k_{YBD}$) olduğu belirlenmiştir. Sonuç olarak, flotasyon işlemlerinde köpük alma sürecinde 1 dakika sonunda hücrede kalan miktarın yüksek tenörlü barit cevherlerinde daha az olduğunu göstermektedir. Hücrede kalan YBİ baritlerinin daha az olması, flotasyon hücresinden köpüğe tutunarak sistemi daha hızlı terk etmesi olarak açıklanmaktadır. Dolayısıyla yüksek tenörlü barit cevherlerinin düşük tenörlü barit cevherlerine göre daha hızlı yüzdüğü çalışmalarla belirlenmiştir.

4.9.8 Farklı değirmenlerde öğütülmüş barit numunelerinin flotasyonu

Cevherlerin, farklı değirmenlerde öğütüldüklerinde, farklı kırılma karakteristiği gösterdikleri bilinmektedir. Bu kırılma sonucu oluşan ve morfolojiye bağlı olarak flotasyon davranışına etkilerini incelemek amacıyla barit numuneleri bilyalı ve çubuklu değirmenlerde öğütülerek flotasyon testlerine tabi tutulmuşlardır.

Ocaktan gelen iki farklı barit numunesi üzerinde önce bilyalı değirmende 16 dakika öğütülmüş ve $-212+38 \mu\text{m}$ boyut fraksiyonu alınarak flotasyon ile zenginleştirme yapılmıştır. Aynı işlemler çubuklu değirmende de yapılmış olup, çubuklu değirmende barit cevherleri 5 dakika öğütülmüş ve $-212+38\mu\text{m}$ boyut fraksiyonu alınarak flotasyon ile zenginleştirilmiştir. Flotasyonla zenginleştirme işlemleri sonucu elde edilen

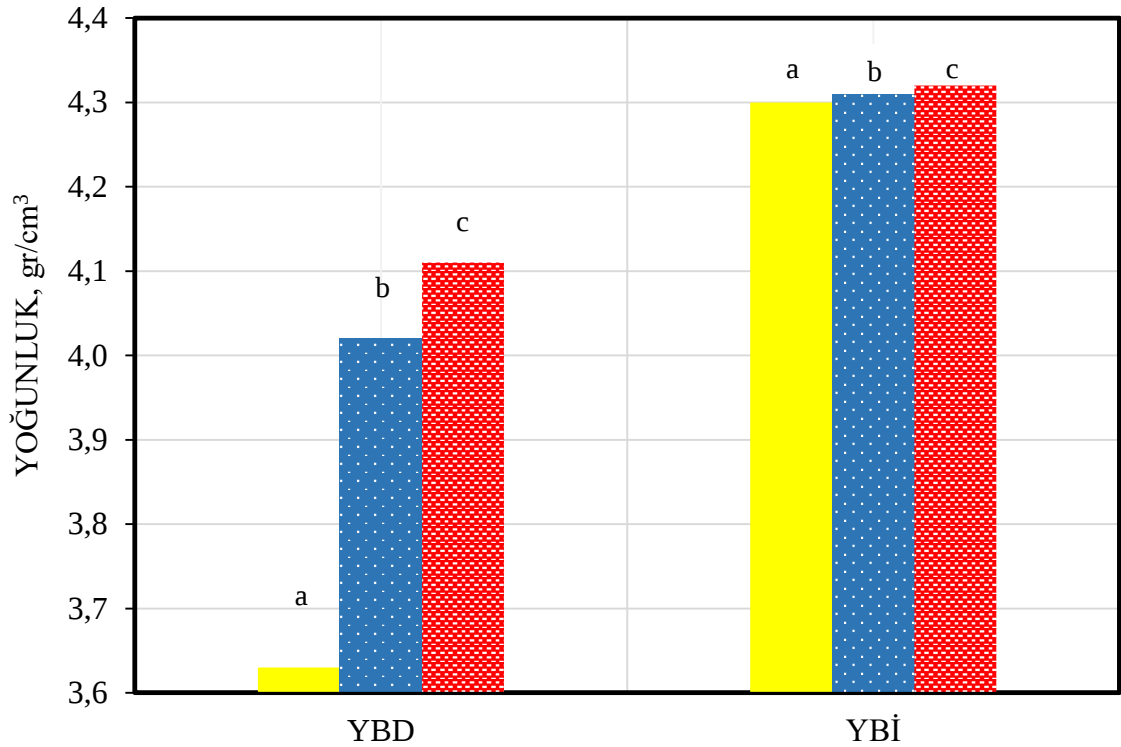
konsantrelerin piknometre ile yoğunluk değerleri belirlenerek (hesaplamalı yaklaşımla) tenör değerleri hesapla bulunmuştur. Beslenen ve ürünlere ait yoğunluk değerlerine karşılık gelen tenör değerleri Çizelge 4.16’da ve Şekil 4.38, 4.39 ve 4.40’da verilmiştir.

Çizelge 4.16. Çubuklu ve bilyalı değirmenlerde öğütülmüş barit numunelerinin flotasyon ürünlerin yoğunluk, tenör ve verim değerleri

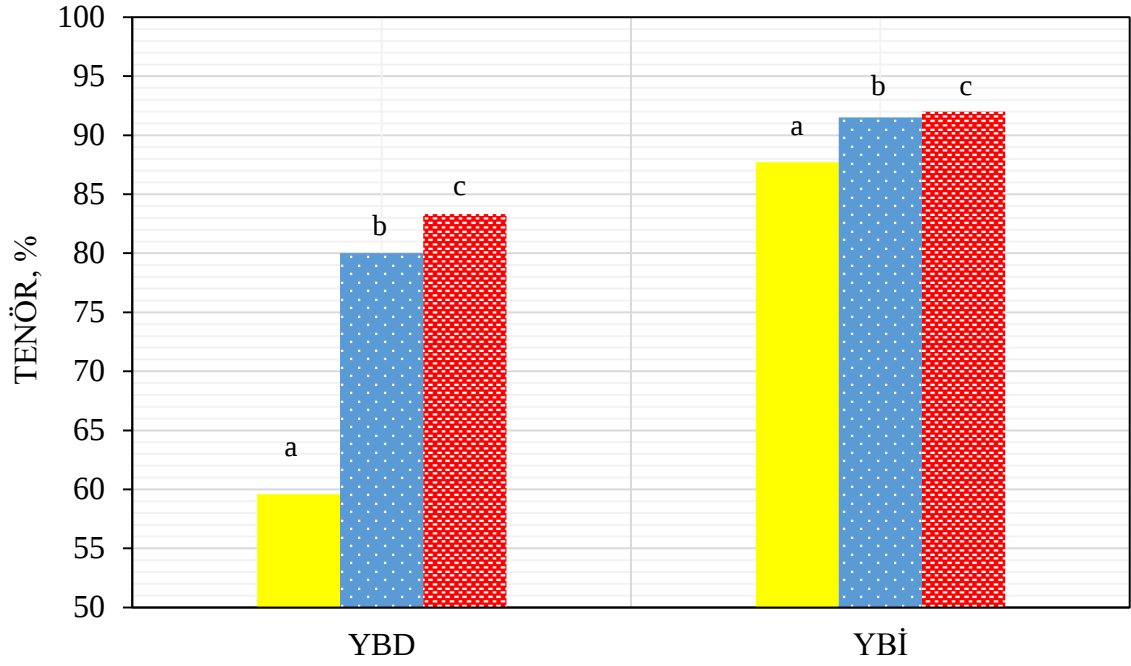
Ürün Adı	Düşük Tenörlü Barit (YBD)			Yüksek Tenörlü Barit (YBİ)		
	Yoğunluk* (gr/cm ³)	Tenör** (%)	Verim (%)	Yoğunluk (gr/cm ³)	Tenör (%)	Verim (%)
Beslenen	3,63	59,58	-	4,3	87,71	-
Çubuklu Değirmen	4,02	80	51,92	4,31	91,5	93,78
Bilyalı Değirmen	4,11	83,31	67,75	4,32	92	95,23

* Üç tekrar ölçümün ortalaması

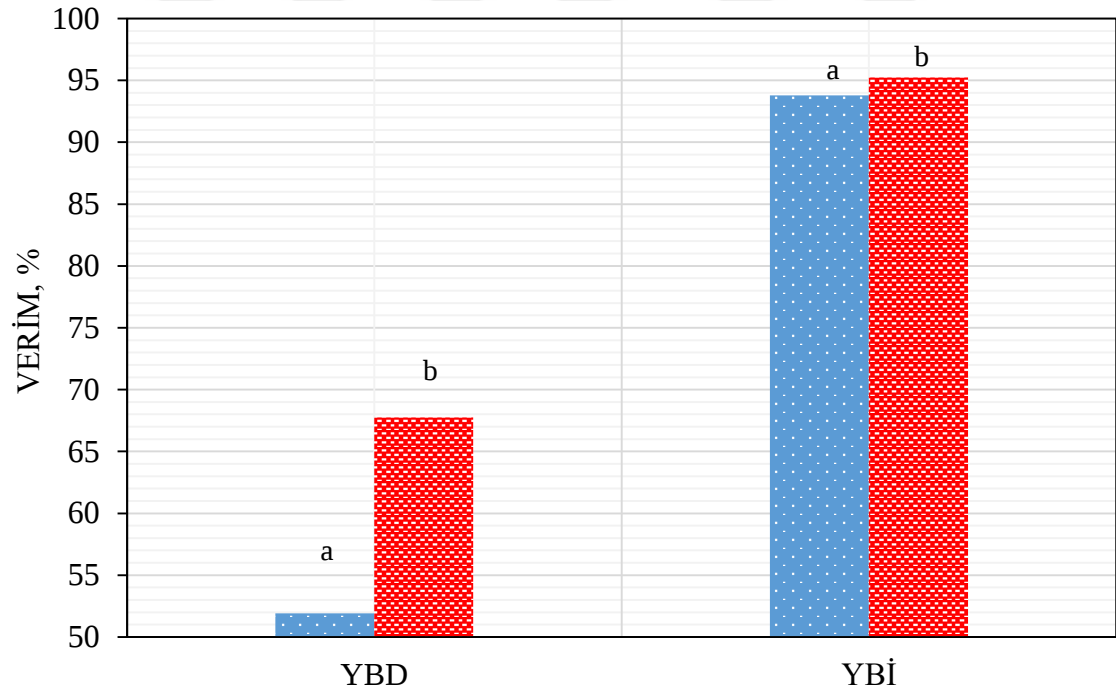
** Hesapla bulunan tenör değerleri



Şekil 4.38. Çubuklu ve bilyalı değirmenlerde öğütülmüş düşük ve yüksek tenörlü barit cevherlerinin flotasyonu sonucu ürünlerin belirlenen yoğunluk değerlerinin karşılaştırılması (a; tüvenan cevher, b; çubuklu değirmen ürünü, c; bilyalı değirmen ürünü).



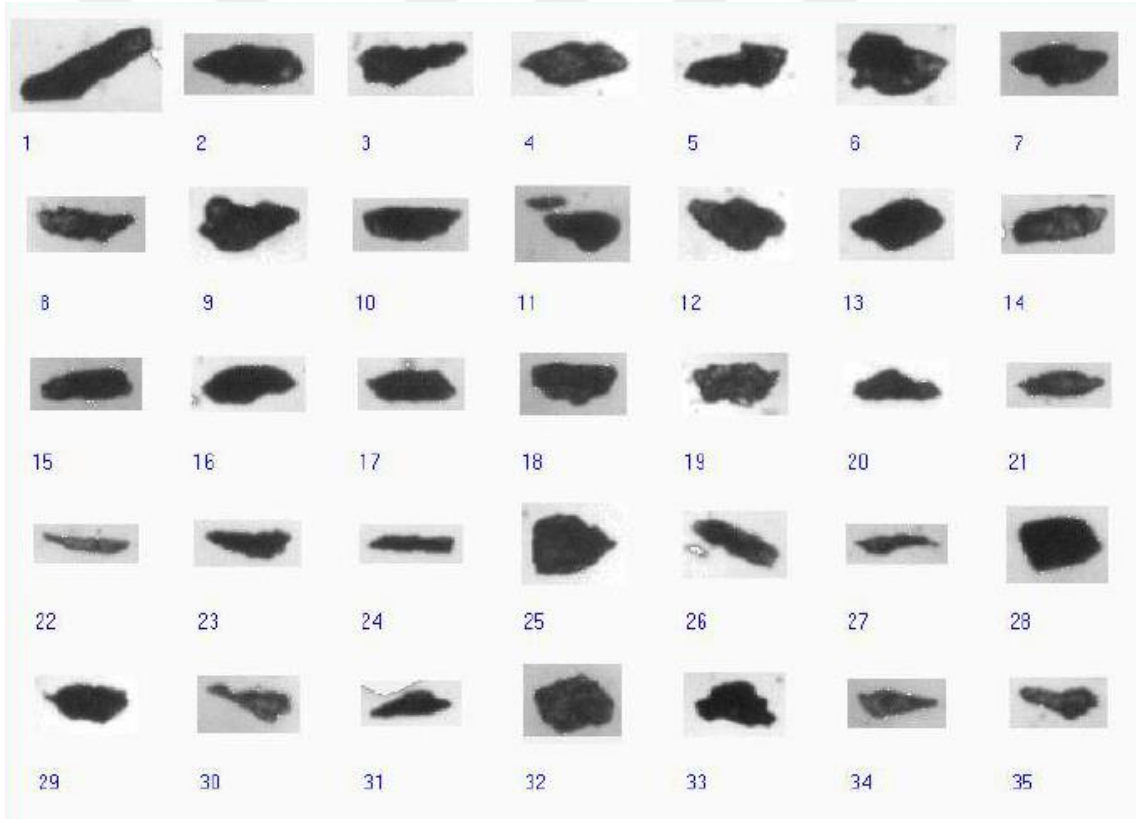
Şekil 4.39. Çubuklu ve bilyalı değirmenlerde öğütülmüş düşük ve yüksek tenörlü barit cevherlerinin flotasyonu sonucu ürünlerin belirlenen tenör değerlerinin karşılaştırılması (a; tüvenan cevher, b; çubuklu değirmen ürünü, c; bilyalı değirmen ürünü).



Şekil 4.40. Çubuklu ve bilyalı değirmenlerde öğütülmüş düşük ve yüksek tenörlü barit cevherlerinin flotasyonu sonucu ürünlerin belirlenen verim değerlerinin karşılaştırılması (a; çubuklu değirmen ürünü, b; bilyalı değirmen ürünü).

4.10 Dinamik Görüntü Analizi Yöntemi (DIA) ile Numunelerin Tane Şekil Özelliklerinin Belirlenmesi

Micromeritics Particle Insight 3 Boyutlu görüntü analiz cihazı (DIA) yardımı ile barit tanelerinin, şekil özellikleri için YBD (düşük tenörlü barit) ve YBİ (yüksek tenörlü barit) numuneleri kullanılarak, farklı değirmenlerde öğütülen ürünleri, flotasyon ile zenginleştirilmeye tabi tutulmuştur. Flotasyon testlerinde her barit numunesinden kontrol amaçlı birbirinden bağımsız 3 set deney yapılmıştır. Bu deneylerden elde edilen konsantre ve artık ürünleri toplam 24 adet olmak üzere, tüvenan testleriyle birlikte toplam 26 adet test numunesinin şekil ve morfolojik özellikleri incelenmiştir. Her test numunesinden de üç adet dinamik görüntüleme analizi yapılmıştır. Bu çalışmada kullanılan barit numunelerine ait olan ve Micromeritics Particle Insight 3 Boyutlu görüntü analiz cihazı ile alınan tane şekillerine ait temsili bir görüntü Şekil 4.41’de gösterilmektedir.

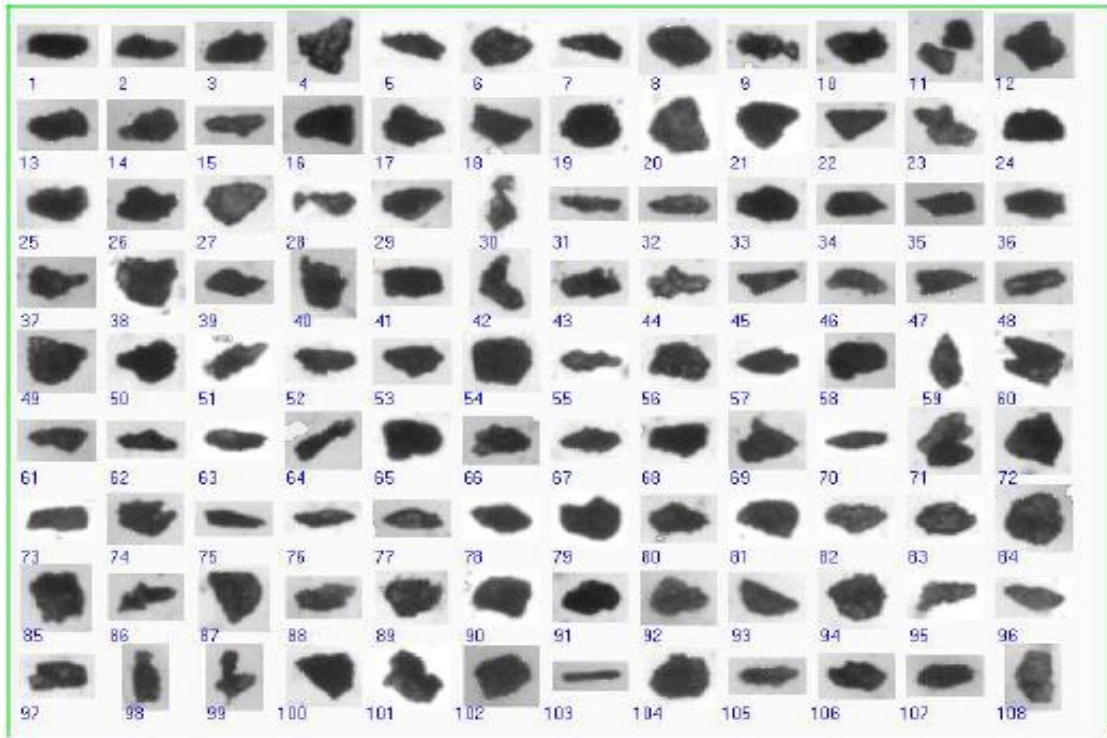


Şekil 4.41. Bu çalışmada kullanılan barit numunelerinin Micromeritics Particle Insight 3 Boyutlu görüntü analiz cihazı ile alınan tane şekillerini gösterir genel bir görüntü.

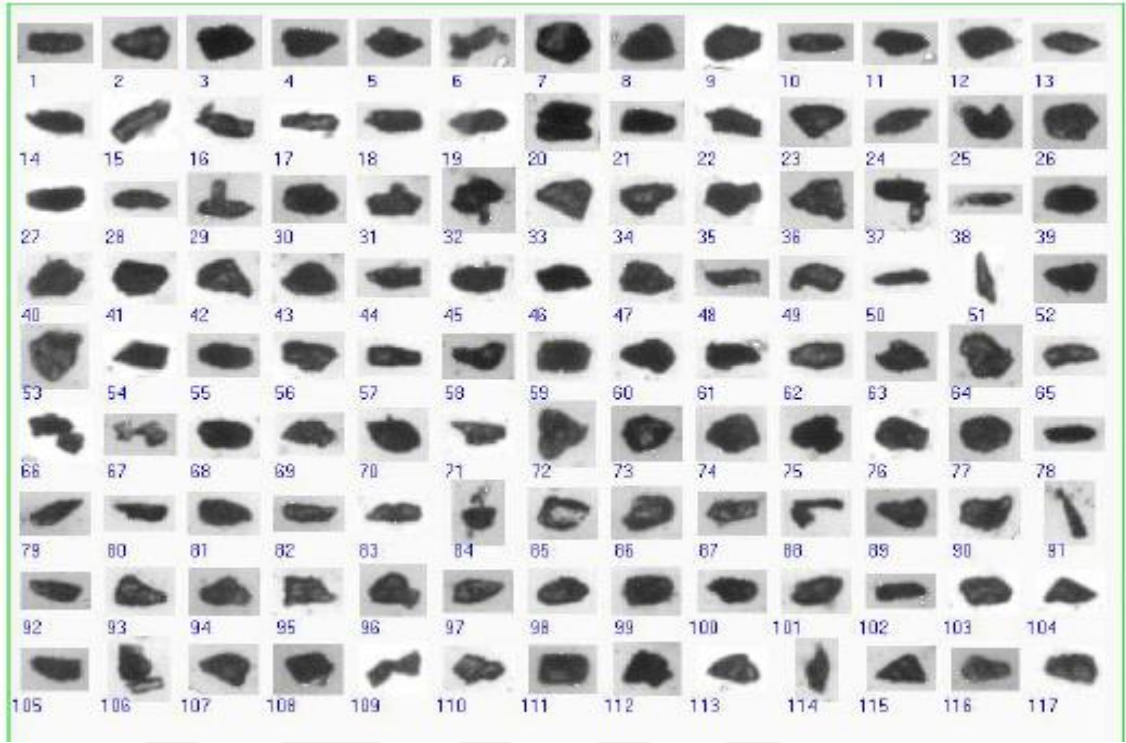
Şekil 4.41’de görüldüğü gibi barit numunelerine ait tane şekilleri, daha çok elipstik şekillerde ve/veya ince-uzun yassı taneler halinde görülmektedir.

4.10.1 Düşük tenörlü (YBD) baritlerin dinamik görüntü analizi yöntemi ile tane şekillerinin belirlenmesi

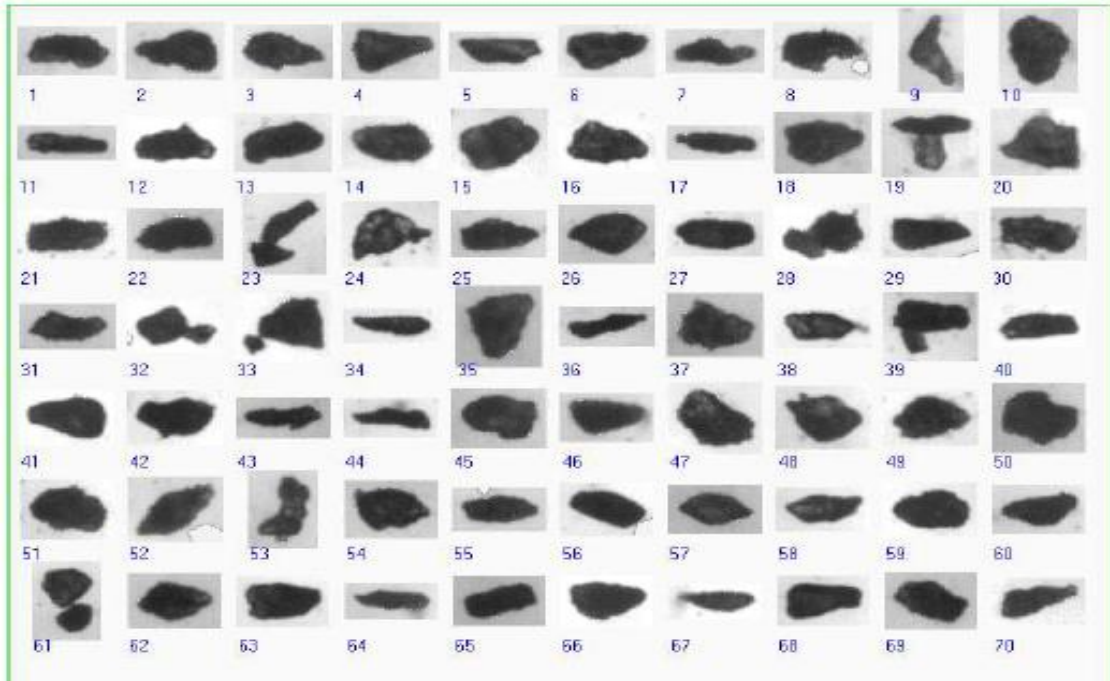
Düşük tenörlü (YBD) baritlerin tüvenan, konsantre ve artıklarının (çubuklu ve bilyalı değirmenlerde öğütülmesi ile elde edilen ürünlerinin flotasyon ile zenginleştirilmesi sonucu), Micromeritics Particle Insight 3 Boyutlu Görüntü Analiz Cihazı yardımı ile şekil ve morfolojik özellikleri incelenmiştir. Şekil faktörüne ait birçok parametrenin bulunduğu bu numuneler için en kritik değerler olan dairesellik (C, Circularity) ve sınırlayıcı dikdörtgen en-boy oranı (BRAR, Bounding Rectangle Aspect Ratio) değerlerinin ortalamaları alınarak karakterize edilmiştir. Böylece barit taneleri ile eşlik eden diğer empüriteleri arasındaki şekilsel farklılıklar incelenerek, öğütme ve flotasyon işlemlerinde bu farklılıkların etkileri gözlenmiştir. Bu numunelerin flotasyon ile zenginleştirilmesi sonucu elde edilen ürünlere ait görüntüler Şekil 4.42, 4.43, 4.44, 4.45 ve 4.46’da sunulmuştur.



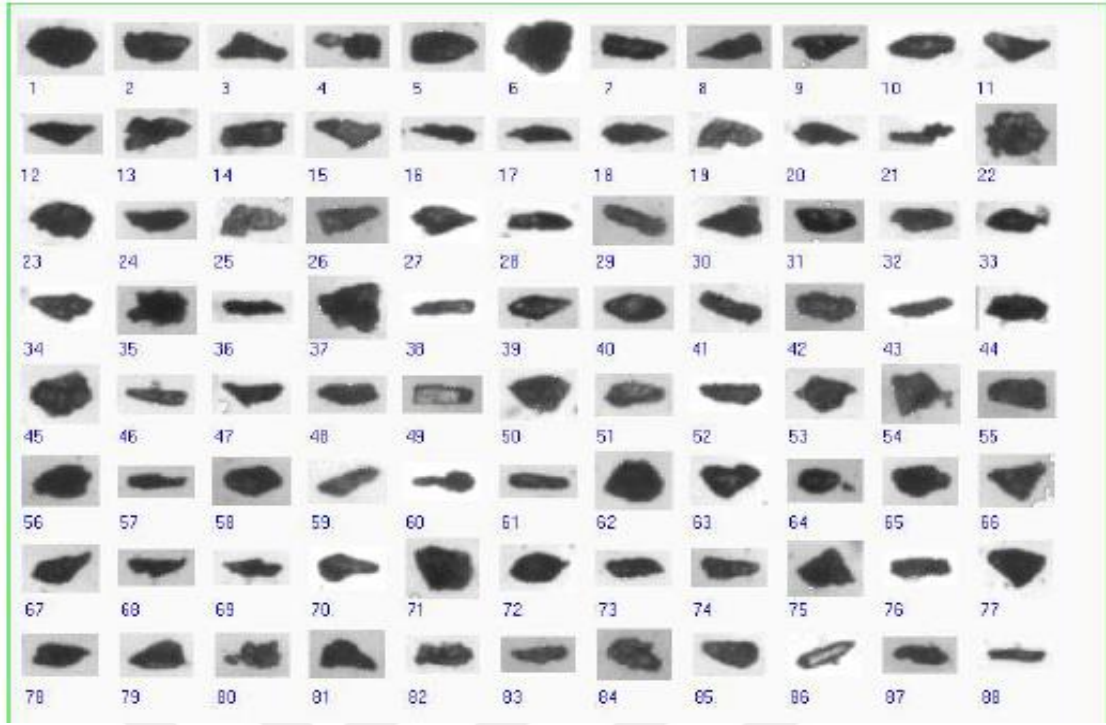
Şekil 4.42. Tüvenan cevhere ait YBD (düşük tenörlü) numunesine ait tanelerin şekillerinin 3 boyutlu görüntüleme cihazı görüntüsü.



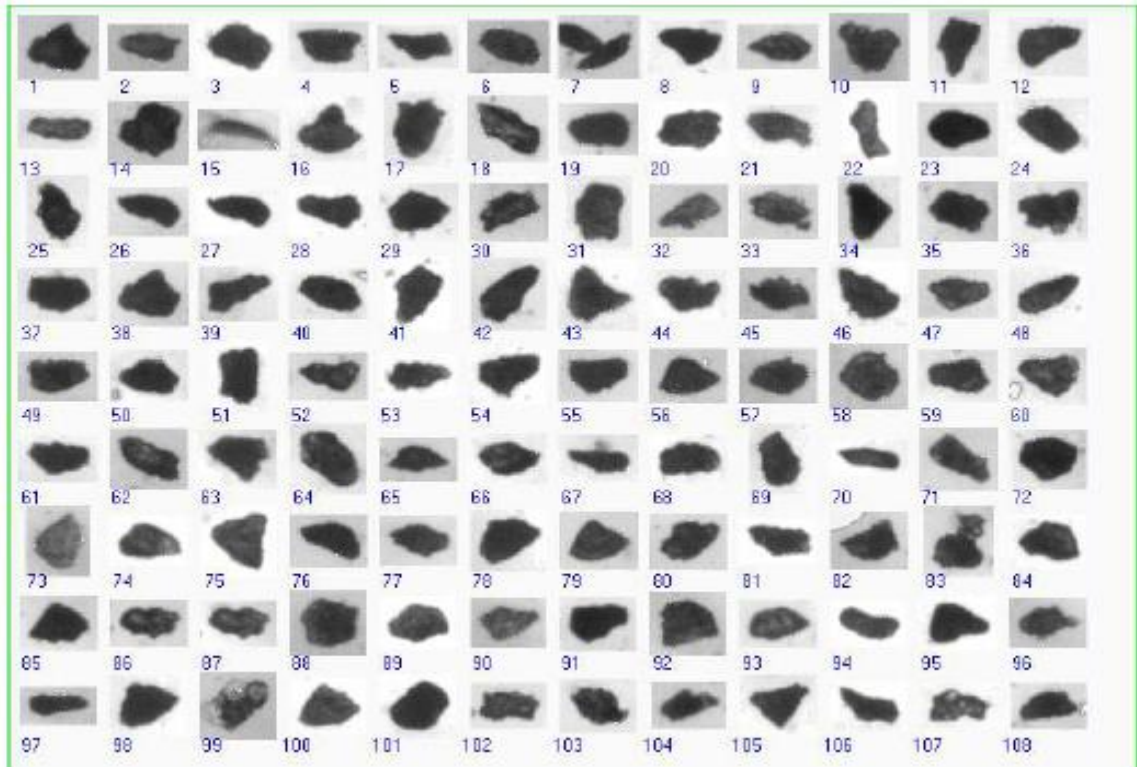
Şekil 4.43. Bilyalı değirmende öğütülmüş YBD numunesinin flotasyon ile zenginleştirilmesi sonucu konsantreye ait tanelerin şekillerinin 3 boyutlu görüntüleme cihazı görüntüsü.



Şekil 4.44. Bilyalı değirmende öğütülmüş YBD numunesinin flotasyon ile zenginleştirilmesi sonucu artığa ait tanelerin şekillerinin 3 boyutlu görüntüleme cihazı görüntüsü.



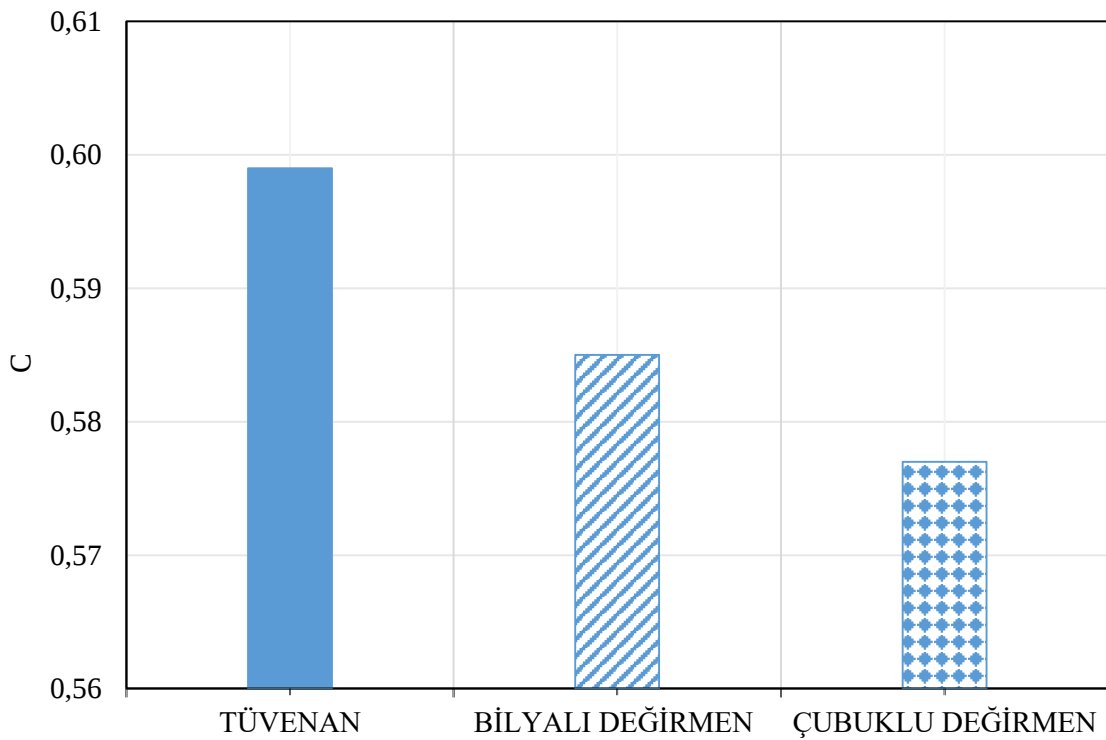
Şekil 4.45. Çubuklu değirmende öğütülmüş YBD numunesinin flotasyon ile zenginleştirilmesi sonucu konsantreye ait tanelerin şekillerinin 3 boyutlu görüntüleme cihazı görüntüsü.



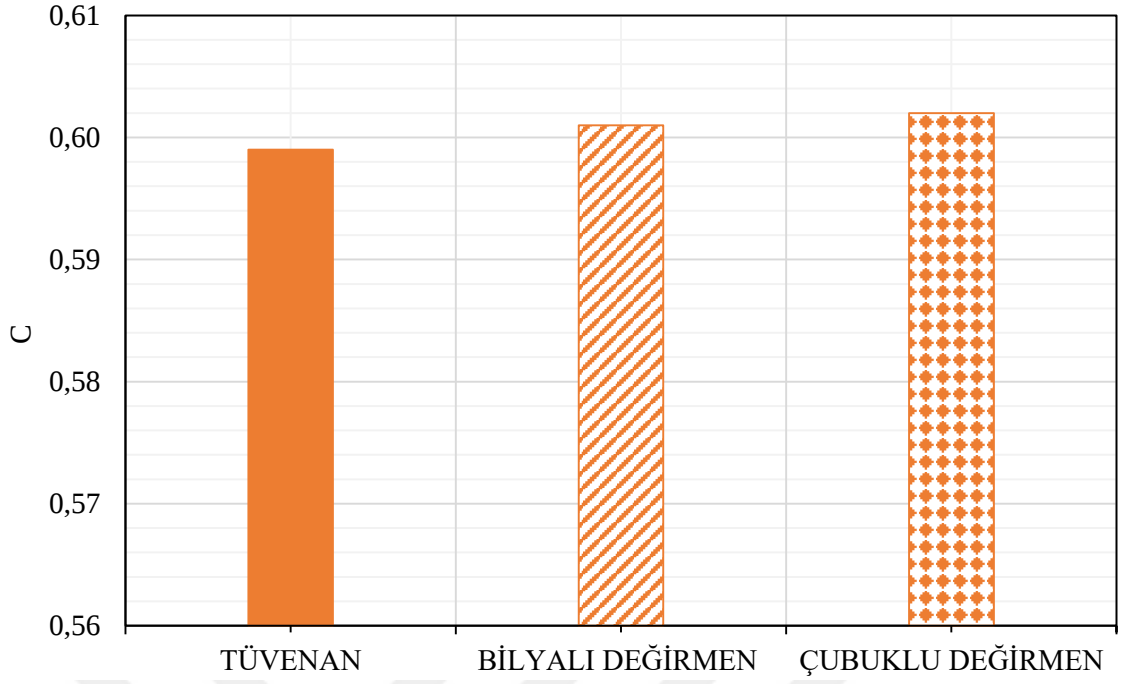
Şekil 4.46. Çubuklu değirmende öğütülmüş YBD numunesinin flotasyon ile zenginleştirilmesi sonucu artığa ait tanelerin şekillerinin 3 boyutlu görüntüleme cihazı görüntüsü.

Üç boyutlu dinamik görüntü analizi yöntemiyle, farklı değirmenlerde öğütülmüş barit numuneleri ile yapılan flotasyon konsantre ve artıklarının şekil analizleri, Şekil 4.43, 4.44, 4.45 ve 4.46’da da açıkça görüldüğü gibi, artığa ait tanelerin, konsantreye göre dairesellik oranı daha yüksek görünmektedir.

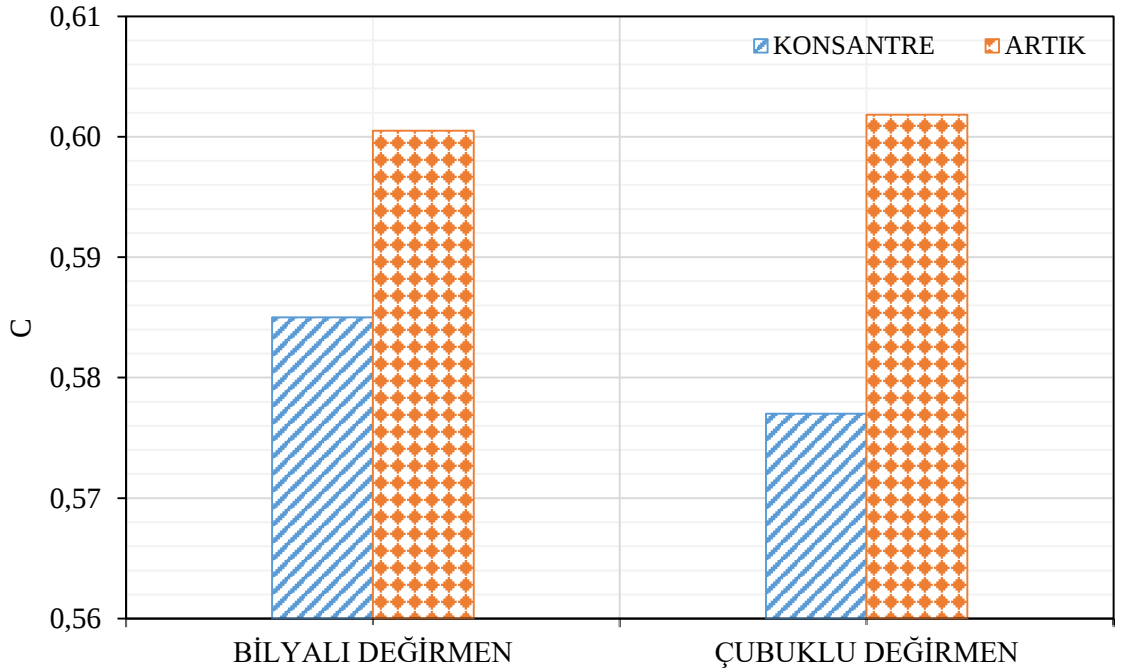
YBD numunelerinin flotasyon ile zenginleştirilmesi sonucu elde edilen konsantre ve artık ürünlerine ait dairesellik değerleri, tüvenan cevherin değerleriyle karşılaştırmak amacıyla Şekil 4.47 ve Şekil 4.48’de verilmiştir. Düşük tenörlü (YBD) baritlerin flotasyon ile zenginleştirilmesi sonucu elde edilen konsantre ve artık ürünlerinin karşılaştırmalı dairesellik değerleri Şekil 4.49’da verilmiştir.



Şekil 4.47. YBD (düşük tenörlü barit) numunesinin bilyalı ve çubuklu değirmenle öğütülmesi sonucu alınan flotasyon konsantrelerinin dairesellik değerlerinin beslenen cevherin değeriyle birlikte gösterimi.

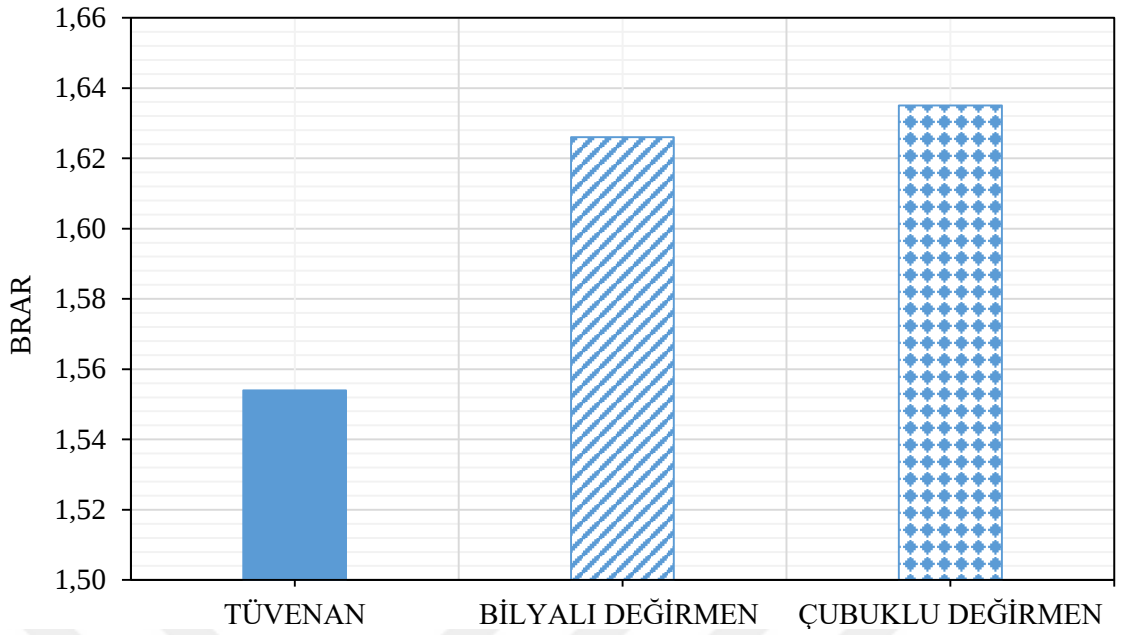


Şekil 4.48. YBD (düşük tenörlü barit) numunesinin bilyalı ve çubuklu değirmenle öğütülmesi sonucu alınan flotasyon artıklarının dairesellik değerlerinin beslenen cevherin değeriyle birlikte gösterimi.

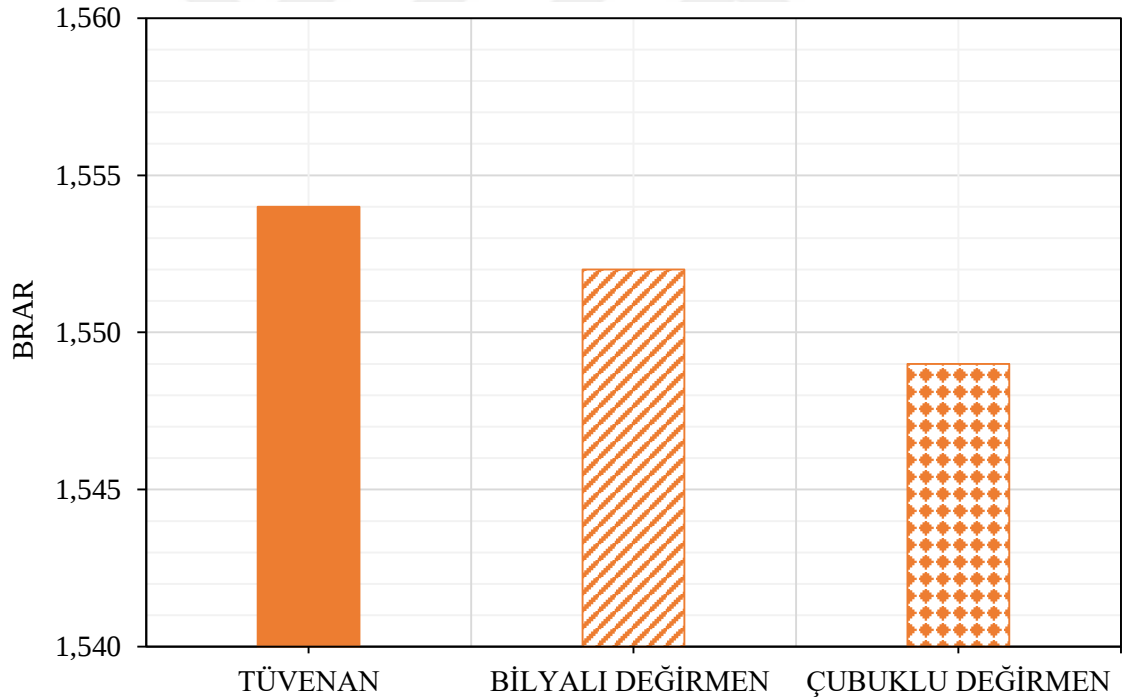


Şekil 4.49. YBD (düşük tenörlü barit) numunelerinin farklı öğütme sonucu flotasyon konsantre ve artıklarının dairesellik değerlerinin karşılaştırılması.

YBD (düşük tenörlü barit) numunelerinin flotasyon ile zenginleştirilmesi sonucu elde edilen konsantre ve artık ürünlerine ait sınırlayıcı dikdörtgen en-boy oranı (BRAR) değerleri ortalamaları Şekil 4.50 ve 4.51’de verilmiştir.

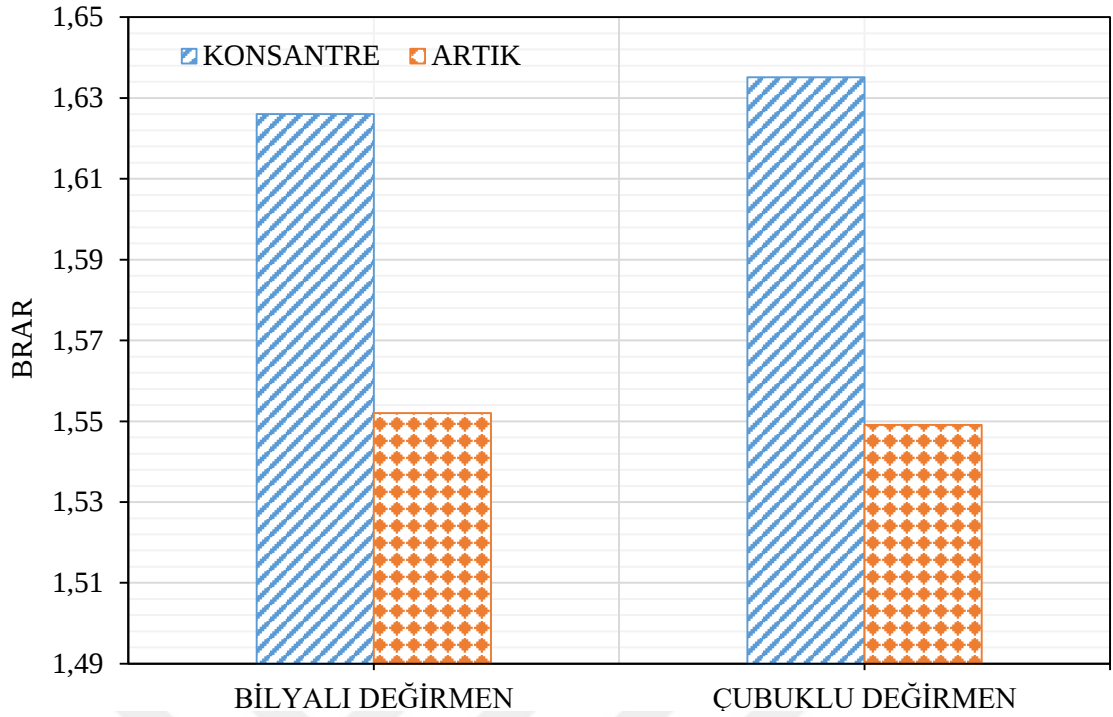


Şekil 4.50. YBD (düşük tenörlü barit) numunelerinin farklı öğütme sonucu ürünün flotasyon konsantrelerinin sınırlayıcı dikdörtgen en-boy oranı (BRAR) değerlerinin karşılaştırılması.



Şekil 4.51. YBD (düşük tenörlü barit) numunelerinin farklı öğütme sonucu ürünün flotasyon artıklarının sınırlayıcı dikdörtgen en-boy oranı (BRAR) değerlerinin karşılaştırılması.

YBD (düşük tenörlü barit) numunelerinin flotasyon ile zenginleştirilmesi sonucu elde edilen konsantre-artık ürünlerinin karşılaştırmalı sınırlayıcı dikdörtgen en-boy oranı (BRAR) değerlerinin ortalamaları Şekil 4.52'de verilmiştir.



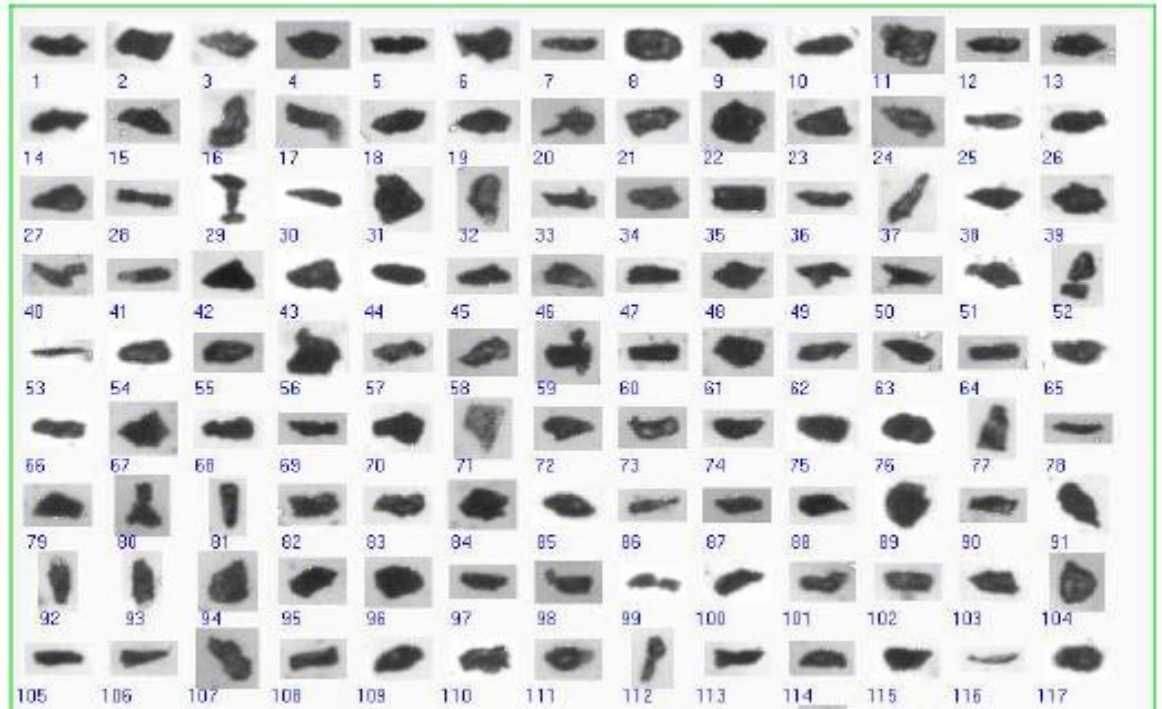
Şekil 4.52. YBD (düşük tenörlü barit) numunelerinin farklı öğütme sonucu ürünün flotasyon konsantre ve artıklarının sınırlayıcı dikdörtgen en-boy oranı (BRAR) değerleri.

Şekil 4.47- 4.52 incelendiğinde, bilyalı değirmen ürünü flotasyon konsantrelerine ait tanelerin, çubuklu değirmen ürünü flotasyon konsantresine ait tanelere göre dairesellik değerleri daha yüksektir. Fakat konsantre ürünleri ile artık ürünleri karşılaştırıldığında ise, artık ürünlerinin daha dairesel tanelerden oluştuğu görülmektedir. Barit tanelerinin yoğun olarak bulunduğu konsantrelerdeki tanelerin, sınırlayıcı dikdörtgen en-boy oranlarının yüksek olması, daha ince ve uzun kırılıma sahip olduğunu aynı zamanda artıktaki bulunan safsızlıklardan hematit ve kuvarsın ise daha dairesel şekile sahip olduğunu göstermektedir.

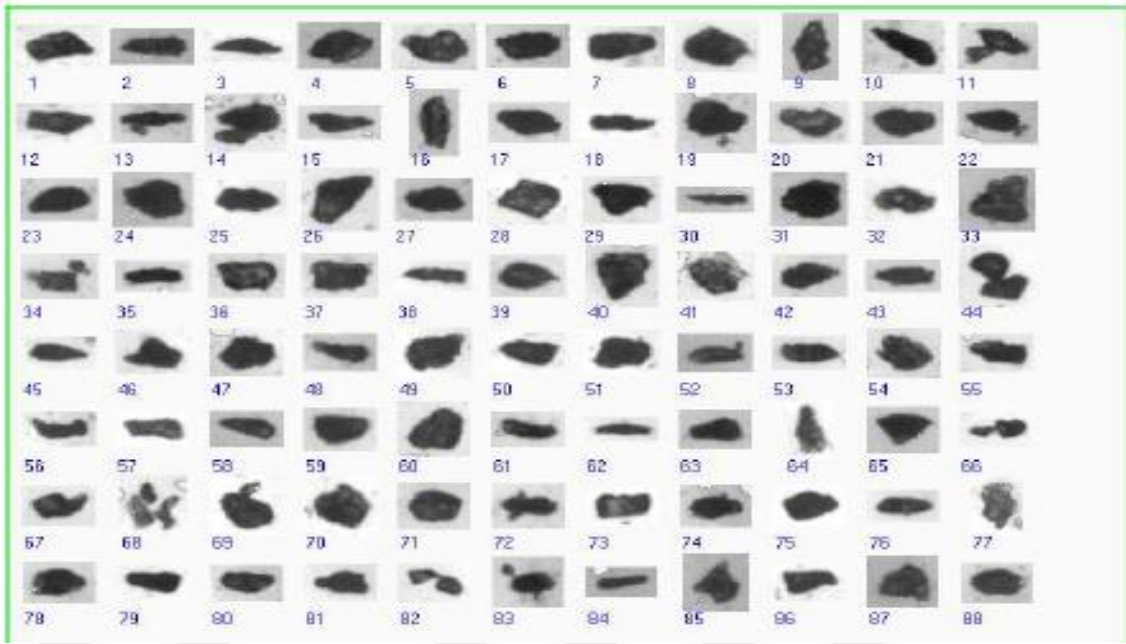
YBD numunesinin tüvenan cevher numuneleri üzerinde yapılan dinamik görüntüleme analizi çalışmaları sonucunda, daireselliği 0.599 bulunmuştur. Fakat bu değer çubuklu ve bilyalı değirmenlerden alınarak flotasyon yapılmış konsantre ürünlerinde azaldığı görülmektedir. Bunun nedeni konsantrelerin barit açısından zenginleşmiş olmasıdır. Dolayısı ile daha dairesel tanelere sahip olan safsızlıklardan (silis, demiroksit, alümina silikatlar vb.) uzaklaştırılmış olmasıdır. Flotasyon artığındaki numunelerin daha yüksek dairesellik değeri vermesi de bu durumu desteklemektedir. Bu durum, piknometre ile yoğunluk analizi ve tenör hesaplarından elde edilen verilerle de örtüşmektedir.

4.10.2 Yüksek tenörlü (YBİ) baritlerin dinamik görüntü analizi yöntemi ile tane şekillerinin belirlenmesi

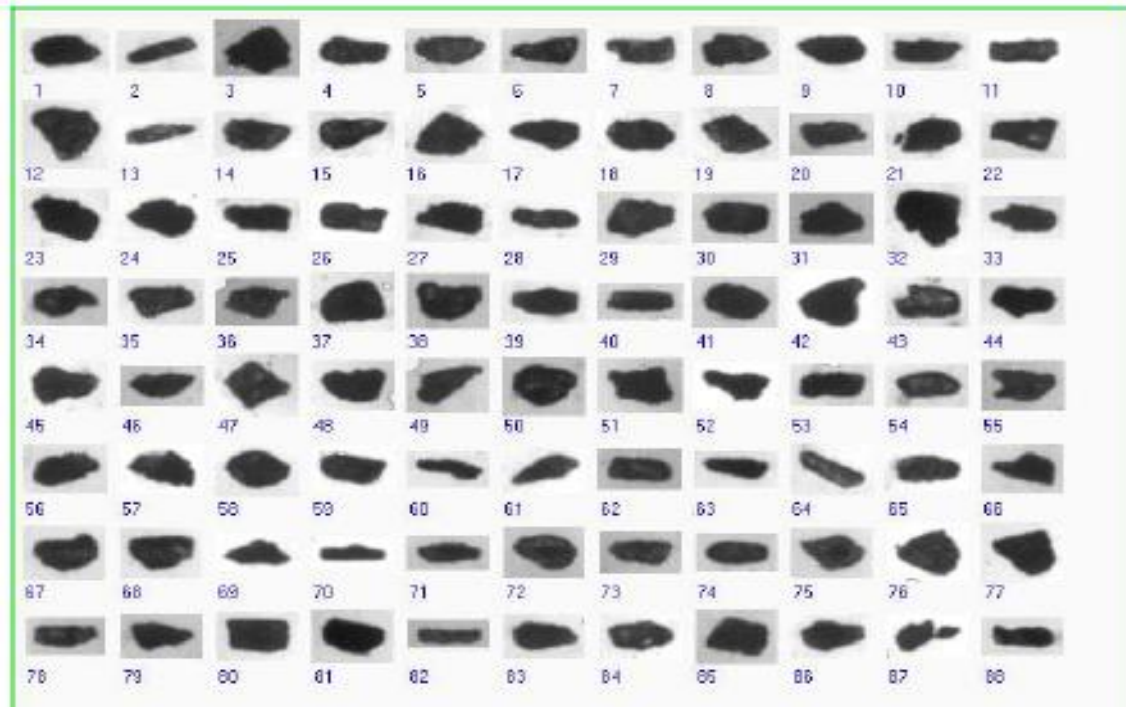
YBİ (yüksek tenörlü barit) numunelerinin tüvenan, konsantre ve artıklarının (çubuklu ve bilyalı değirmenlerde öğütülmüş ürünlerinin flotasyon ile zenginleştirilmesi sonucu), Micromeritics Particle Insight 3 Boyutlu Görüntü Analiz Cihazı yardımı ile şekil ve morfolojik özellikleri belirlenmiştir. Şekil faktörüne ait birçok değerin bulunduğu bu numuneler için en kritik değerler olan dairesellik (C, Circularity) ve sınırlayıcı dikdörtgen en-boy oranı (BRAR,) değerleri ortalamaları alınarak incelenmiştir. Bu numunelerin flotasyon ile zenginleştirilmesi sonucu elde edilen ürünlere ait görüntüler Şekil 4.53, 4.54, 4.55, 4.56 ve 4.57’de verilmiştir.



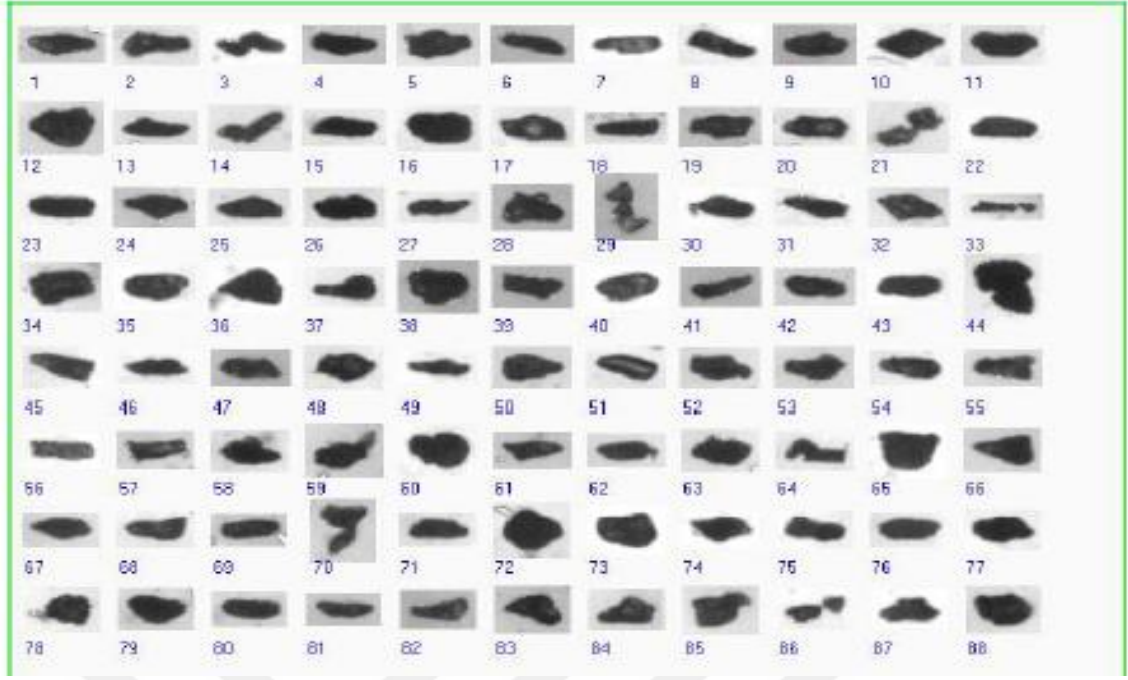
Şekil 4.53. Yüksek tenörlü barit cevherlerinin (YBİ) tüvenan numunelerinin Micromeritics Particle Insight 3 Boyutlu görüntü analiz cihazı ile alınan tane şekillerini gösterir genel bir görüntü



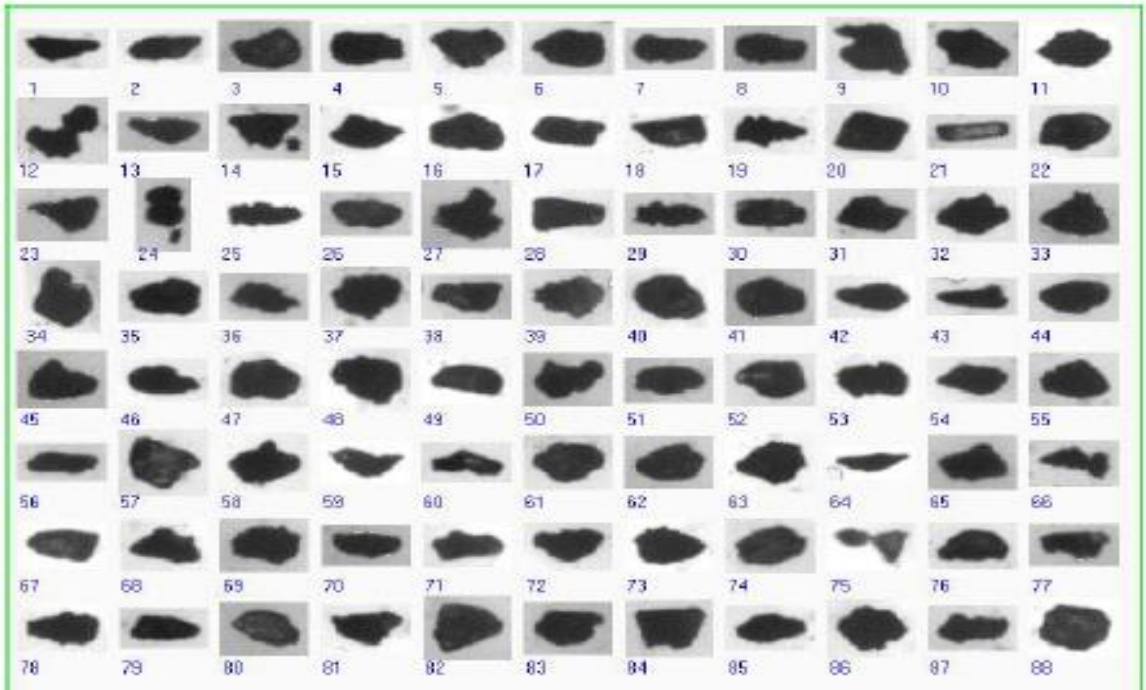
Şekil 4.54. Bilyalı değirmende öğütülmüş yüksek tenörlü barit cevherlerinin (YBİ) flotasyon ile zenginleştirilmesi sonucu elde edilen konsantre ürünlerinin Micromeritics Particle Insight 3 Boyutlu görüntü analiz cihazı ile alınan tane şekillerini gösterir genel bir görüntü.



Şekil 4.55. Bilyalı değirmende öğütülmüş yüksek tenörlü barit cevherlerinin (YBİ) flotasyon ile zenginleştirilmesi sonucu elde edilen artık ürünlerinin Micromeritics Particle Insight 3 Boyutlu görüntü analiz cihazı ile alınan tane şekillerini gösterir genel bir görüntü.

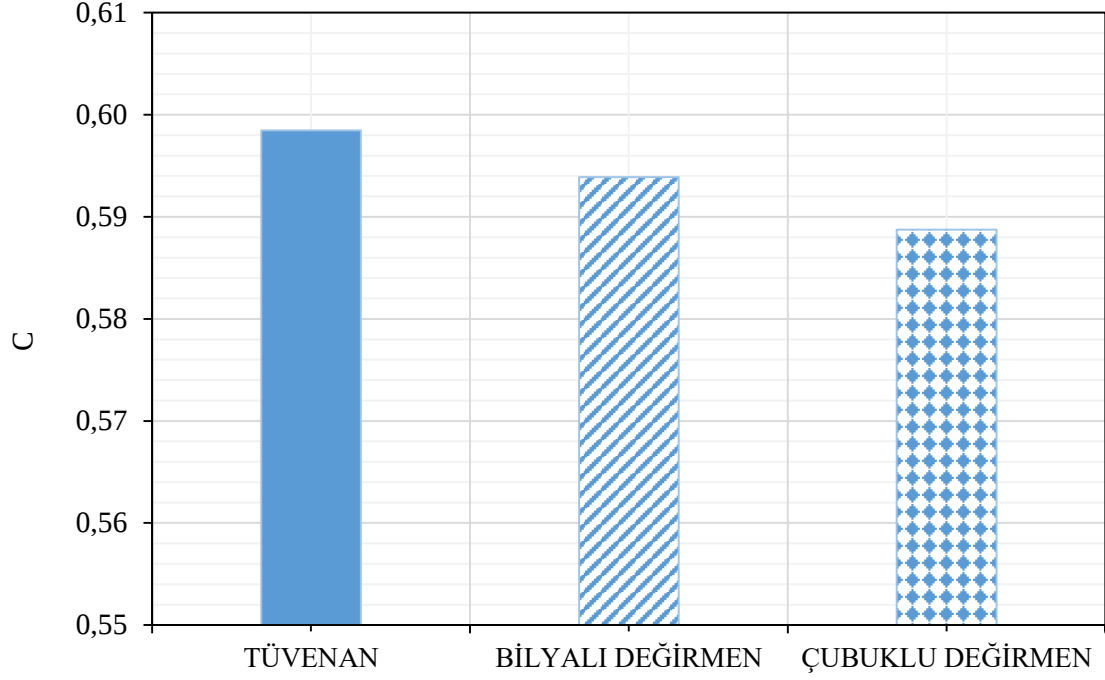


Şekil 4.56. Çubuklu değirmende öğütülmüş yüksek tenörlü barit cevherlerinin (YBİ) flotasyon ile zenginleştirilmesi sonucu elde edilen konsantre ürünlerinin Micromeritics Particle Insight 3 Boyutlu görüntü analiz cihazı ile alınan tane şekillerini gösterir genel bir görüntü.

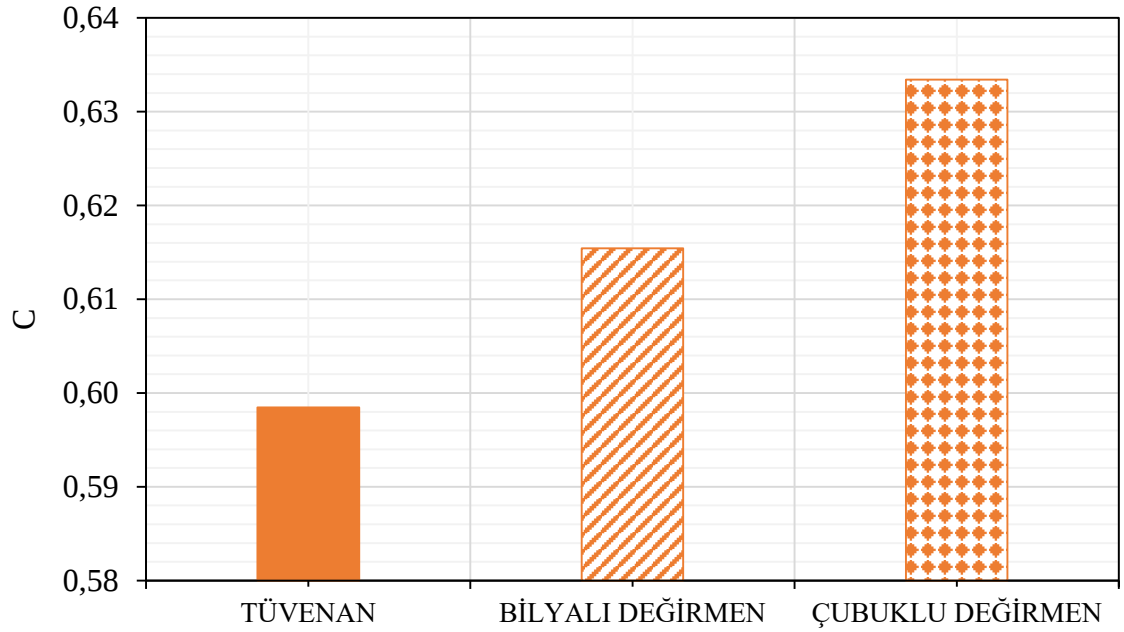


Şekil 4.57. Çubuklu değirmende öğütülmüş yüksek tenörlü barit cevherlerinin (YBİ) flotasyon ile zenginleştirilmesi sonucu elde edilen artık ürünlerinin Micromeritics Particle Insight 3 Boyutlu görüntü analiz cihazı ile alınan tane şekillerini gösterir genel bir görüntü.

Bu numunelerin tüvenan cevher ve flotasyon ile zenginleştirilmesi sonucu elde edilen konsantre ve artık ürünlerine ait farklı değirmenler için dairesellik değerleri Şekil 4.58 ve 4.59’da verilmiştir.

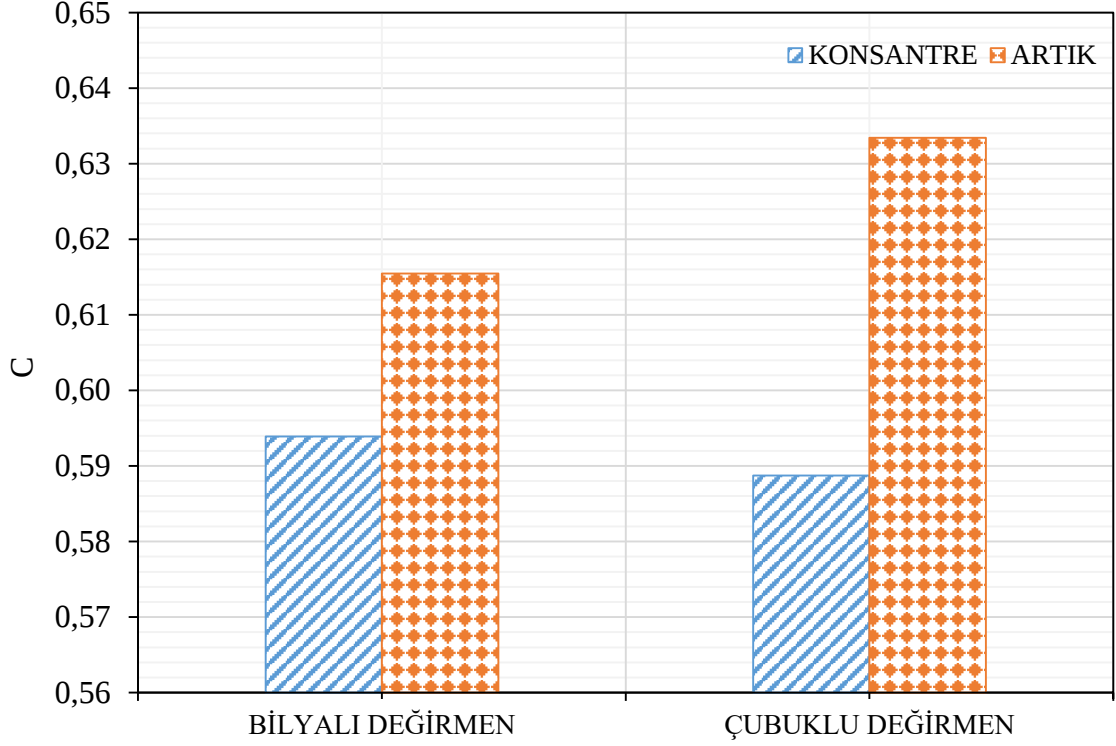


Şekil 4.58. YBİ (yüksek tenörlü barit) numunelerinin flotasyon konsantrelerinin farklı değirmenler için dairesellik değerleri.



Şekil 4.59. YBİ (yüksek tenörlü barit) numunelerinin flotasyon artıklarının farklı değirmenler için dairesellik değerleri.

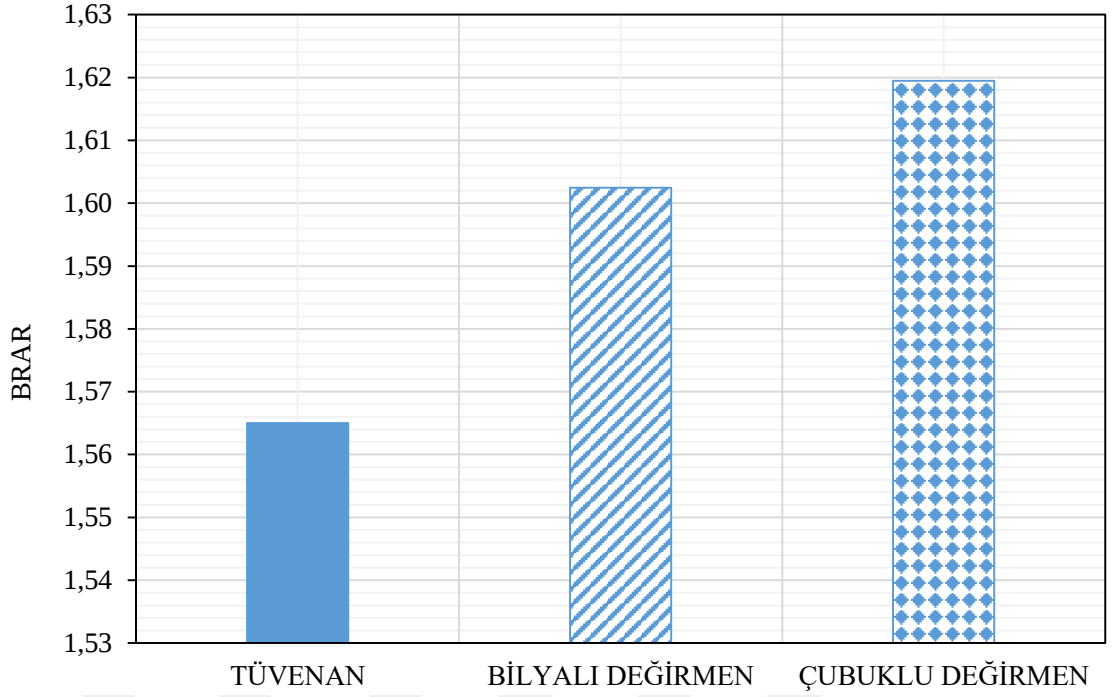
YBİ (yüksek tenörlü barit) numunelerinin flotasyon ile zenginleştirilmesi sonucu elde edilen konsantre ve artık ürünlerinin farklı değirmenler için karşılaştırmalı dairesellik değerleri Şekil 4.60’da verilmiştir.



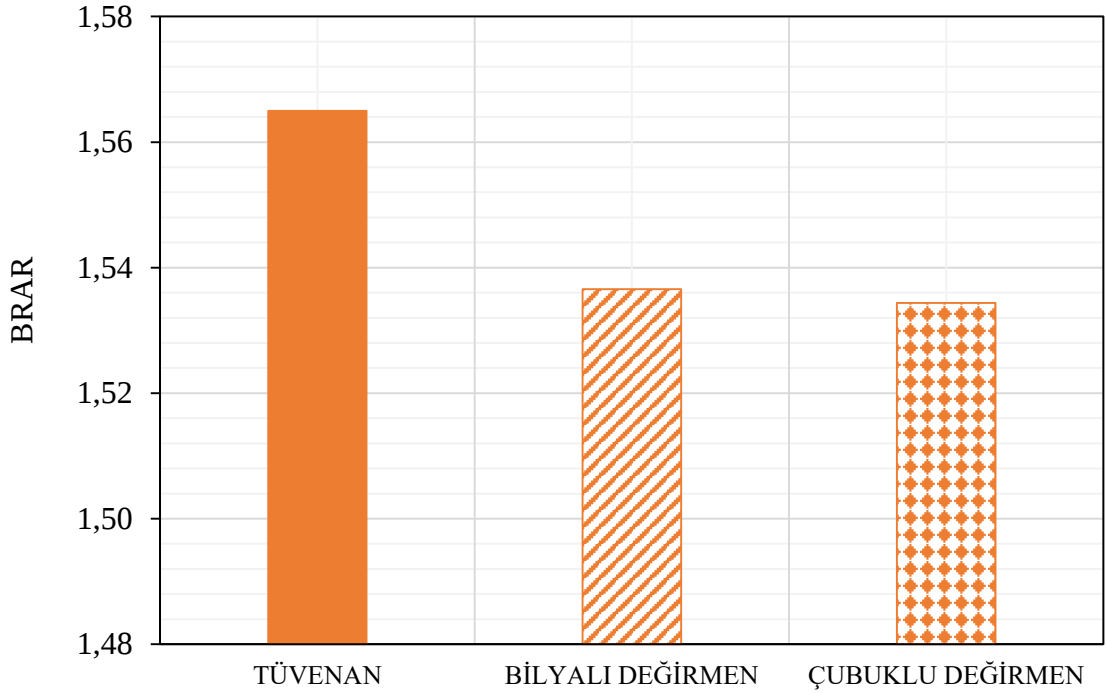
Şekil 4.60. YBİ (yüksek tenörlü barit) numunelerinin flotasyon konsantre ve artıklarının farklı değirmenler için karşılaştırmalı dairesellik değerleri.

Şekil 4.58’den görüleceği üzere YBİ numunelerinin dairesellik değeri bilyalı değirmen ürünleri için 0,594 iken, çubuklu değirmen ürünü konsantre taneleri için 0,589 bulunmuştur. Şekil 4.59’da görüldüğü gibi, bilyalı değirmen ürünü artıkların dairesellik değeri, 0,615 iken, çubuklu değirmen ürünü artık numunelerine ait tanelerde bu değer 0,633’tür. YBİ (yüksek tenörlü barit) numunelerinin flotasyon ile zenginleştirilmesi sonucu elde edilen konsantre ve artık ürünlerine ait dairesellik değerlerinin verildiği, Şekil 4.58, 4.59 ve 4.60’ta, bilyalı değirmen ürünlerinin dairesellik değerleri daha yüksek iken, çubuklu değirmenlerinki ise daha düşüktür. Artık ürünlerinin kırılma şekilleri de incelendiğinde, konsantre ürünlerine göre yüksek daireselliğe sahip olduğu görülmektedir.

YBİ (yüksek tenörlü barit) numunelerinin flotasyon ile zenginleştirilmesi sonucu elde edilen konsantre ve artık ürünlerine ait sınırlayıcı dikdörtgen en-boy oranı (BRAR) değerlerinin ortalamaları Şekil 4.61 ve 4.62’de verilmiştir.



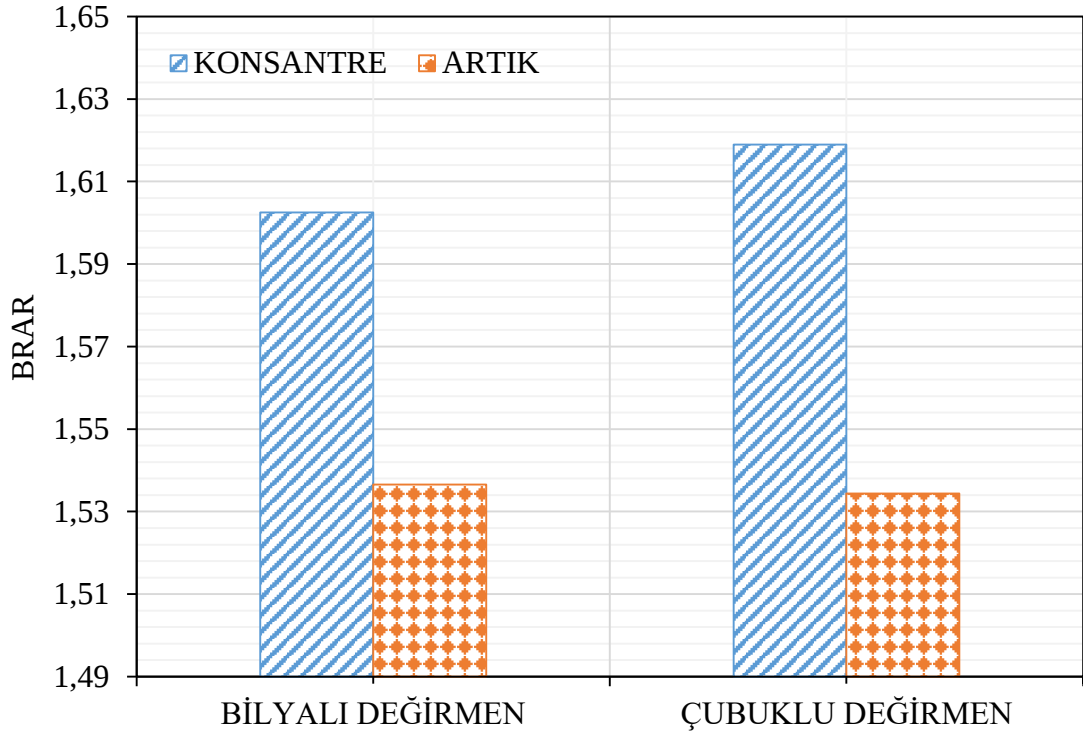
Şekil 4.61. YBİ (yüksek tenörlü barit) numunelerinin flotasyon konsantrelerinin farklı değirmenler için değirmen tiplerine göre sınırlayıcı dikdörtgen en-boy oranı (BRAR) değerleri.



Şekil 4.62. YBİ (yüksek tenörlü barit) numunelerinin flotasyon artıklarının farklı değirmenler için sınırlayıcı dikdörtgen en-boy oranı (BRAR) değerleri.

YBİ (yüksek tenörlü barit) numunelerinin flotasyon ile zenginleştirilmesi sonucu elde edilen konsantre-artık ürünlerinin farklı değirmenler için karşılaştırmalı sınırlayıcı

dikdörtgen en-boy oranı (BRAR, Bounding Rectangle Aspect Ratio) değerleri Şekil 4.63'te görülmektedir.



Şekil 4.63. YBİ (yüksek tenörlü barit) numunelerinin flotasyon konsantre ve artıklarının farklı değirmenler için karşılaştırmalı sınırlayıcı dikdörtgen en-boy oranı (BRAR) değerleri.

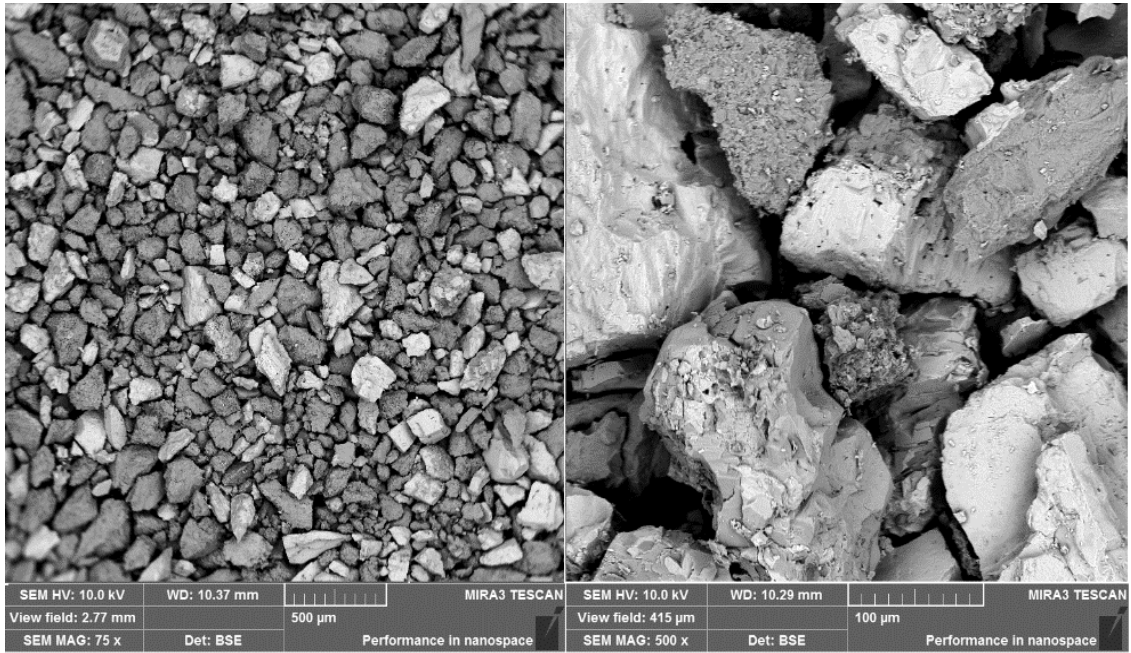
Tüvenan cevher YBİ ve tüvenan cevher YBD numuneleri ve konsantreler için, dinamik görüntü analizi sonuçları düşük ve yüksek tenörlü barit cevherleri için; konsantreler, artıktan daha uzun, dolayısıyla da artıklar konsantrelerden daha dairesel taneler sunmaktadır. Tüvenan YBD (düşük tenörlü) numunesinin BRAR değeri 1.554'tür. Bu değer bilyalı değirmen ürünlerinin flotasyon ile zenginleştirilerek elde edilen konsantrelerinde 1.626, çubuklu değirmen ürünü konsantrelerde ise 1.635 olmuştur. Bunun nedeni, YBD numunelerinin daha heterojen bir yapıda olması, yani içerisindeki gang minerallerinin daha fazla olmasından kaynaklanmaktadır. Aynı zamanda bu durum, çubuklu değirmenler de numunenin biraz daha uzunlamasına kırıldığı anlamına gelmektedir. Yani barit numuneleri açısından değerlendirildiğinde, çubuklu değirmenler bilyalı değirmenlerden biraz daha uzun ve/veya yassı taneler üretmektedir. Tüvenan YBİ numunesinin BRAR değeri 1,565 iken, bu değer bilyalı değirmen ürünü flotasyon konsantrelerinde 1.602, çubuklu değirmende ise 1.619 olmuştur.

4.11 Taramalı Elektron Mikroskobu ile Numune Özelliklerinin Belirlenmesi

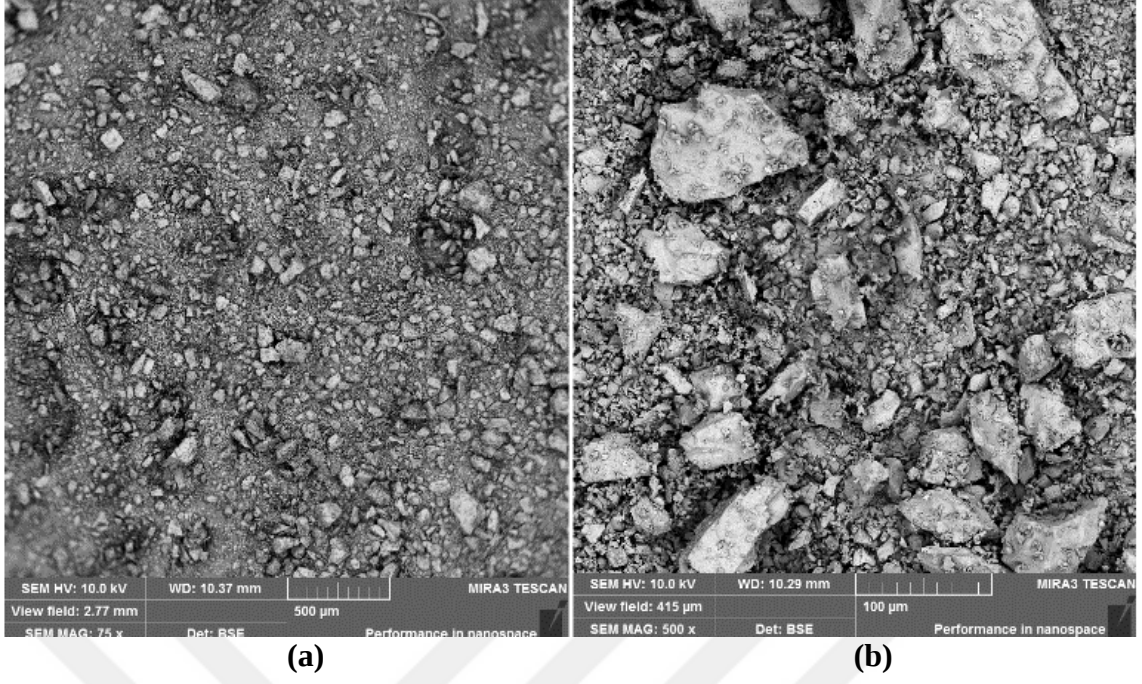
Barit cevherlerinin tane şekil ve morfolojisini tespit etmek amacıyla taramalı elektron mikroskop (SEM) çalışmaları yapılmış olup, kimyasal içeriklere ait sonuçlar Ek-8’de ve Ek-9’da verilmiştir.

4.11.1 Düşük tenörlü (YBD) baritlerin Taramalı Elektron Mikroskobu ile tane şekil ve morfolojilerinin belirlenmesi

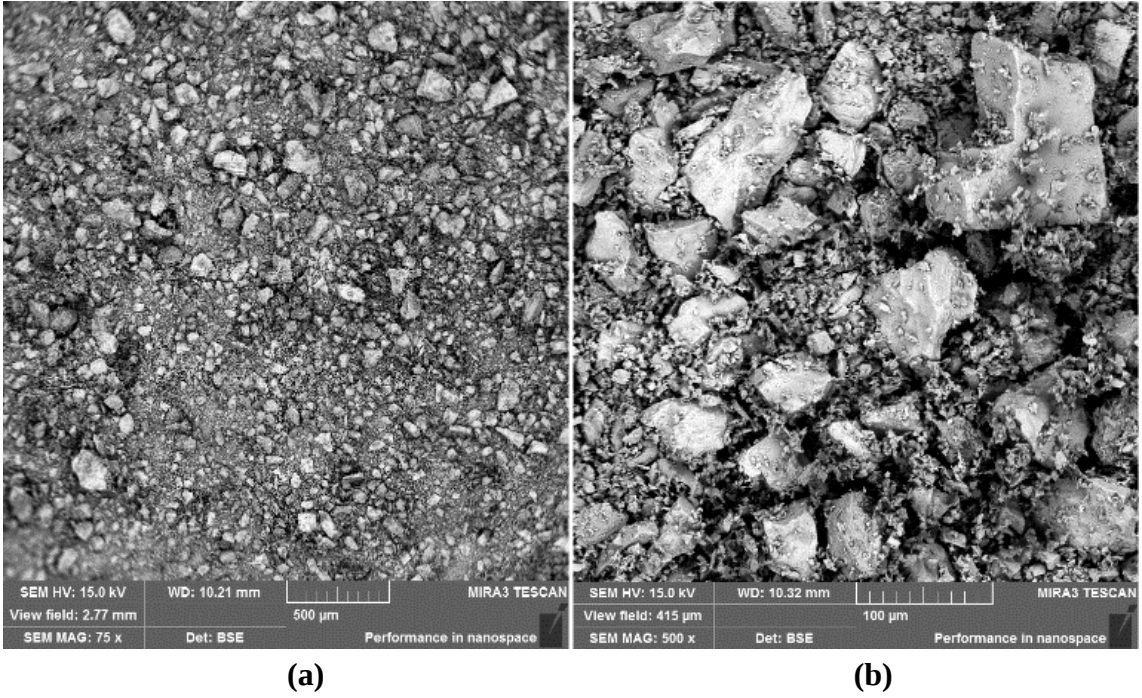
Düşük tenörlü (YBD) barit numunelerinin ocaktan geldiği şekliyle tüvenan cevher örnekleri ve farklı değirmenlerde öğütüldükten sonra flotasyon ile zenginleştirme deneyleri sonucu elde edilen konsantre ve artık ürünlerinin yapısal özelliklerinin ve dinamik görüntü analizi testlerinden elde edilen sonuçlarla karşılaştırmak açısından taramalı elektron mikroskopunda şekil ve morfolojileri incelenmiştir. YBD numunesinin tüvenan haldeki SEM görüntüleri Şekil 4.64’te ve bilyalı değirmende öğütülerek 3 seri flotasyon testleri yapılan YBD numunesine ait konsantrelerin SEM görüntüleri ise Şekil 4.65, 4.66 ve 4.67’de verilmiştir.



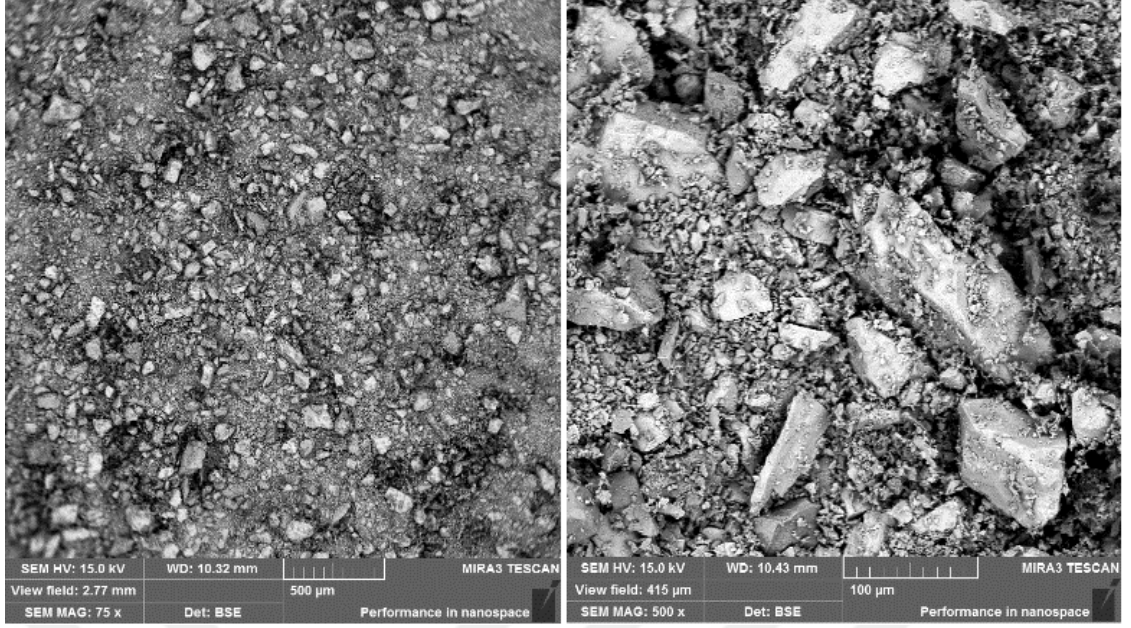
Şekil 4.64. YBD (düşük tenörlü barit) numunesine ait tüvenan cevheri gösteren Taramalı Elektron Mikroskobu görüntüleri (a) 75x büyütme (b) 500x büyütme.



Şekil 4.65. Bilyalı değirmende öğütülmüş YBD numunesinin, 1.flotasyon konsantrelerini gösteren Taramalı Elektron Mikroskobu görüntüleri (a) 75x büyütme (b) 500x büyütme.



Şekil 4.66. Bilyalı değirmende öğütülmüş YBD numunesinin, 2.flotasyon konsantrelerini gösteren Taramalı Elektron Mikroskobu görüntüleri (a) 75x büyütme (b) 500x büyütme.

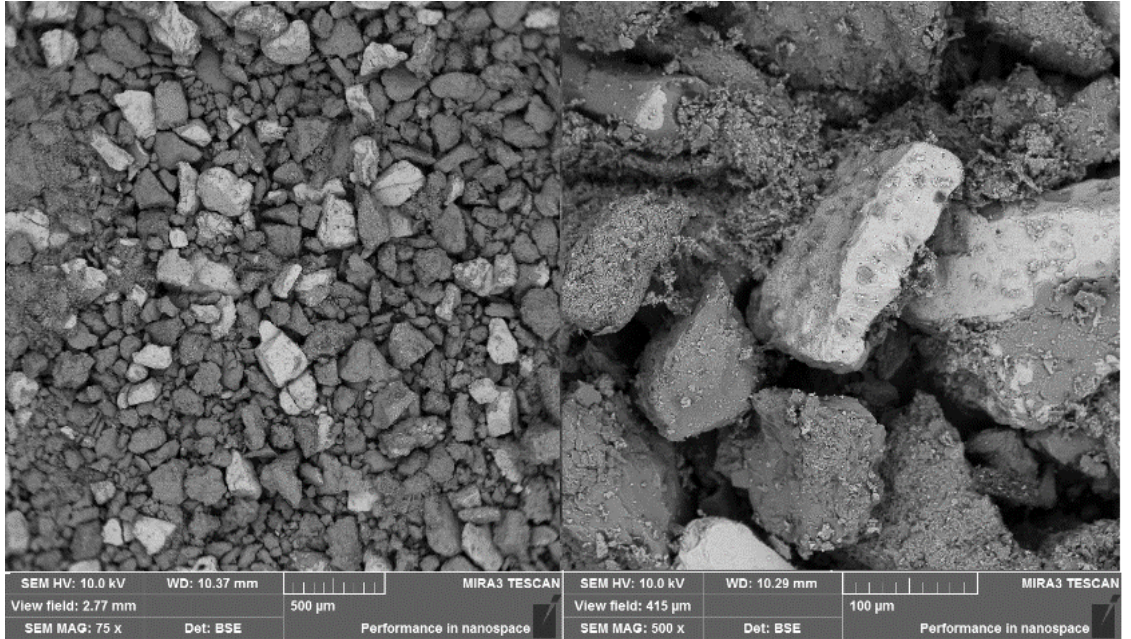


(a)

(b)

Şekil 4.67. Bilyalı değirmende öğütülmüş YBD numunesinin, 3.flotasyon konsantrelerini gösteren Taramalı Elektron Mikroskobu görüntüleri (a) 75x büyütme (b) 500x büyütme.

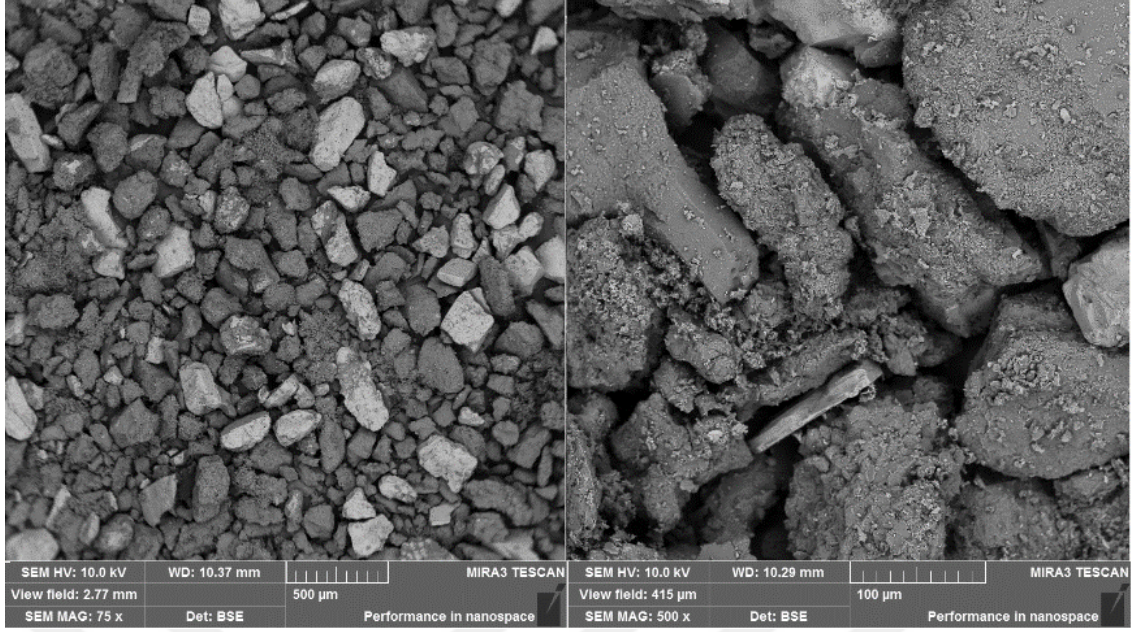
Bilyalı değirmende öğütülerek 3 seri flotasyon testleri yapılan YBD numunesine ait artığın, 75x ve 500x büyütme sonucu çekilen SEM görüntüleri Şekil 4.68, 4.69 ve 4.70’te sunulmuştur.



(a)

(b)

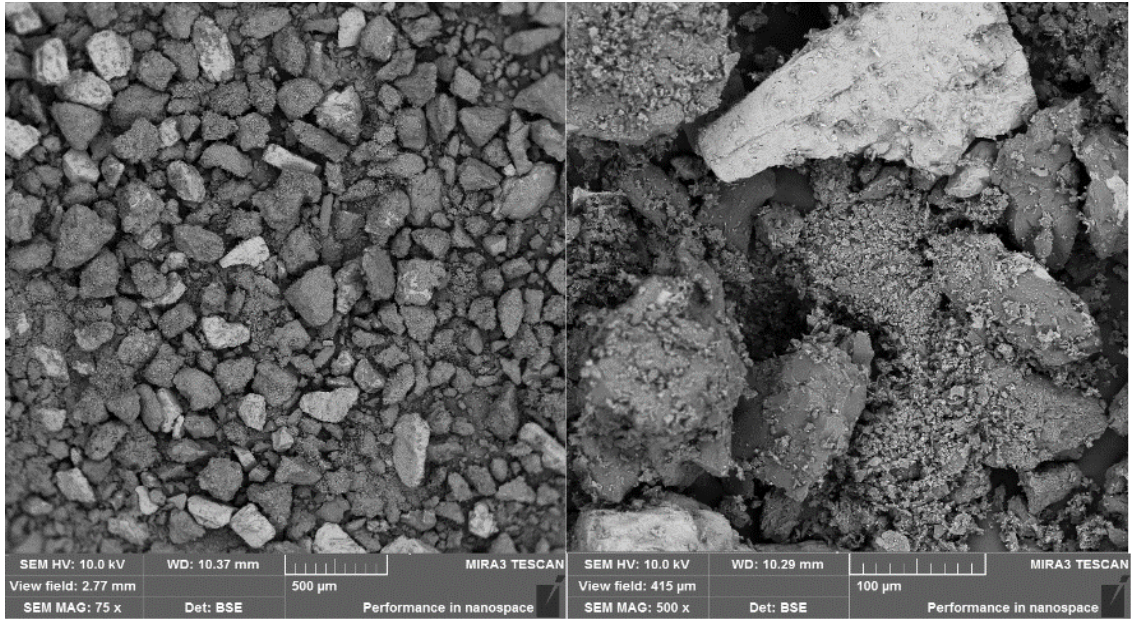
Şekil 4.68. Bilyalı değirmende öğütülmüş YBD numunesinin, 1. flotasyon artıklarını gösteren Taramalı Elektron Mikroskobu görüntüleri (a) 75x büyütme (b) 500x büyütme.



(a)

(b)

Şekil 4.69. Bilyalı değirmende öğütülmüş YBD numunesinin, 2. flotasyon artıklarını gösteren Taramalı Elektron Mikroskobu görüntüleri. (a) 75x büyütme (b) 500x büyütme.

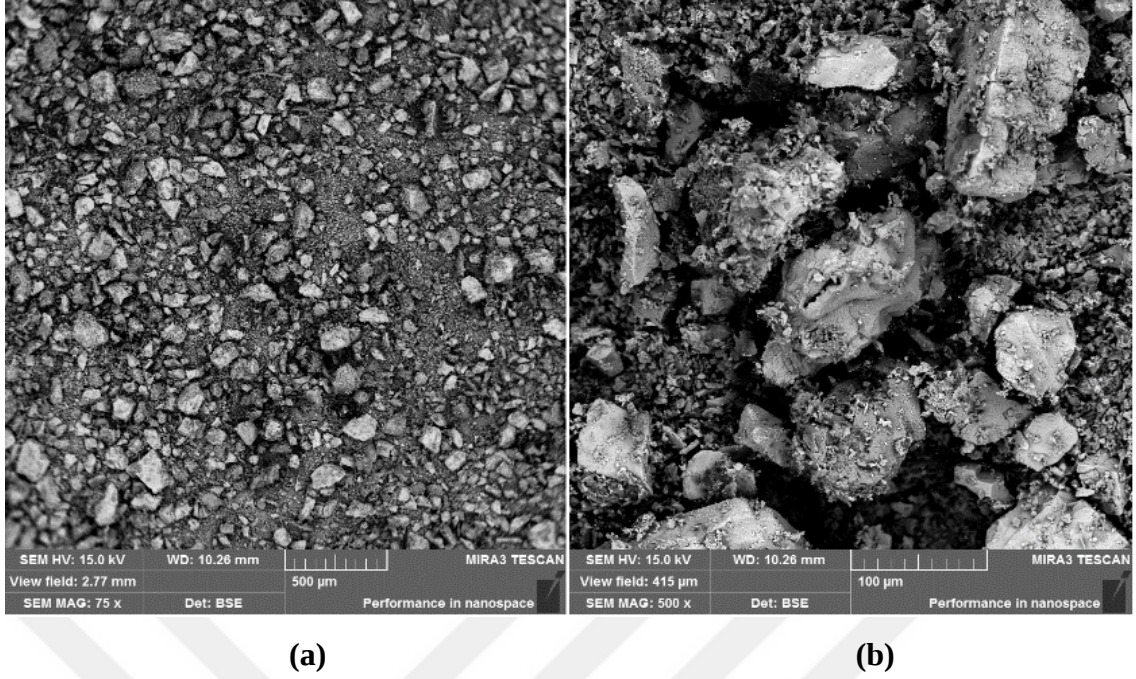


(a)

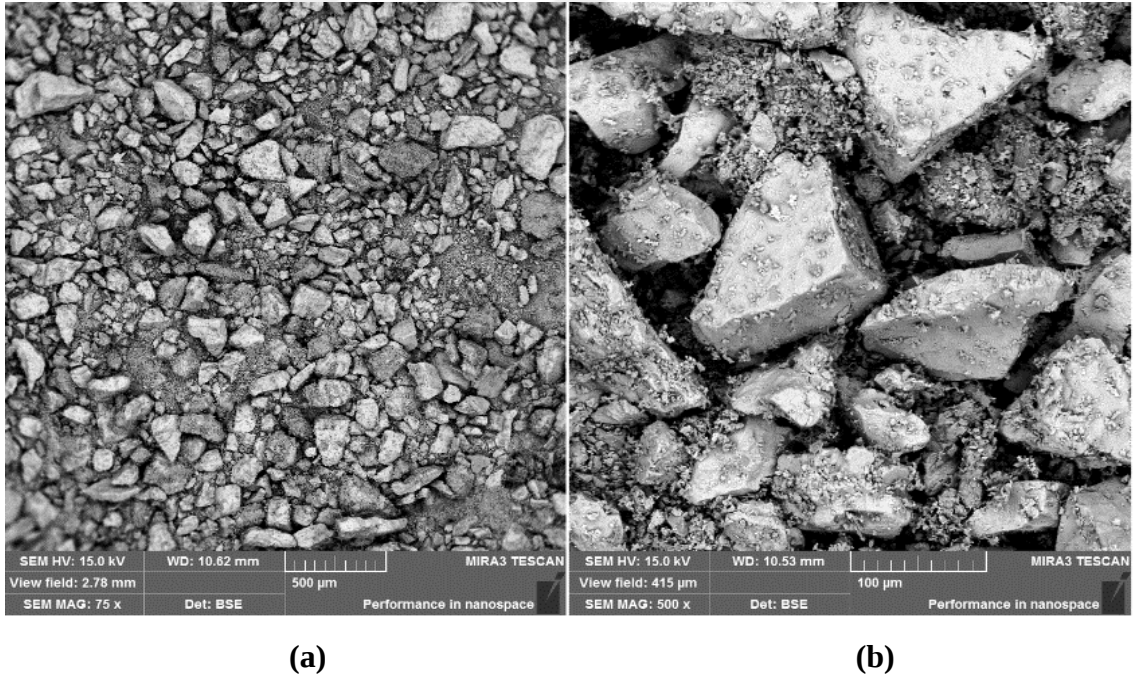
(b)

Şekil 4.70. Bilyalı değirmende öğütülmüş YBD numunesinin, 3. flotasyon artıklarını gösteren Taramalı Elektron Mikroskobu görüntüleri (a) 75x büyütme (b) 500x büyütme.

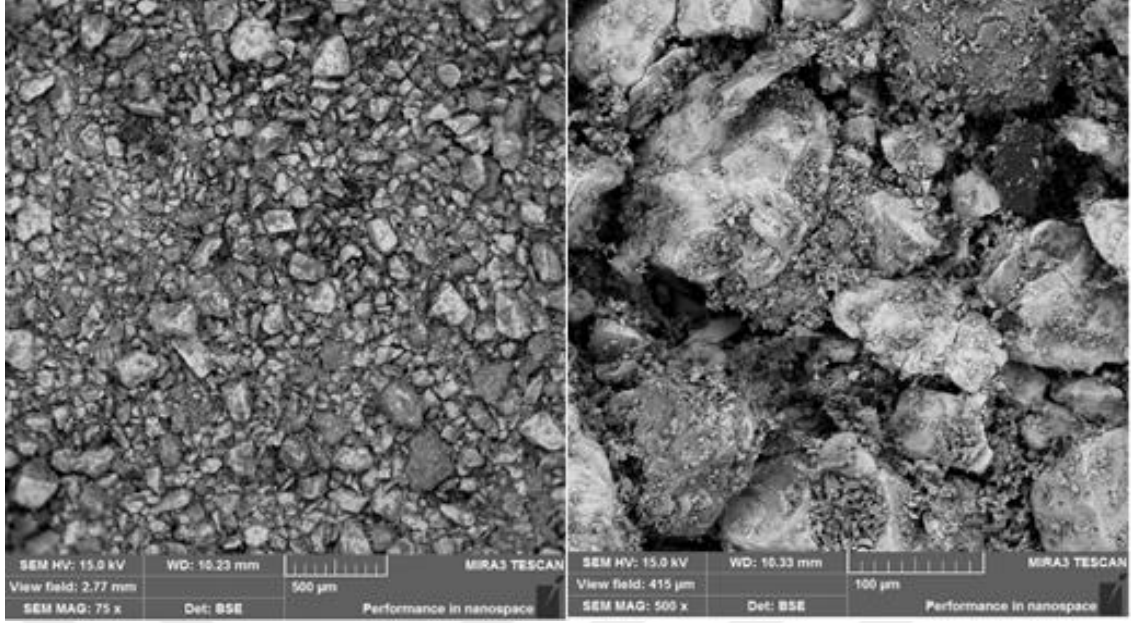
Çubuklu değirmenlerde öğütülerek 3 seri flotasyon testleri yapılan YBD numunesine ait konsantrenin, 75x ve 500x büyütme sonucu çekilen SEM resimleri Şekil 4.71, 4.72 ve 4.73’ te görülmektedir.



Şekil 4.71. Çubuklu değirmende öğütülmüş YBD numunesinin, 1. flotasyon konsantrelerini gösteren Taramalı Elektron Mikroskobu görüntüleri (a) 75x büyütme (b) 500x büyütme.



Şekil 4.72. Çubuklu değirmende öğütülmüş YBD numunesinin, 2. flotasyon konsantrelerini gösteren Taramalı Elektron Mikroskobu görüntüleri (a) 75x büyütme (b) 500x büyütme.

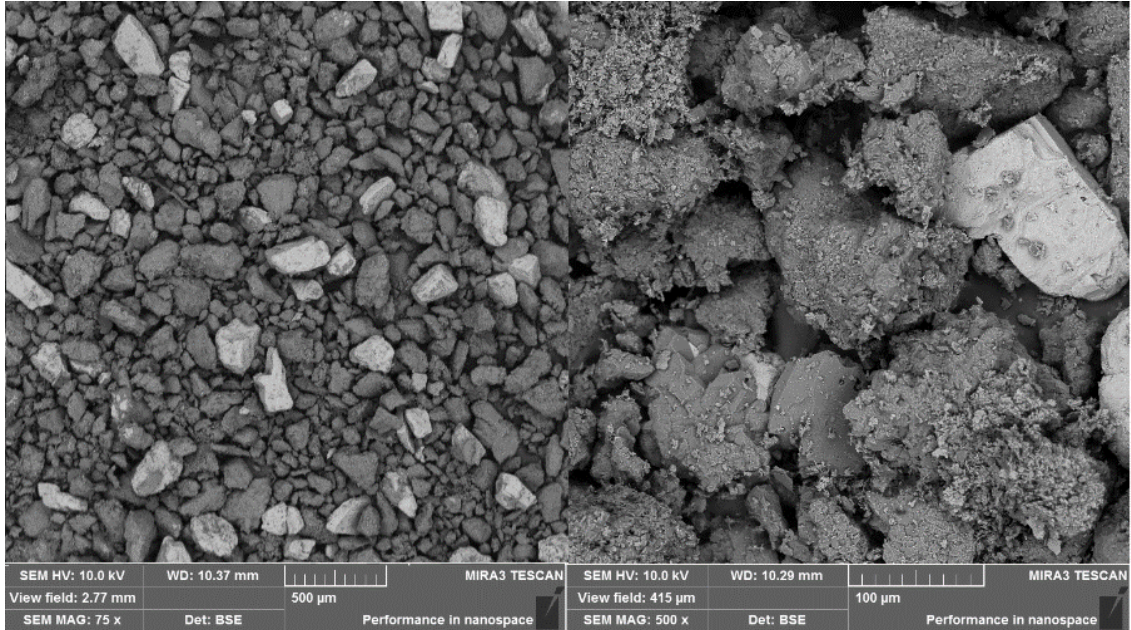


(a)

(b)

Şekil 4.73. Çubuklu değirmende öğütülmüş YBD numunesinin, 3. flotasyon konsantrelerini gösteren Taramalı Elektron Mikroskobu görüntüleri (a) 75x büyütme (b) 500x büyütme.

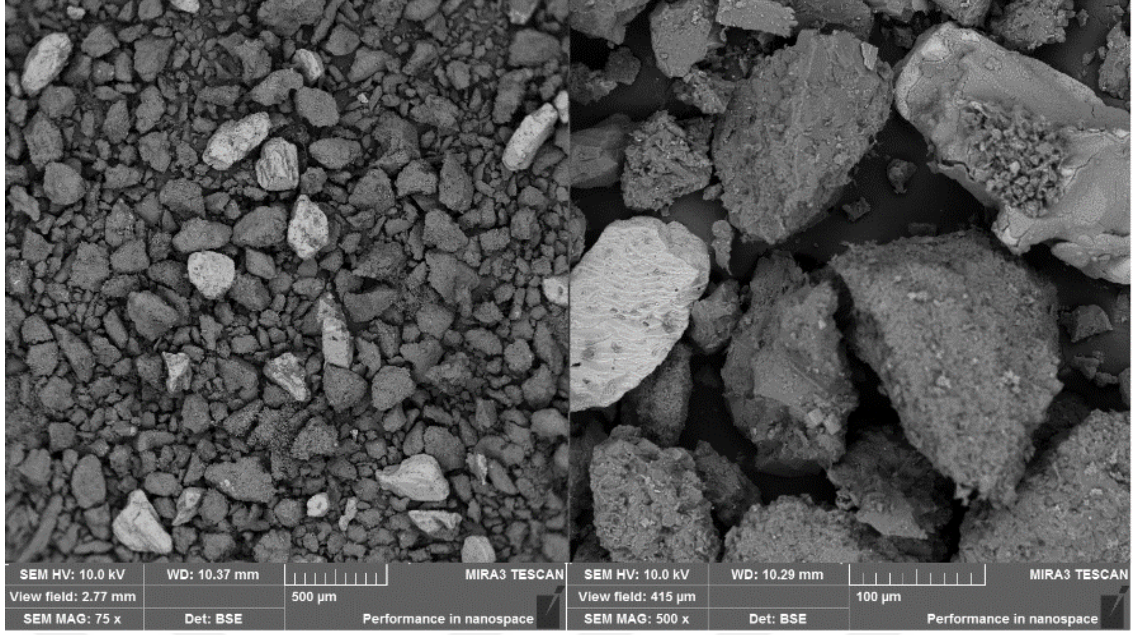
Çubuklu değirmenlerde öğütülerek 3 seri flotasyon testleri yapılan YBD numunesine ait artığın, 75x ve 500x büyütme sonucu çekilen SEM resimleri Şekil 4.74, 4.75 ve 4.76’ da verilmektedir.



(a)

(b)

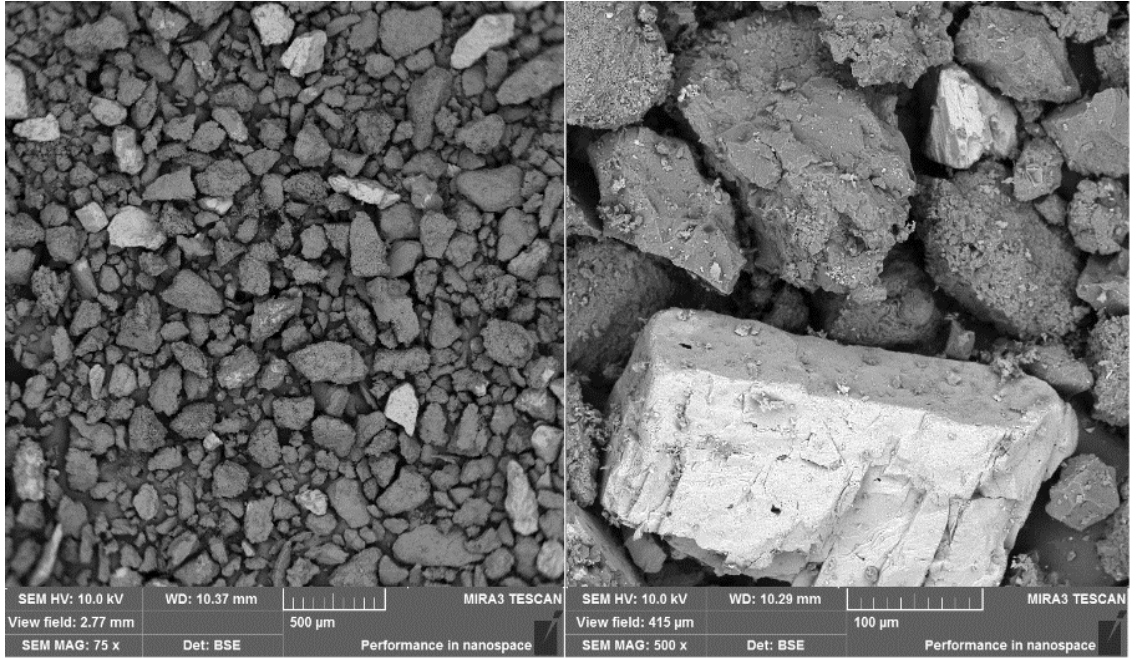
Şekil 4.74. Çubuklu değirmende öğütülmüş YBD numunesinin, 1. flotasyon artıklarını gösteren Taramalı Elektron Mikroskobu görüntüleri (a) 75x büyütme (b) 500x büyütme.



(a)

(b)

Şekil 4.75. Çubuklu değirmende öğütülmüş YBD numunesinin, 2. flotasyon artıklarını gösteren Taramalı Elektron Mikroskobu görüntüleri (a) 75x büyütme (b) 500x büyütme.



(a)

(b)

Şekil 4.76. Çubuklu değirmende öğütülmüş YBD numunesinin, 3. flotasyon artıklarını gösteren Taramalı Elektron Mikroskobu görüntüleri (a) 75x büyütme (b) 500x büyütme.

Tüvenan haldeki YBD numunesinin 75x'lik büyütmesinde; hem kırıklı silika (SiO_2) ve demir oksit (Fe_2O_3) taneleri, hem de kırıklı baryum sülfat (BaSO_4) taneleri görülmektedir.

Baryum sülfat tanelerinin gevrek klivaj kırılmalarına sahip olduğu ve en boy oranının (aspect ratio) daha fazla olduğu görülmektedir. Bu en boy oranına sahip barit numunelerin de, kırılma şekli dikdörtgen yapıdadır ve dikdörtgenlerin kırılmasından sonra karesel olarak parçalandığı, kare yapıların daha sonraki kırılmasının ardından tekrar dikdörtgen bir yapı oluşturması söz konusudur. Ayrıca ara yüzeyinde de iç boşluklar bulunduğu, bu iç boşluklarından da çatlağın klivaj olarak gevrek kırılma gibi ilerlediği kırılma desenleri görülmüş ve tüm yüzeylerde eğimli olan keskin, sivri, köşeli kırılmalar da saptanmıştır. Sivri köşeli kırılması olmayan çoğu malzeme aslında demir oksit taneleri, silika ve/veya kil türevi malzemelerden oluşmaktadır. Tüvenan haldeki YBD numunesinde gevrek ve sivri uçlu kırılan tanelerin, yer yer birbirlerini öğütterek, kenarları yuvarlaklaştırdığı görülmüştür.

Bilyalı değirmende öğütülmüş ve flotasyonu yapılmış olan YBD numunelerinin konsantreleri üzerinde yapılan SEM sonuçlarına göre, baryum sülfat ($BaSO_4$) tanelerinin olduğu yerlerde en boy oranının yüksek olduğu, keskin köşeleri olan, aralarda bazen boşluklar olan, baryum sülfat taneleri arasındaki bu doğal cevherleşme boşluklarına, bilyaların çarparak tek yönlü kırılma oluşturduğu görülmektedir. En uzun ve en geniş boyuta sahip kırılğan barit minerallerinin mukavemetli davrandığı ve sadece merkez (orta) noktasından kırılma eğiliminde olduğu tespit edilmiştir. Şekil 4.67’de barit numunelerinin ortorombik yapıda olduğu 500x büyütmede görülmektedir. Kristallografik olarak üç eksenli birbirinden farklı boyutlara sahip ve 90 derecelik açı oluşturmaktadır. Bazıları keskin köşeli olan fakat uçları yuvarlaklaşmış, bazıları da uzun ve henüz serbestleşmemiş tanelerden oluşmaktadır.

Baryum sülfatın genelde ortorombik sisteme benzediği, belirleyici çatlaklara sahip, keskin köşeli ve mümkünse klivajları hep ince kenardan olan yani kısa kenardan daha kolay kırılma gösterdiği Şekil 4.65, 4.66 ve 4.67’de görülmüştür. Aynı numunelerin 500x’lik büyütülmüş görüntülerinde, artıkların daha küresele yakın ve keskin köşeleri olmayan ince boyutlu tanelerin aglomere olduğu da Şekil 4.68, 4.69 ve 4.70’te görülmektedir. Bu durum dinamik görüntü analiz verileriyle de benzerlik göstermiştir.

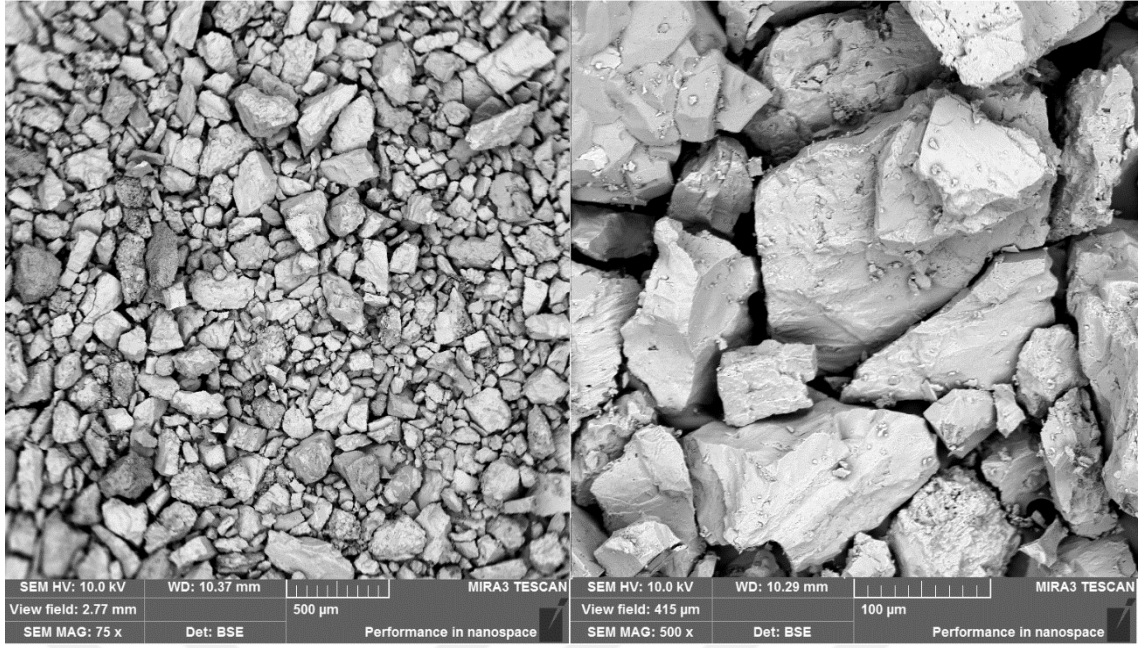
Bilyalı değirmenler, çubuklu değirmenlere göre daha küçük öğütücü ortamlarla çalışmaktadır. Daha az ağırlıklı olan bir çarpma şekline yani noktasal çarpma şekline sahiptir. Çubuklu değirmenlerde kontak bölgesi, bilyalı değirmenlere göre daha fazla olduğundan ve çubuğun çizgisel bir vurma bölgesi oluşturmasından dolayı birbiri üzerine

daha ağır bir malzeme düştüğü bilinmektedir. Bu nedenle bilyalı değirmenlere göre çubuklu değirmenler, daha büyük ağırlıklı ve daha deforme edici bir çarpma şekline sahiptir. Dolayısıyla barit minerallerini 45 derecelik açılar ile kırmıştır. 500x büyütme ile çekilen görüntüler, Şekil 4.71, 4.72 ve 4.73’de görüldüğü gibi, uzunlamasına kırıklar ve yüzey kırıkları, içindeki gözenekli kırıklar oldukça belirgindir. Şekil 4.66’da YBD’nin konsantre ürünlerine ait görüntüler incelendiğinde, keskin köşeli kırılması kübik ortorombik kırılmayı işaret etmektedir. Bu kırma şekli, minerallerin çatlaklarına daha fazla nüfuz etmekte ve dolayısıyla BRAR değerinin daha da artmasını sağlamaktadır. Daha uzun bir üçgen şekli gibi göze çarpan ve aslında lateral bir kırılma olarak değil, sürekli dikine kısa eksenin kırılması şeklinde görülmüştür. Bu durum dinamik görüntü analizi verileri ile kıyaslandığında, çubuklu değirmenlerin görüldüğü gibi bilyalı değirmenlere göre biraz daha yüksek BRAR değeri oluşturmasıyla açıklanabilir.

İnce boyut açısından değerlendirildiğinde, bilyalı değirmen ürününün zenginleştirme sonucu artıklarına göre çubuklu değirmenlerde ince boyutlar, Şekil 4.74, 4.75 ve 4.76’da da görüldüğü gibi biraz daha fazla belirginleşmiştir. Barit mineralinin, keskin köşelerinin kıvrımlaşmış olması gözlemlenmektedir. Yeni kırılma yüzeylerinde keskin uçlar görünürken, sürtünme olan eski kırılma yüzeylerinde yuvarlak şekilleşme başladığı görülmüştür.

4.11.2 Yüksek tenörlü (YBİ) baritlerin Taramalı Elektron Mikroskobu ile tane şekil ve morfolojilerinin belirlenmesi

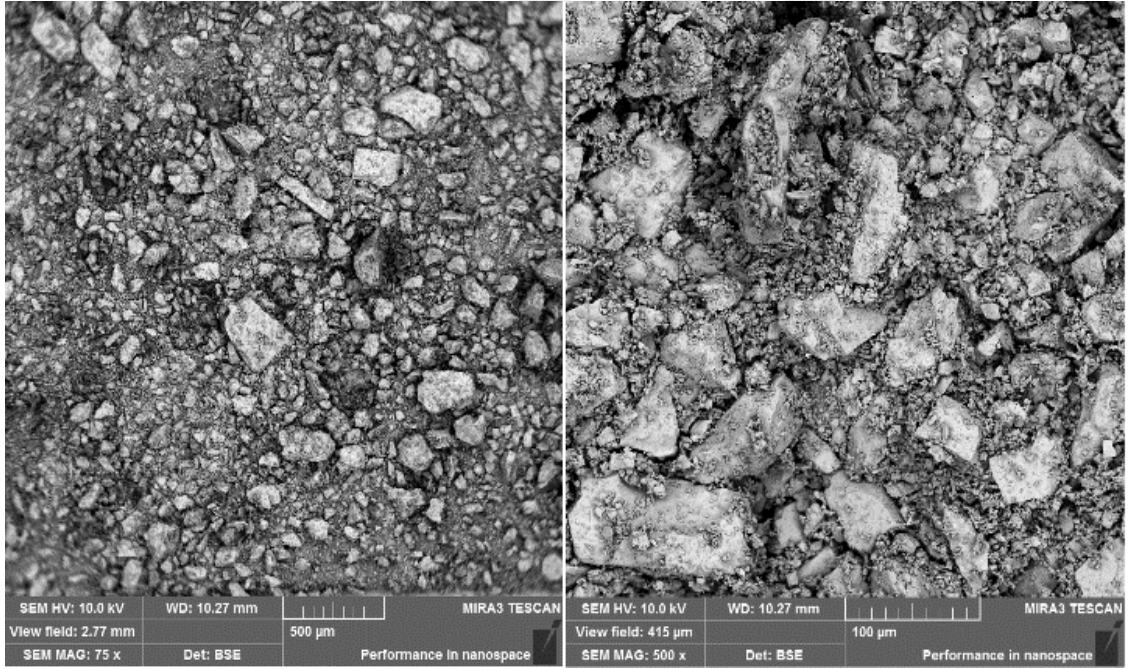
YBİ (yüksek tenörlü barit) numunelerinin farklı değirmenler de öğütülmesi sonucu yapılan flotasyon ile zenginleştirme testleri sonucu elde edilen konsantre ve artık ürünlerinin yapısal özelliklerinin ve daha önceden yapılan dinamik görüntü analizi testlerinden elde edilen sonuçlarla korelasyonu açısından SEM’de şekil ve morfolojik özellikleri incelenmiştir. Tüvenan YBİ numunesine ait SEM görüntüleri Şekil 4.77’de ve bilyalı değirmende öğütülerek flotasyon testleri yapılan YBİ numunesine ait konsantreye ait taramalı elektron mikroskobuna ait görüntüler ise Şekil 4.78, Şekil 4.79 ve Şekil 4.80’de sırasıyla verilmiştir.



(a)

(b)

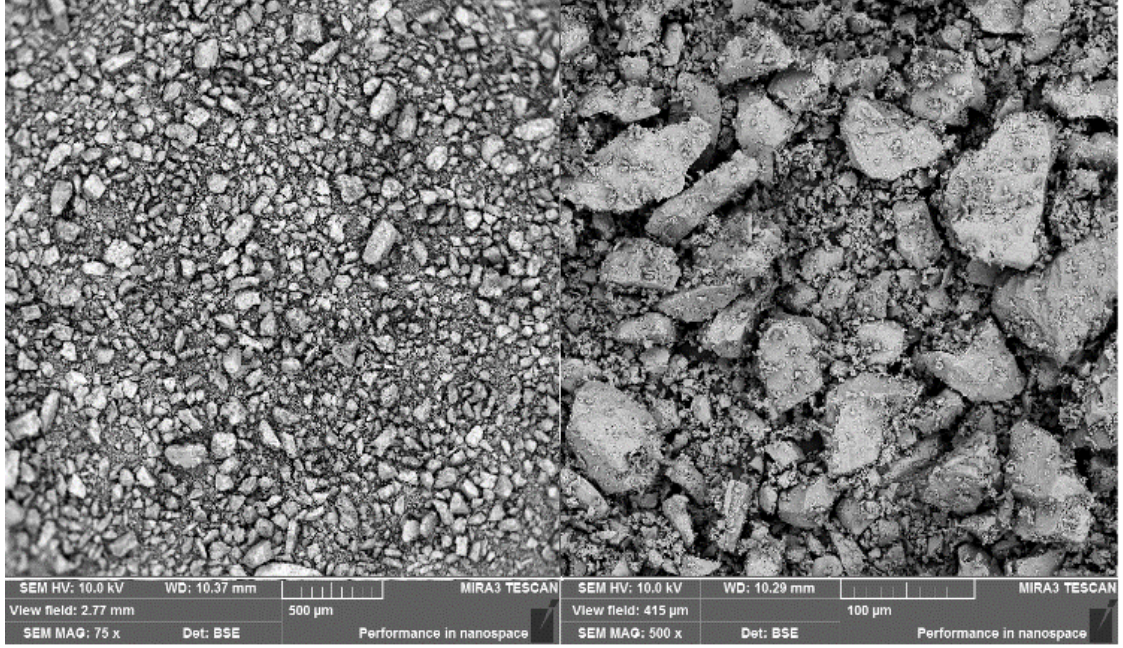
Şekil 4.77. Tüvenan YBİ (yüksek tenörlü barit) numunesine ait Taramalı Elektron Mikroskobu görüntüleri (a) 75x büyütme (b) 500x büyütme.



(a)

(b)

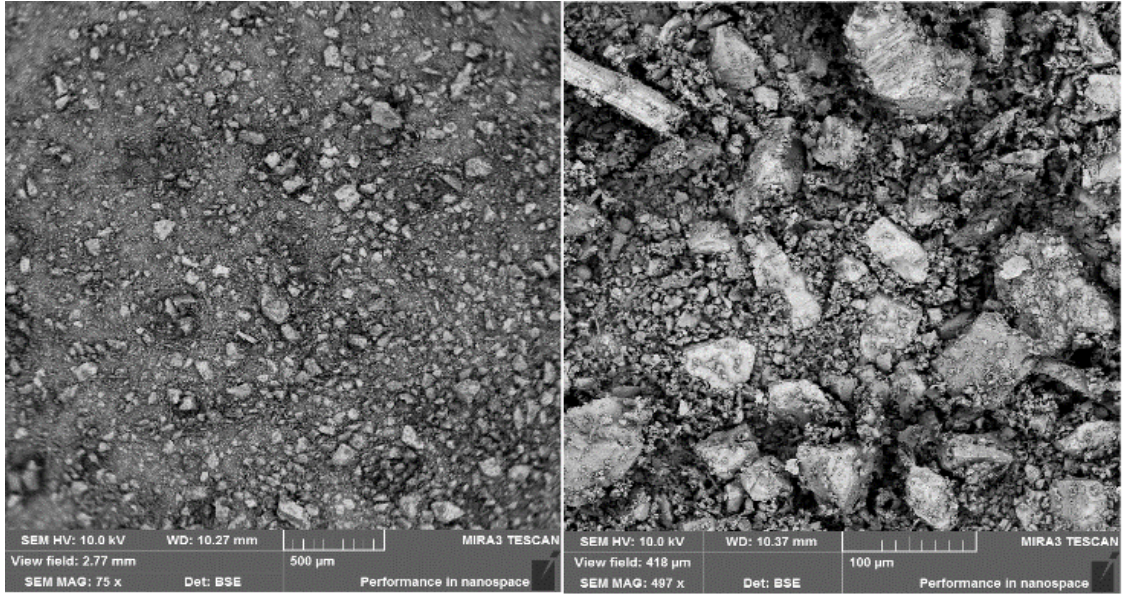
Şekil 4.78. Bilyalı değirmende öğütülmüş YBİ numunesinin, 1.flotasyon konsantrelerini gösteren Taramalı Elektron Mikroskobu görüntüleri (a) 75x büyütme (b) 500x büyütme.



(a)

(b)

Şekil 4.79. Bilyalı değirmende öğütülmüş YBİ numunesinin, 2. flotasyon konsantrelerini gösteren Taramalı Elektron Mikroskobu görüntüleri (a) 75x büyütme (b) 500x büyütme.

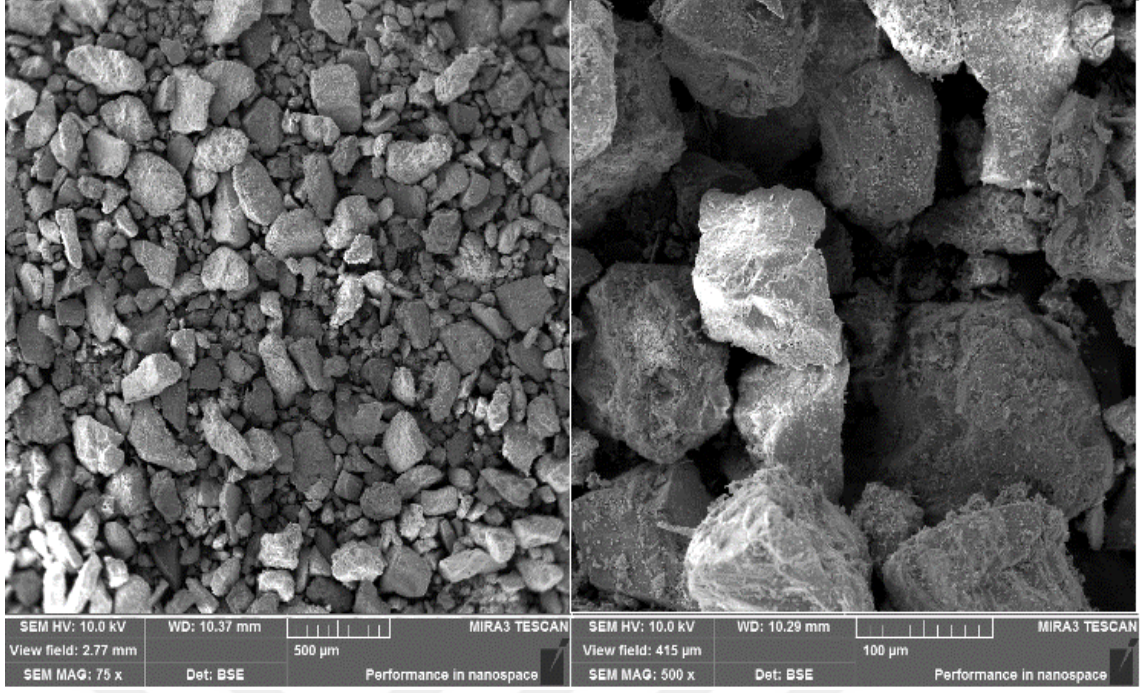


(a)

(b)

Şekil 4.80. Bilyalı değirmende öğütülmüş YBİ numunesinin, 3. flotasyon konsantrelerini gösteren Taramalı Elektron Mikroskobu görüntüleri (a) 75x büyütme (b) 500x büyütme.

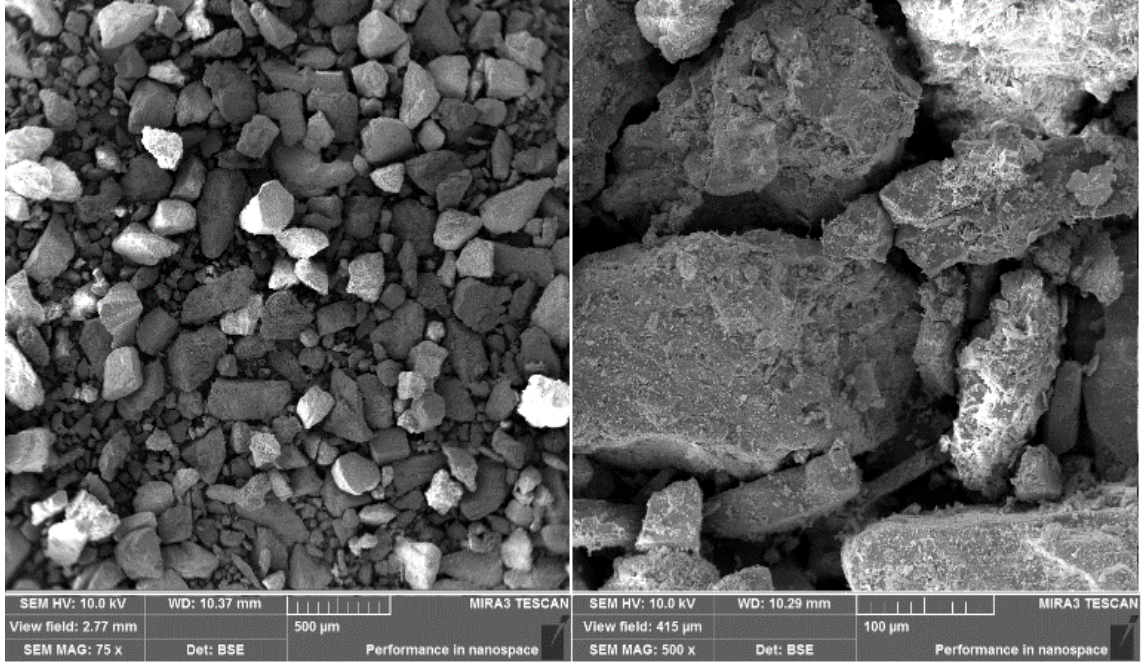
Bilyalı değirmende öğütülerek flotasyon testleri yapılan YBİ numunesine ait artığın, 75x ve 500x büyütme sonucu çekilen SEM resimleri Şekil 4.81, 4.82 ve 4.83'te sırasıyla verilmiştir.



(a)

(b)

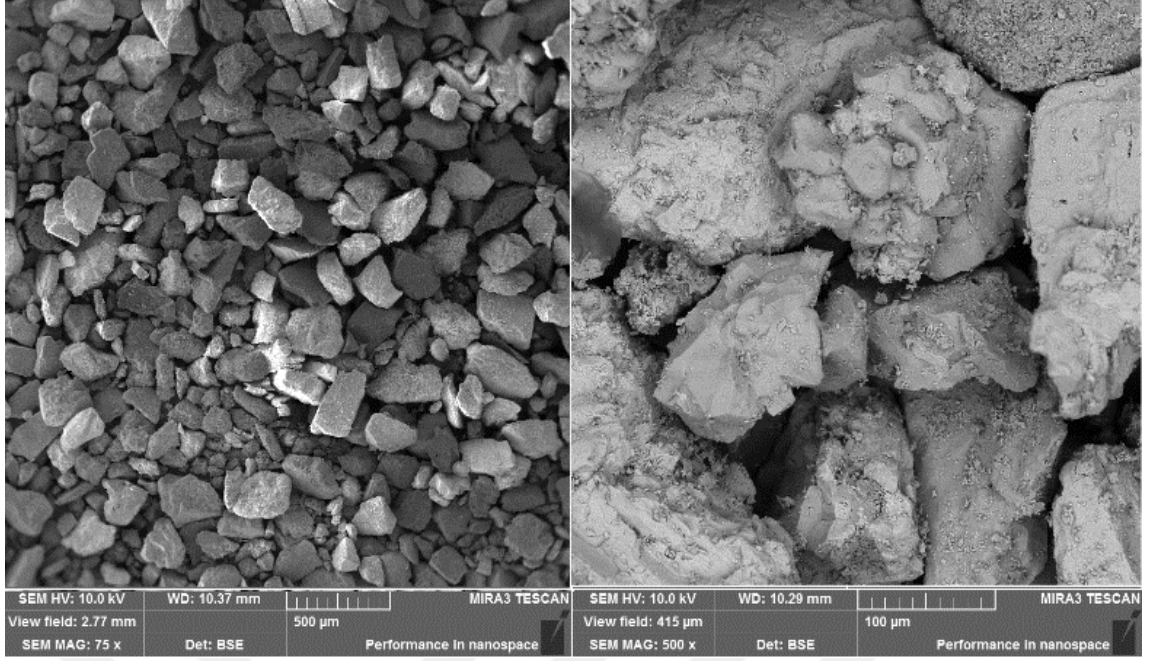
Şekil 4.81. Bilyalı değirmende öğütülmüş YBİ numunesinin, 1. flotasyon artıklarını gösteren Taramalı Elektron Mikroskobu görüntüleri (a) 75x büyütme (b) 500x büyütme.



(a)

(b)

Şekil 4.82. Bilyalı değirmende öğütülmüş YBİ numunesinin, 2. flotasyon artıklarını gösteren Taramalı Elektron Mikroskobu görüntüleri (a) 75x büyütme (b) 500x büyütme.

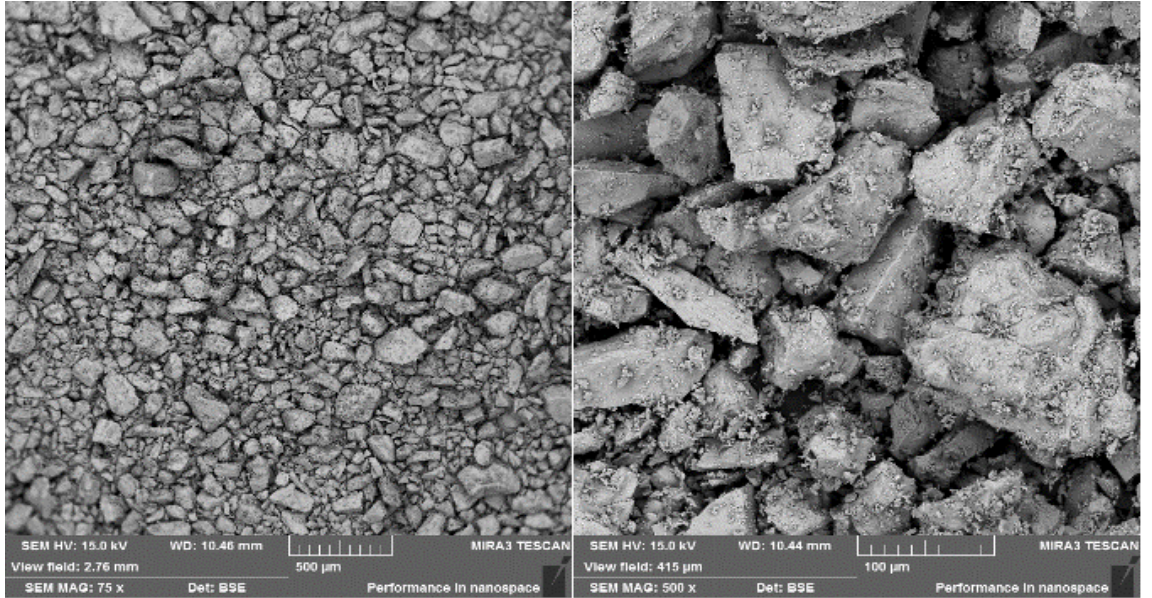


(a)

(b)

Şekil 4.83. Bilyalı değirmende öğütülmüş YBİ numunesinin, 3. flotasyon artıklarını gösteren Taramalı Elektron Mikroskobu görüntüleri (a) 75x büyütme (b) 500x büyütme.

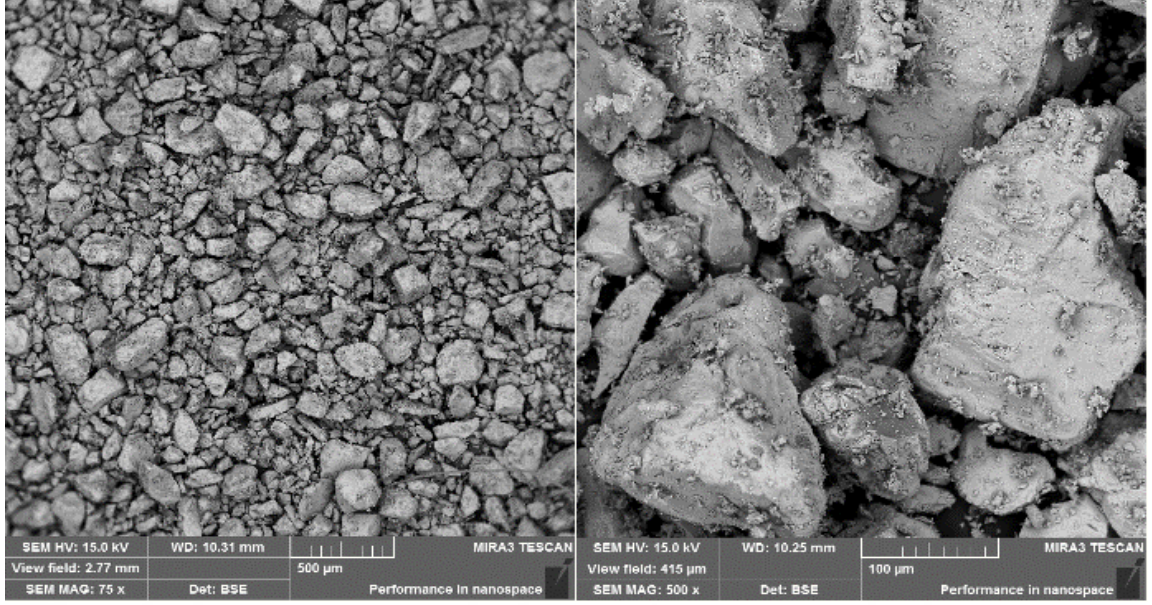
Çubuklu değirmenlerde öğütülerek flotasyon testleri yapılan YBİ numunesine ait konsantrenin, 75x ve 500x büyütme sonucu çekilen SEM resimleri Şekil 4.84, 4.85 ve 4.86’da görülmektedir.



(a)

(b)

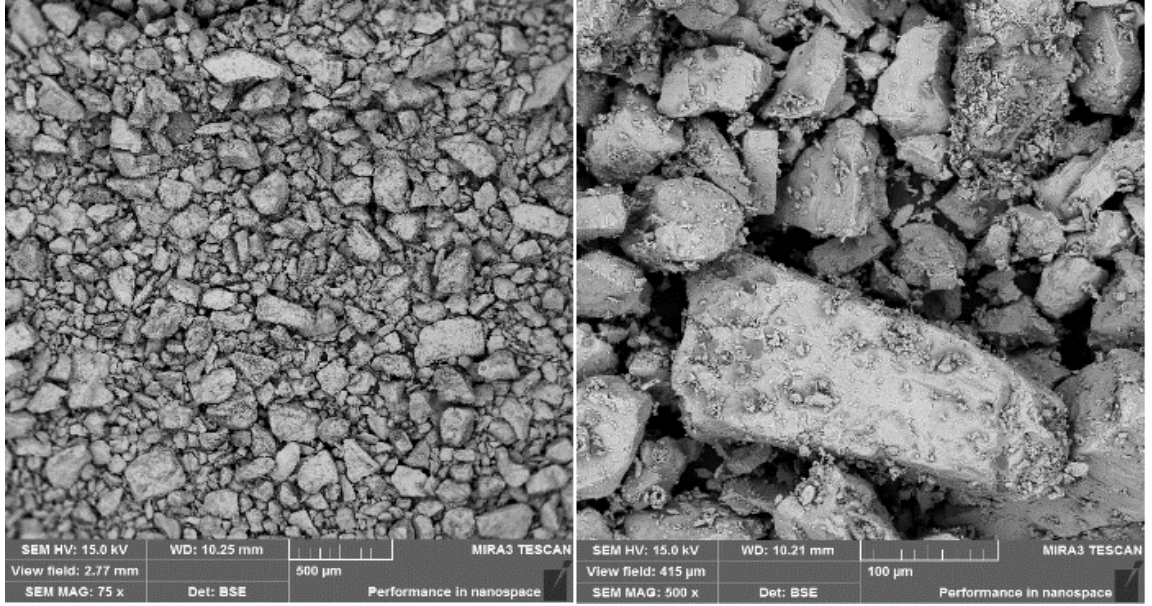
Şekil 4.84. Çubuklu değirmende öğütülmüş YBİ numunesinin, 1. flotasyon konsantrelerini gösteren Taramalı Elektron Mikroskobu görüntüleri (a) 75x büyütme (b) 500x büyütme.



(a)

(b)

Şekil 4.85. Çubuklu değirmende öğütülmüş YBİ numunesinin, 2. flotasyon konsantrelerini gösteren Taramalı Elektron Mikroskobu görüntüleri (a) 75x büyütme (b) 500x büyütme.

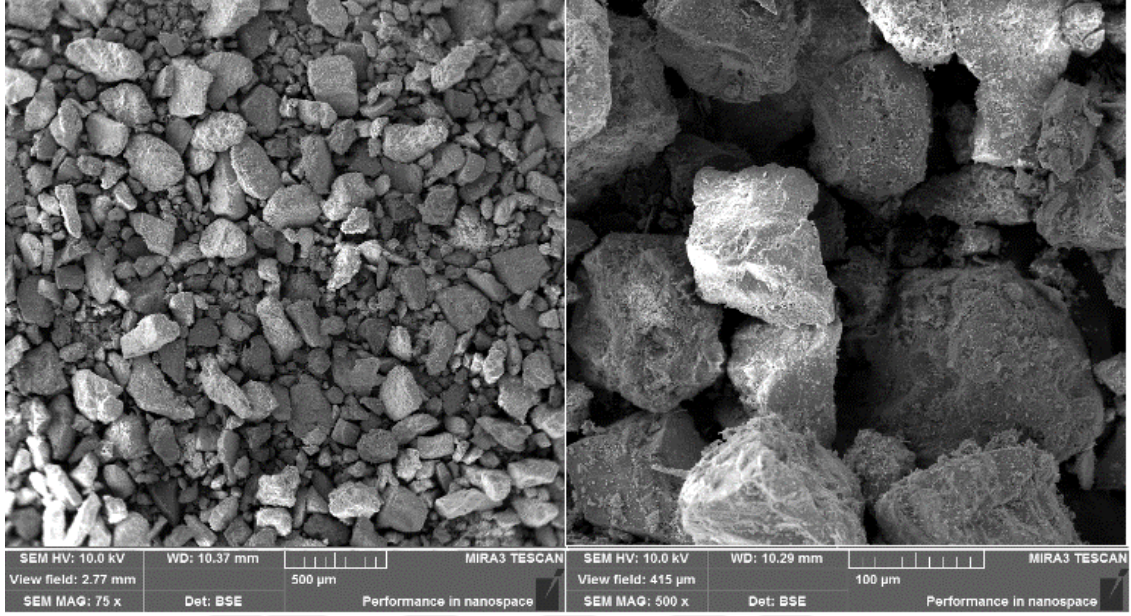


(a)

(b)

Şekil 4.86. Çubuklu değirmende öğütülmüş YBİ numunesinin, 3. flotasyon konsantrelerini gösteren Taramalı Elektron Mikroskobu görüntüleri (a) 75x büyütme (b) 500x büyütme.

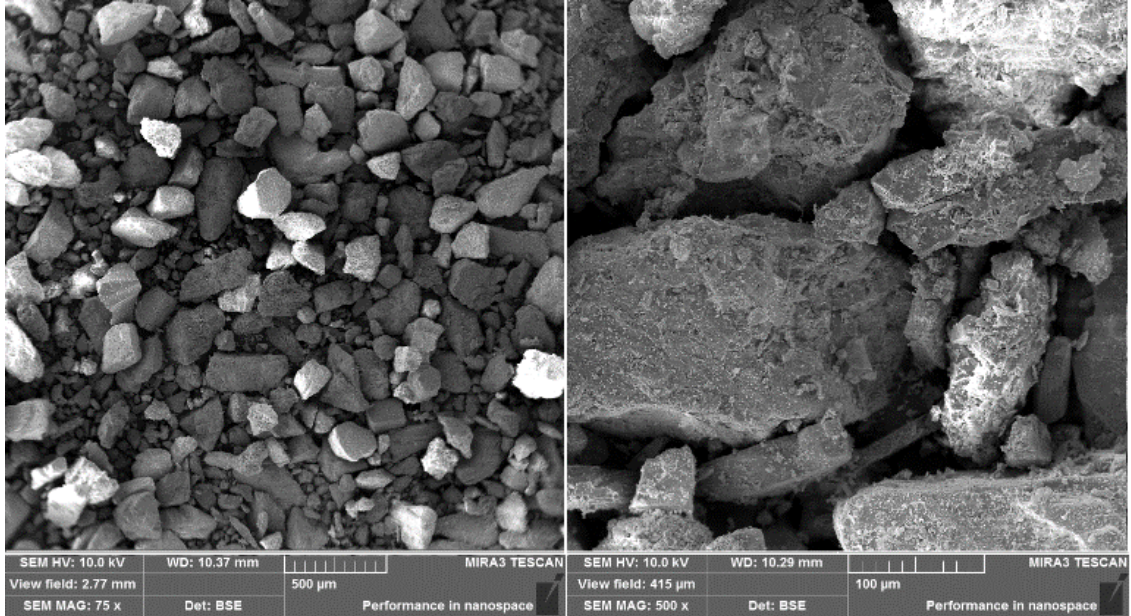
Çubuklu değirmenlerde öğütülerek flotasyon testleri yapılan YBİ numunesine ait artığın, 75x ve 500x büyütme sonucu çekilen SEM resimleri Şekil 4.87, 4.88 ve 4.89’ da sırasıyla verilmiştir.



(a)

(b)

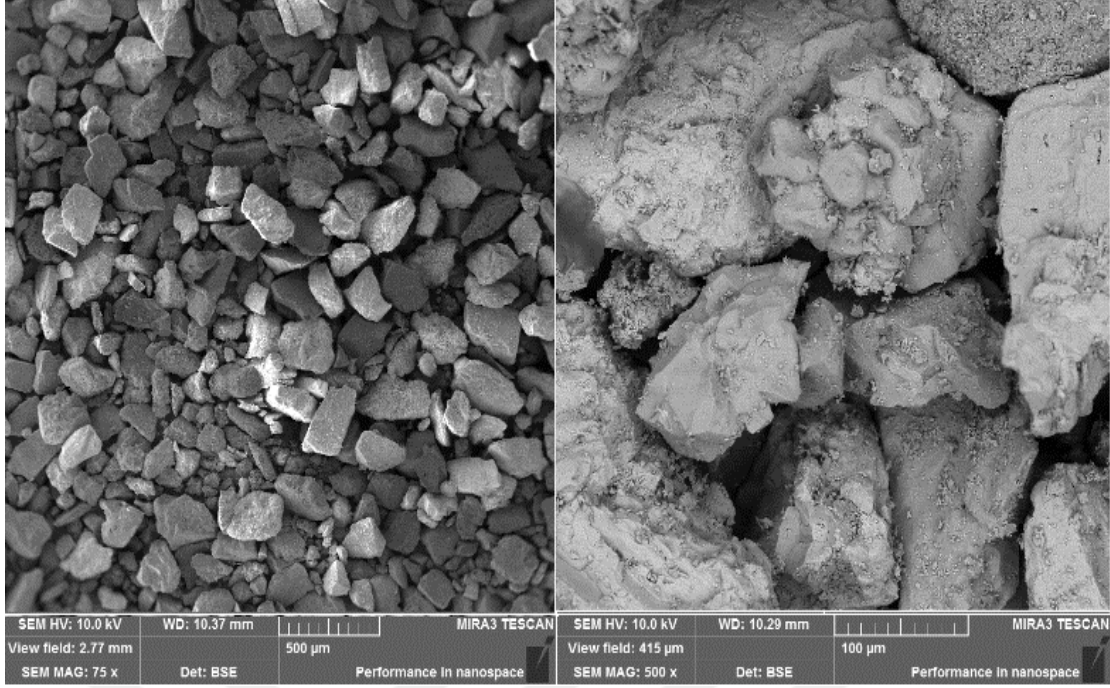
Şekil 4.87. Çubuklu değirmende öğütülmüş YBİ numunesinin, 1. flotasyon artıklarını gösteren Taramalı Elektron Mikroskobu görüntüleri (a) 75x büyütme (b) 500x büyütme.



(a)

(b)

Şekil 4.88. Çubuklu değirmende öğütülmüş YBİ numunesinin, 2. flotasyon artıklarını gösteren Taramalı Elektron Mikroskobu görüntüleri (a) 75x büyütme (b) 500x büyütme.



Şekil 4.89. Çubuklu değirmende öğütülmüş YBİ numunesinin, 3. flotasyon artıklarının gösteren Taramalı Elektron Mikroskobu görüntüleri (a) 75x büyütme (b) 500x büyütme.

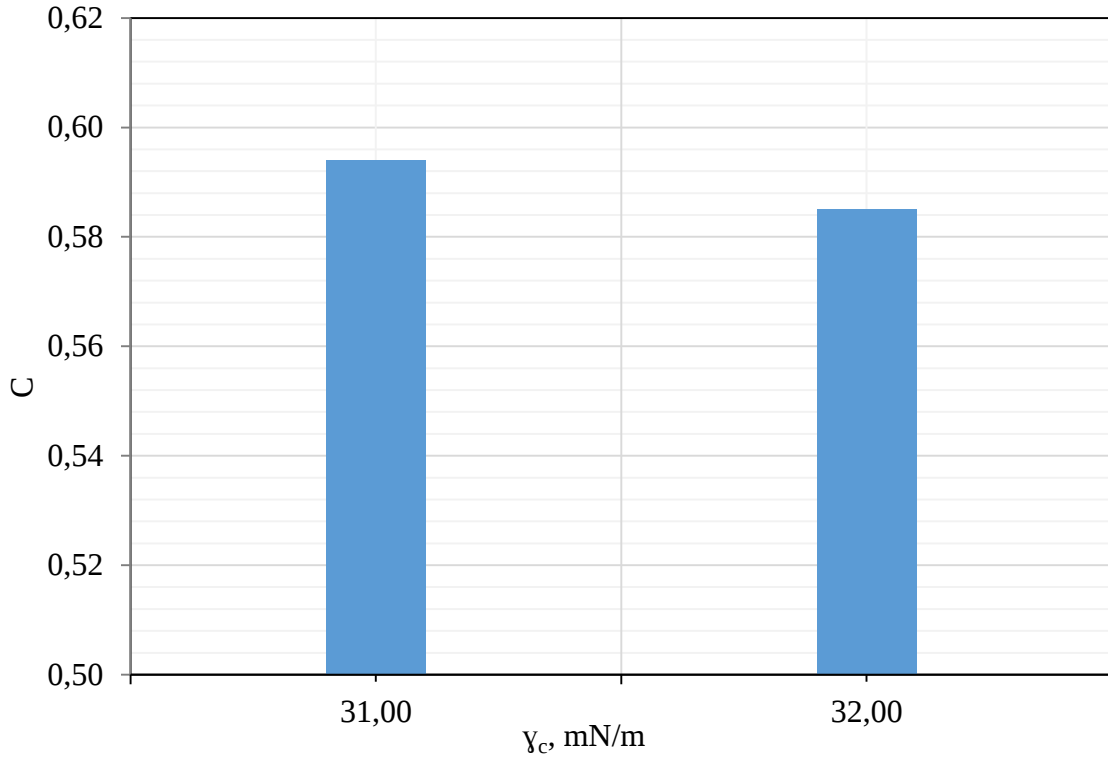
YBİ (yüksek tenörlü barit) numunelerinin her iki değirmen tipinde öğütülmesi sonucu elde edilen ürünlerin flotasyon konsantrlerinde YBD numunesine benzer özellikler gösteren SEM fotoğrafları elde edilmiştir. Barit tanelerinin daha uzun ve yassı, gang mineralleri olan silis, demir oksit vb. minerallerin ise daha küresel olduğu gözlemlenmiştir. Çubuklu değirmende öğütülerek zenginleştirilmiş olan YBİ numunelerinin bilyalı değirmende öğütülerek zenginleştirilmiş olan numunelerden biraz daha fazla uzunlamasına kırıldığını göstermiştir. Bu durum üç boyutlu dinamik görüntü analizi verilerinde de görülmüştür.

4.12 Bulguların Karşılaştırılarak Değerlendirilmesi

Bu çalışma kapsamında elde edilen öğütme, zenginleştirme, kritik ıslanma yüzey gerilimi, flotasyon ve tane şekil ve morfolojisi ile ilgili sonuçlar, farklı farklı yaklaşımları bütününde değerlendirmek ve sonuçlardaki olası ilişkileri kurmak amacıyla karşılaştırılmıştır. Böylece tüm çalışma parametrelerinin sonuçlarının anlamlı ilişkileri kurulmuştur.

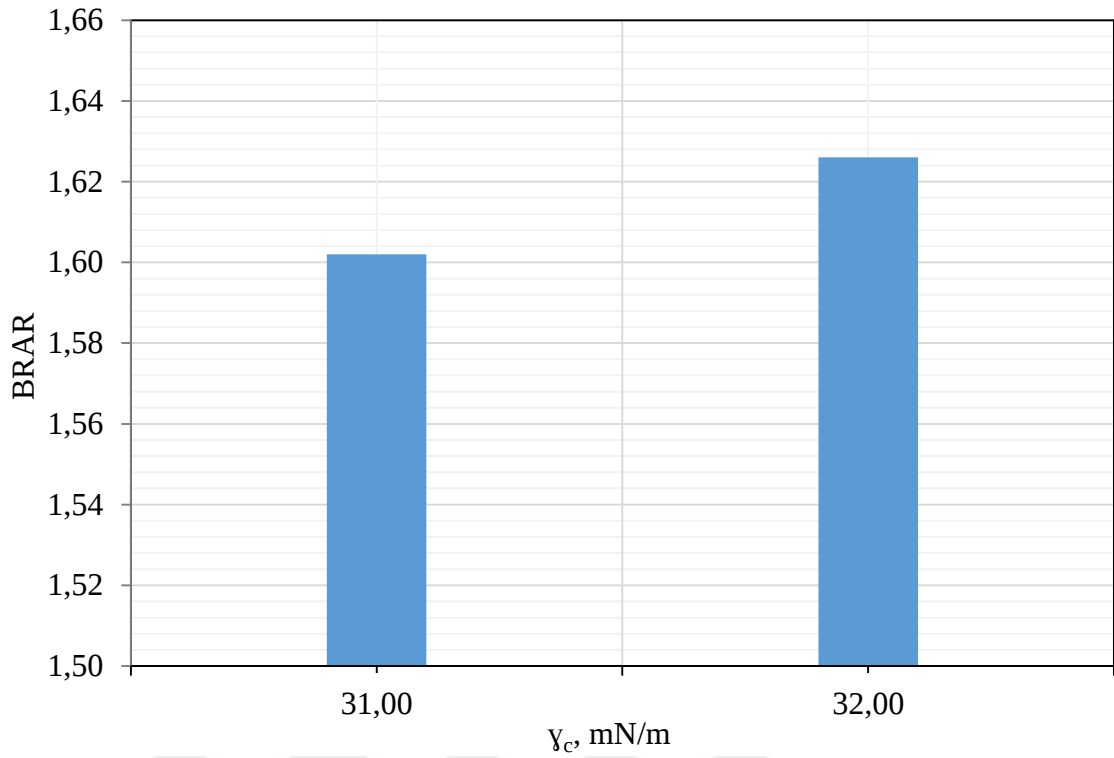
4.12.1 Bilyalı değirmen ürünleri için verilerin karşılaştırılması

Bilyalı değirmenlerde öğütülmüş barit cevherlerinin, Zisman temas açısı yöntemi ile belirlenen kritik ıslanma yüzey gerilimi değerlerine karşın, 3 boyutlu dinamik görüntü analizi cihazından elde edilen dairesellik (C, Circularity) ve sınırlayıcı dikdörtgen en-boy oranı (BRAR) değerleri arasındaki ilişki sırasıyla Şekil 4.90 ve 4.91’de sunulmuştur.



Şekil 4.90. Bilyalı değirmen ürünlerinin farklı kritik ıslanma yüzey gerilimi (γ_c) değerlerine karşı gelen dairesellik (C) değerleri.

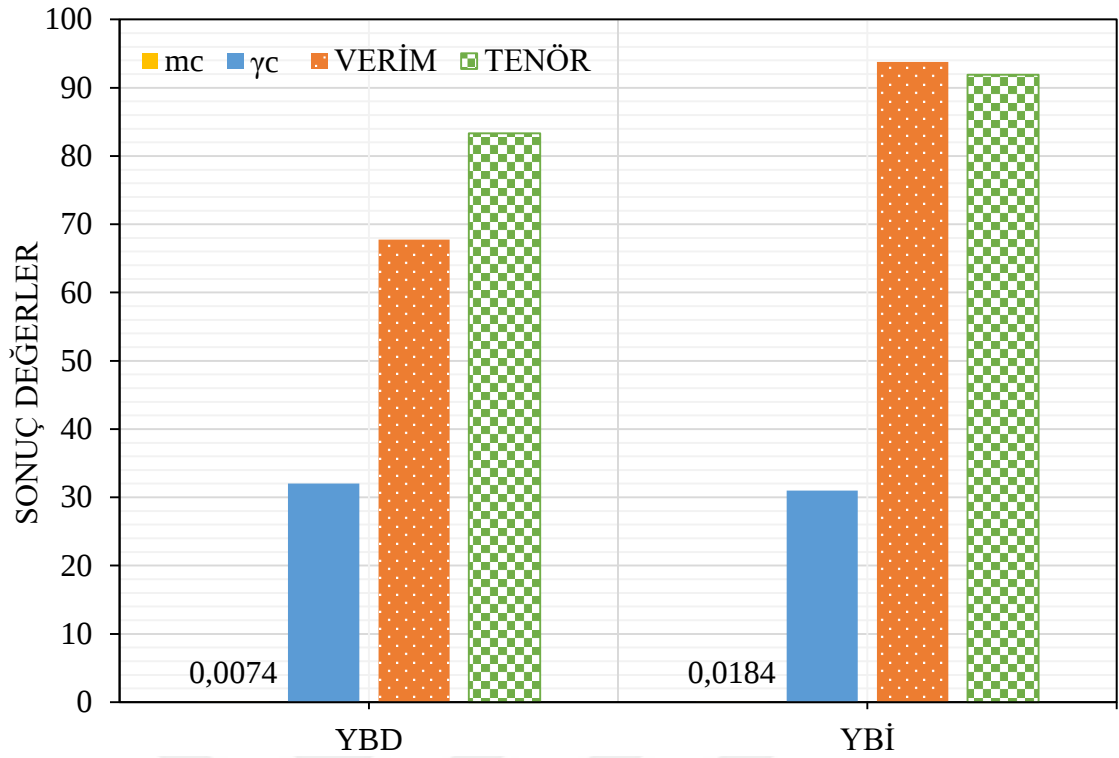
Kritik ıslanma yüzey gerilimi değeri, 31 mN/m iken, dairesellik (C) değeri 0,594 olup, kritik ıslanma yüzey gerilim değeri 32 mN/m olduğunda, C değeri 0,585 bulunmuştur. Diğer bir ifade ile Şekil 4.90’da açıkça görüldüğü gibi hidrofobluk derecesi artarken dairesellikte artmaktadır.



Şekil 4.91. Bilyalı değirmen ürünlerinin farklı kritik ıslanma yüzey gerilimi (γ_c) değerlerine karşı gelen sınırlayıcı dikdörtgen en-boy oranı (BRAR) değerleri.

Kritik ıslanma yüzey gerilimi değeri 31 mN/m’da, sınırlayıcı dikdörtgen en-boy oranı (BRAR) değeri 1,602 iken, kritik ıslanma yüzey gerilim değeri 32 mN/m olduğunda BRAR değeri 1,626 olmuştur. Yani artan hidrofoblukla BRAR değeri azalmakta fakat C değeri artmakta olup, bu da C ile BRAR’nin beklendiği gibi ters orantılı olduğunu göstermektedir.

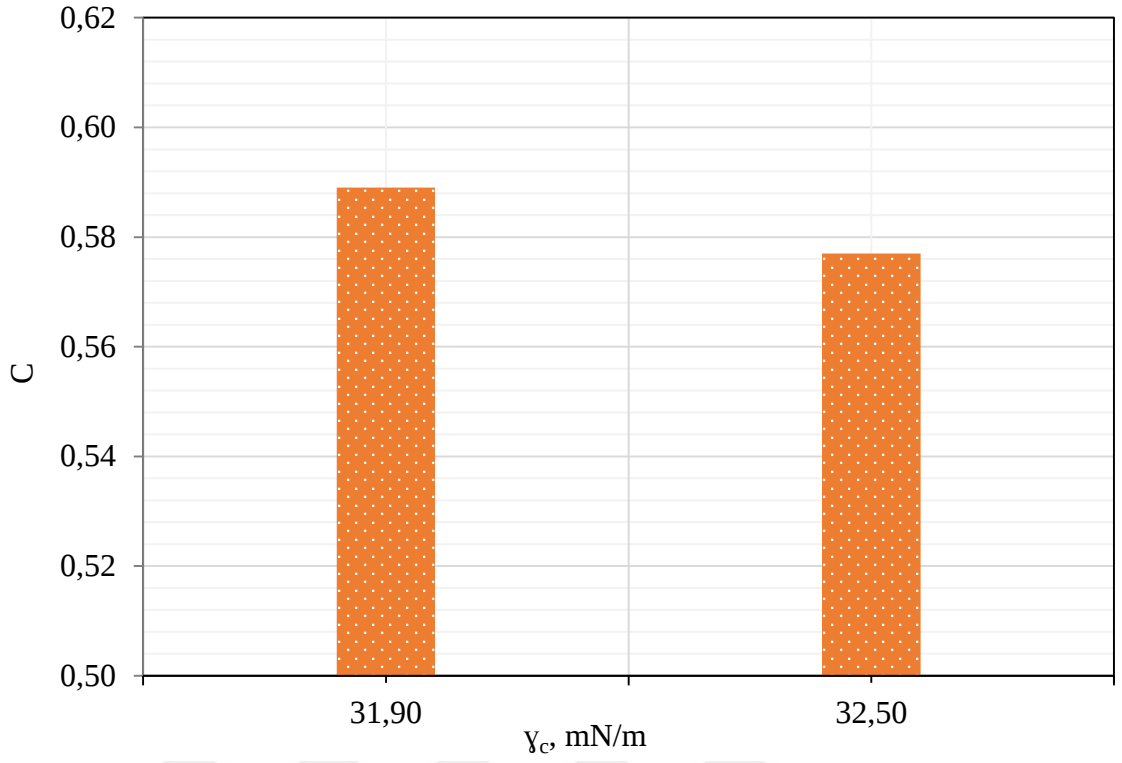
Bilyalı değirmende öğütülerek flotasyonu yapılmış düşük tenörlü (YBD) ve yüksek tenörlü (YBİ) numunelerinin konsantre ürünleri ile ilgili bulunan veriler değerlendirilmiştir. Bu nedenle, Zisman diyagram eğimi, kritik ıslanma yüzey gerilimi değerleri ve flotasyon konsantrelerine ait verim ve tenör değerlerinin topluca gösterimi Şekil 4.92’de verilmiştir. Bu sonuçlar ışığında; YBD numunelerinin, Zisman diyagramı eğim değeri (m_c), 0,0074 ve YBİ baritlerinde m_c değeri 0,0184 olarak bulunmuştur.



Şekil 4.92. Bilyalı değirmen ürünleri olan düşük tenörlü (YBD) ve yüksek tenörlü (YBİ) barit numunelerinin Zisman ıslanma diyagramındaki eğimleri(m_c), kritik ıslanma yüzey gerilimi değerleri (γ_c), flotasyona ait konsantrenin verim (%) ve tenör (%) değerlerinin birlikte karşılaştırmalı gösterimi.

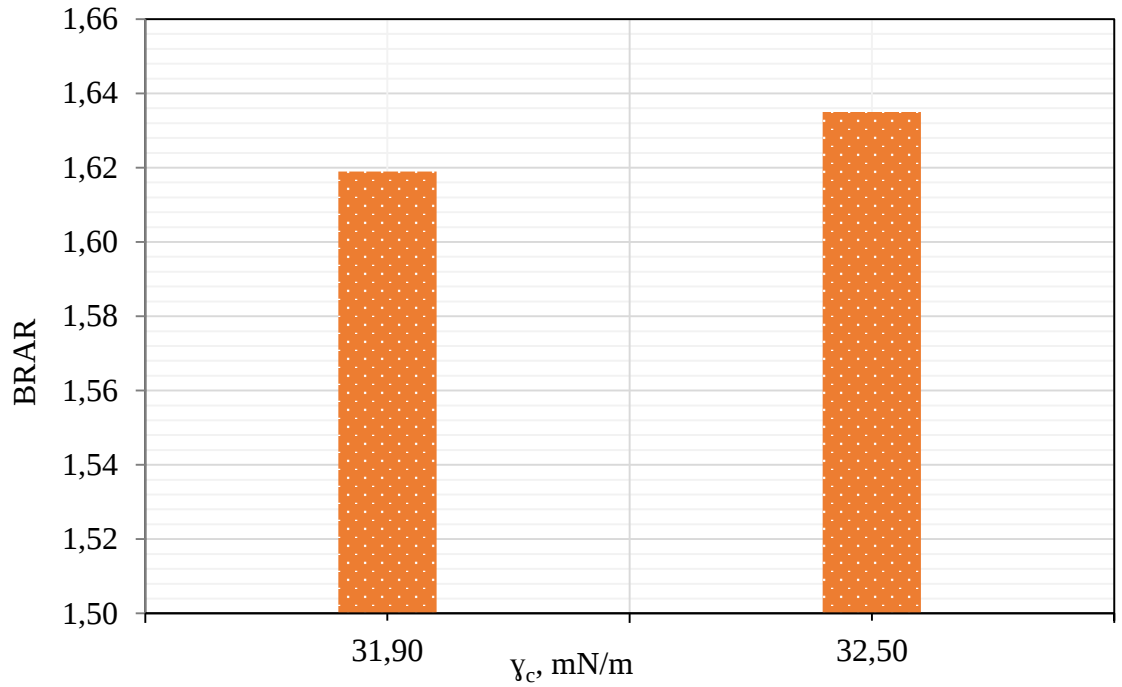
4.12.2 Çubuklu değirmen ürünleri için verilerin karşılaştırılması

Çubuklu değirmenlerde öğütülmüş barit cevherlerinin, Zisman temas açısı yöntemiyle belirlenen ıslanma diyagramından belirlenen kritik ıslanma yüzey gerilimi değerlerine karşın, 3 boyutlu dinamik görüntüleme analizi cihazında ölçülen dairesellik (C) ve sınırlayıcı dikdörtgen en-boy oranı (BRAR) değerleri arasındaki ilişki sırasıyla Şekil 4.93 ve 4,94'te verilmektedir.



Şekil 4.93. Çubuklu değirmen ürünlerinin farklı kritik ıslanma yüzey gerilimleri (γ_c) değerlerine karşı gelen dairesellik (C) değerleri.

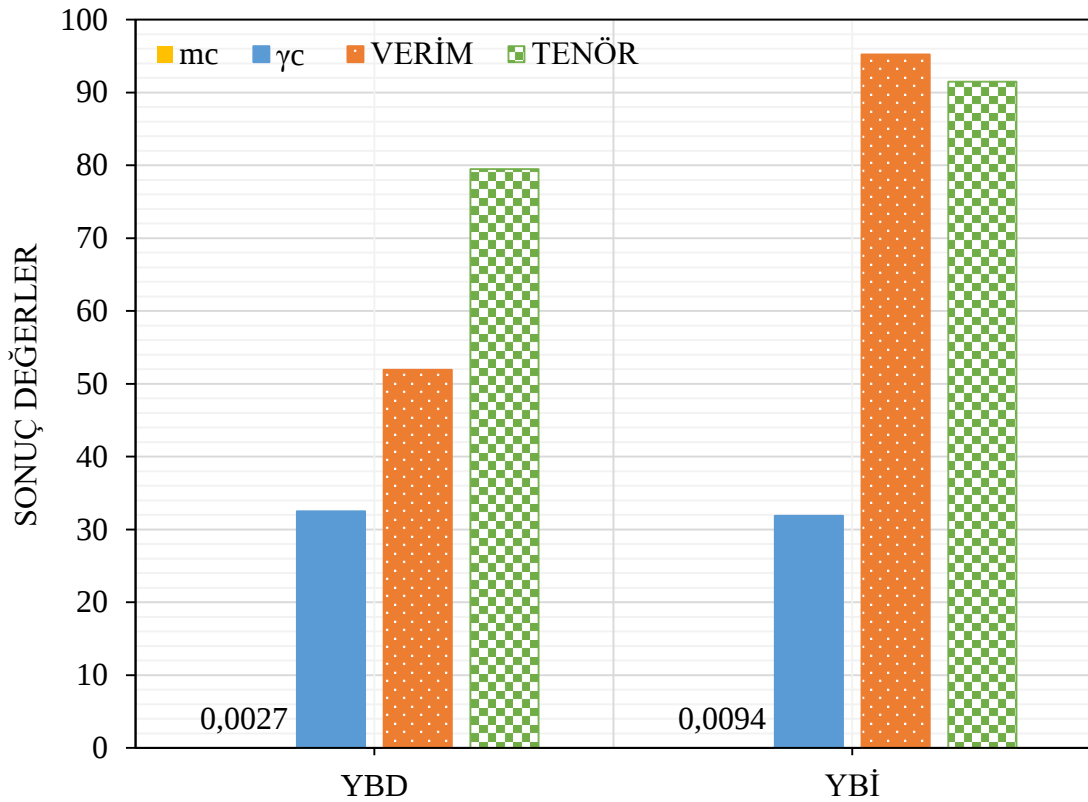
Kritik ıslanma yüzey gerilimi değeri, 31,90 mN/m’de dairesellik (C) değeri 0,589 iken, kritik ıslanma yüzey gerilim değeri 32,50 mN/m olduğunda, C değeri 0,577 olmuştur.



Şekil 4.94. Çubuklu değirmen ürünlerinin farklı kritik ıslanma yüzey gerilimleri (γ_c) değerlerine karşı gelen sınırlayıcı dikdörtgen en-boy oranı (BRAR) değerleri.

Kritik ıslanma yüzey gerilimi değeri, 31,90 mN/m’da sınırlayıcı dikdörtgen en-boy oranı (BRAR) değeri 1,619 iken, kritik ıslanma yüzey gerilimi değeri 32,50 mN/m olduğunda BRAR değeri 1,635 bulunmuştur.

Çubuklu değirmende öğütülerek flotasyonu yapılmış düşük tenörlü (YBD) ve yüksek tenörlü (YBİ) numunelerinin konsantre ürünleri ile ilgili bulunan veriler değerlendirilmiş olup, Zisman diyagram eğimi, kritik ıslanma yüzey gerilimi değerleri ve flotasyon konsantrelerine ait verim ve tenör değerleri Şekil 4.95’te görülmektedir.

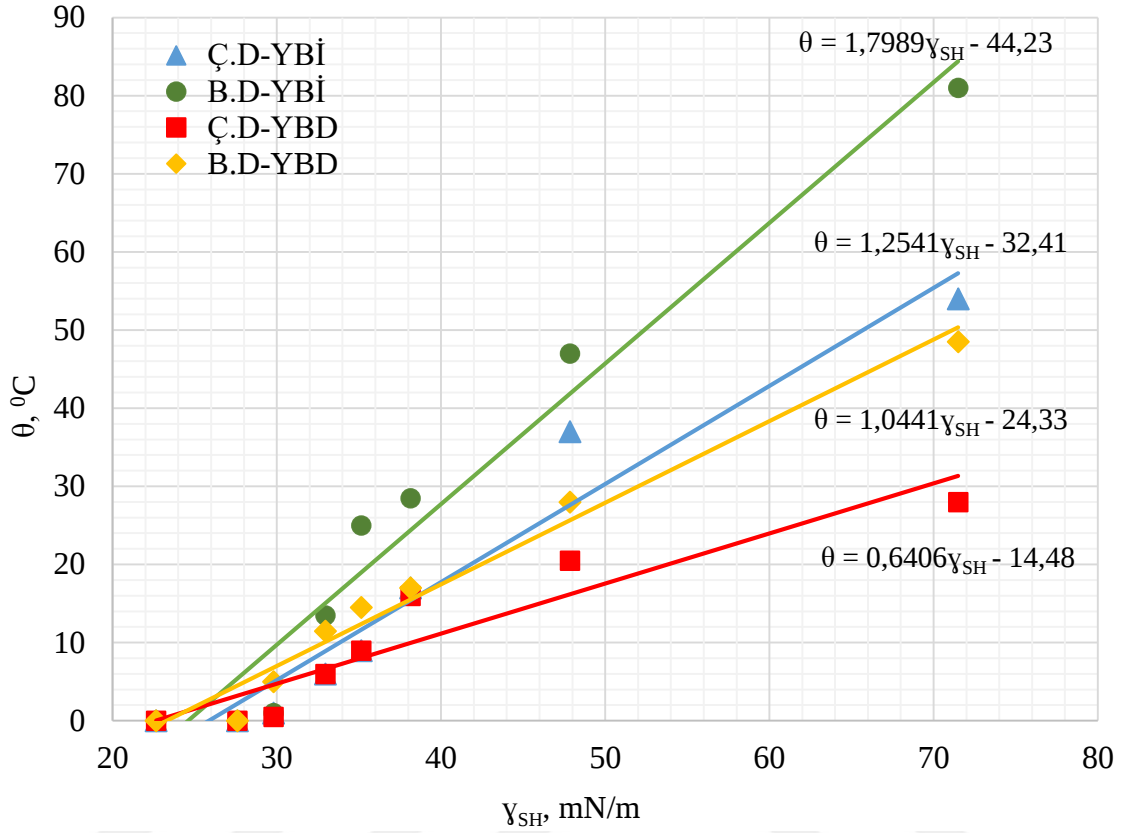


Şekil 4.95. Çubuklu değirmen ürünleri olan düşük tenörlü (YBD) ve yüksek tenörlü (YBİ) barit numunelerinin Zisman ıslanma diyagramındaki eğimleri(m_c), kritik ıslanma yüzey gerilimi (γ_c) değerleri, flotasyon konsantre verim (%) ve tenör (%) değerlerinin birlikte karşılaştırmalı gösterimi.

4.12.3 Kritik ıslanma yüzey gerilimi ile ilgili verilerin karşılaştırılması

Gonyometre ile ölçülen temas açısı değerleriyle (çözelti yüzey gerilimine karşı $\cos\theta$ değerleri alınarak) oluşturulan Zisman ıslanma diyagramından yorumlanan kritik ıslanma yüzey gerilimi (γ_c) değerleri ile kullanılan metanol-su çözeltilerinin yüzey gerilimleri (γ_{SH}) ve konsantre tenör değerlerinin değişimleri belirlenmiştir. Damla ağırlık yöntemi ile önceden yüzey gerilimleri belirlenmiş sıvıların, farklı değirmen ürünü ve farklı tenöre

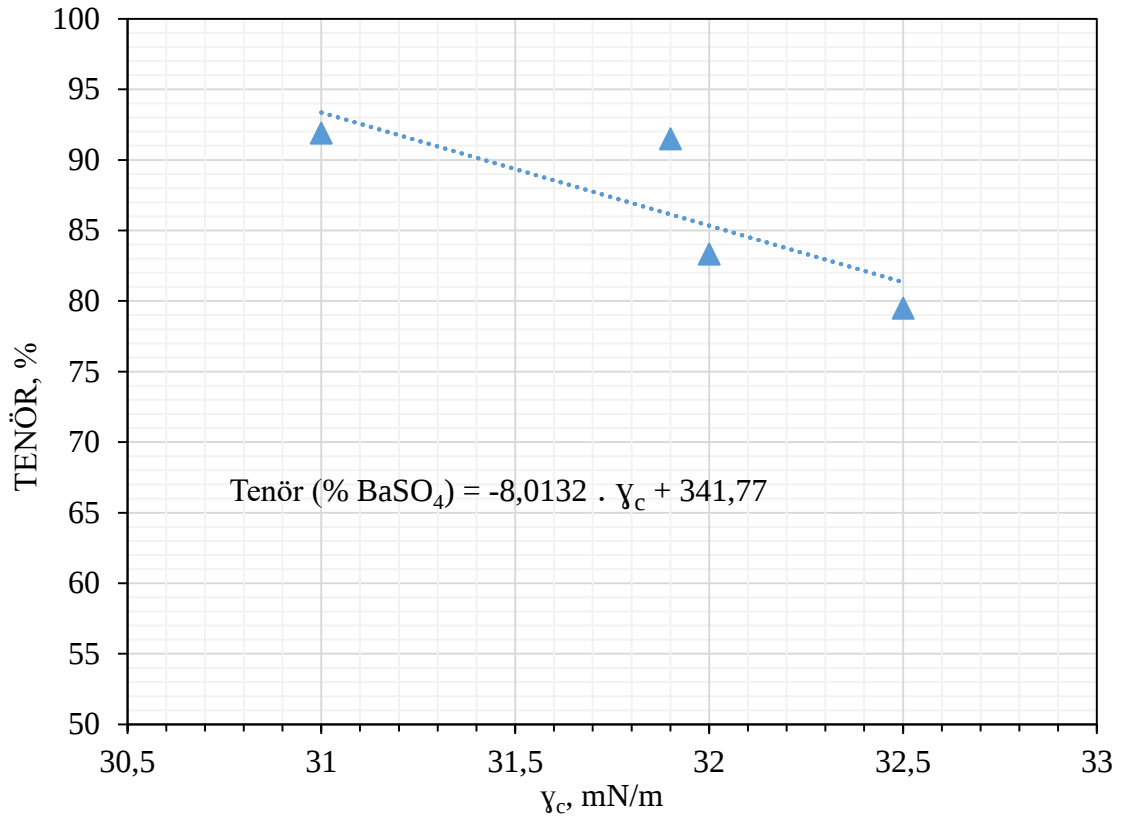
sahip toplam 4 farklı barit numunesi ile oluşturduğu temas açılarının kıyaslanması amacıyla Şekil 4.96’da sunulmuştur.



Şekil 4.96. Farklı barit numunelerinin, değişik yüzey gerilimlerine sahip sıvılar ile gonyometre cihazında ölçülen temas açıları arasındaki ilişki.

Şekil 4.96’da, aynı yüzey gerilimi değerindeki bir sıvı yüksek tenörlü (YBİ) baritlerin, düşük tenörlü (YBD) barit cevherlerinden beklendiği gibi daha yüksek katı-sıvı-hava temas açısı oluşturmuştur. Aynı zamanda bilyalı değirmende öğütülmüş ürünlerin, çubuklu değirmenlerle kıyaslandığından daha yüksek açılar oluşturduğu görülmektedir.

Barit cevherleri için bulunan kritik ıslanma yüzey gerilimi değerleri ile flotasyon ile zenginleştirilmiş konsantre ürünlerinin tenör değerleri arasındaki ilişki Şekil 4.97’de verilmiştir.

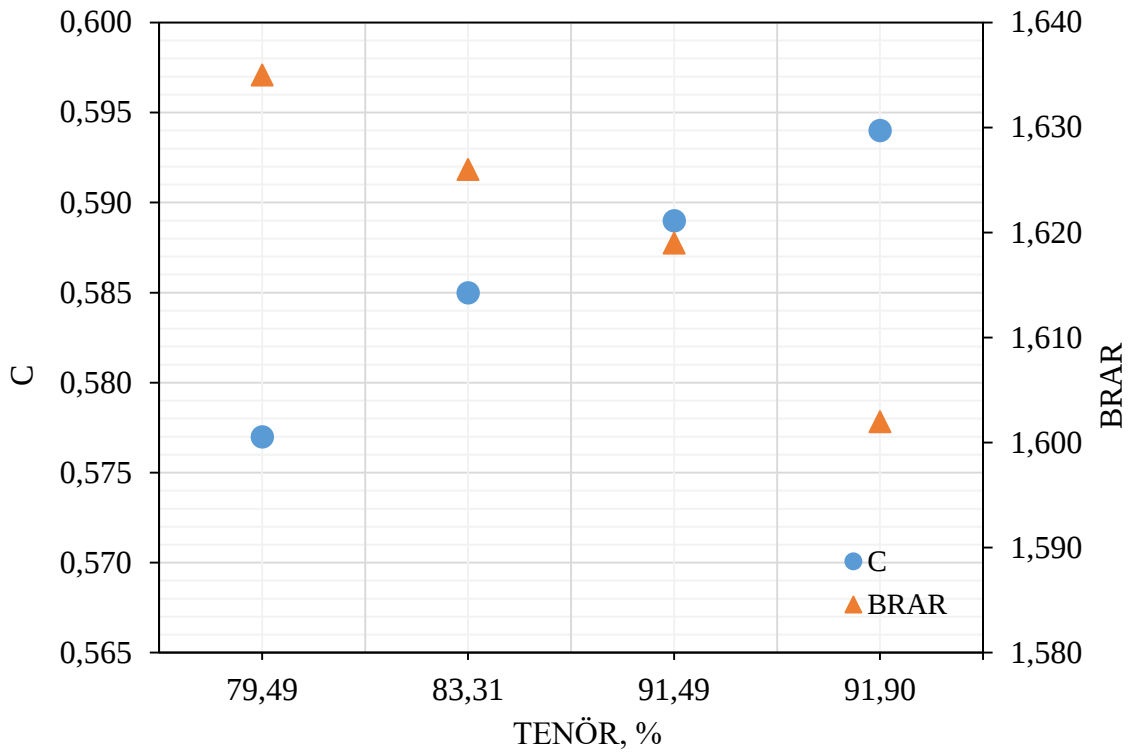


Şekil 4.97. Barit cevherleri için bulunan kritik ıslanma yüzey gerilimi değerlerinin (γ_c) barit tenörü ile değişimi.

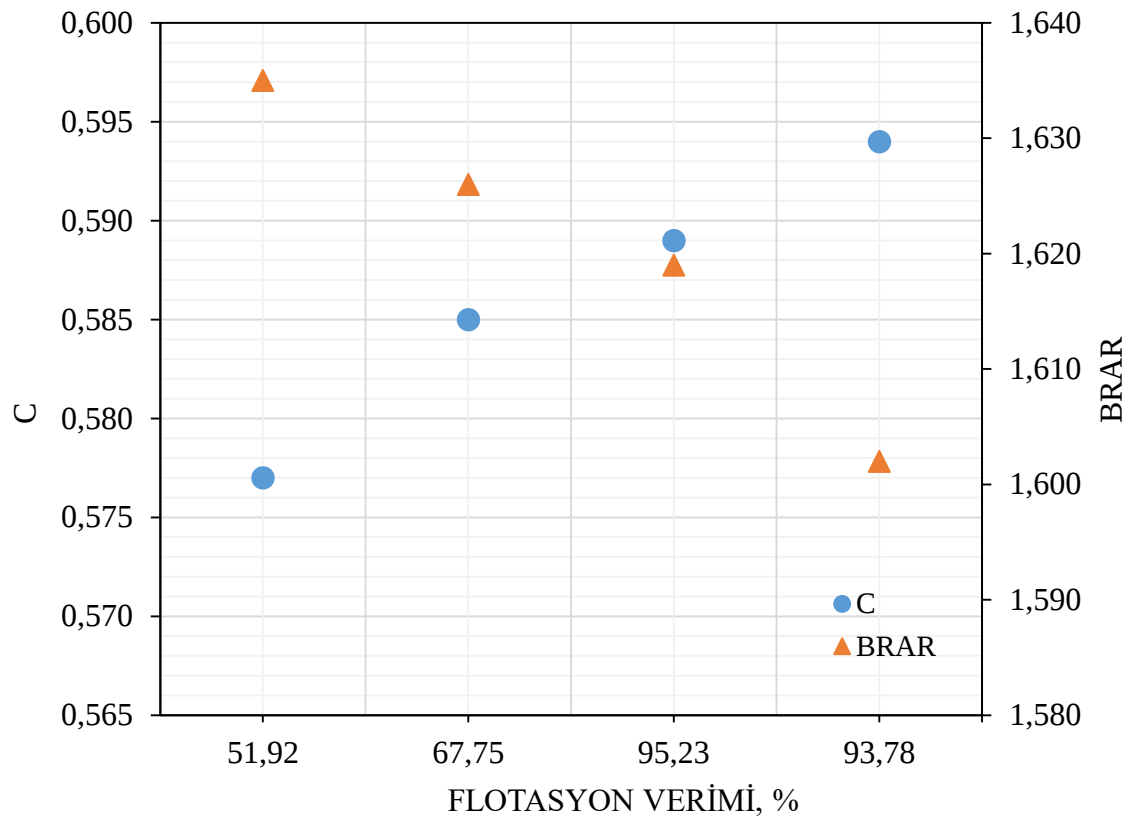
Şekil 4.97'ye göre; flotasyon konsantre tenörleri azaldığında, kritik ıslanma yüzey gerilimi değerlerinin yükseldiği gözlemlenmiştir. Bilindiği gibi kritik ıslanma yüzey gerilimi değerinin artması bir katının daha hidrofilik olduğunu göstermektedir. Hidrofobluk özelliği azaldığında, mineral ile hava kabarcığı arasındaki etkileşim de azalmakta bu da flotasyon testlerinde tenör değerlerinin düşmesine sebep olmaktadır.

4.12.4 Üç boyutlu dinamik görüntüleme cihazı ile elde edilen verilerin verilerin karşılaştırılması

Barit numunelerinin farklı değirmenlerde öğütülmesi ile öğütme mekanizmalarına bağlı olarak, farklı şekillerde kırıldığı bilinmektedir. Bu nedenle bilyalı ve çubuklu değirmenlerde öğütülen farklı içerikteki barit cevher numuneleri flotasyon testlerine tabi tutulmuş, elde edilen konsantre ürünleri üzerinde tenör, verim, ve tane şekil/morfolojik özellik çalışmaları yapılarak olası korelasyonlar araştırılmıştır. Flotasyon testlerinde elde edilen tenör ve verim değerlerine karşın, üç boyutlu görüntüleme cihazından elde edilen dairesellik (C) ve sınırlayıcı dikdörtgen en-boy oranı (BRAR) değerleri arasındaki ilişki Şekil 4.98 ve 4.99'da verilmiştir.



Şekil 4.98. Farklı tenör değerleri için sahip barit cevher numunelerinin dairesellik (C) ve sınırlayıcı dikdörtgen en-boy oranı (BRAR) değerleri.

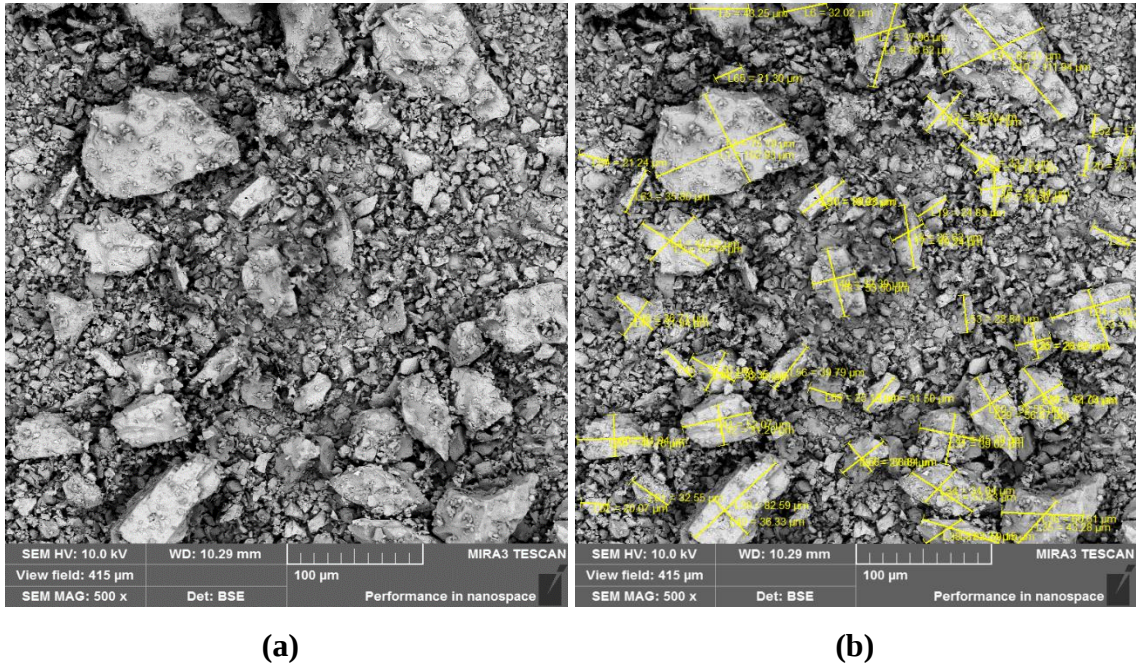


Şekil 4.99. Farklı verim değerleri için sahip barit cevher numunelerinin dairesellik (C) ve sınırlayıcı dikdörtgen en-boy oranı (BRAR) değerleri.

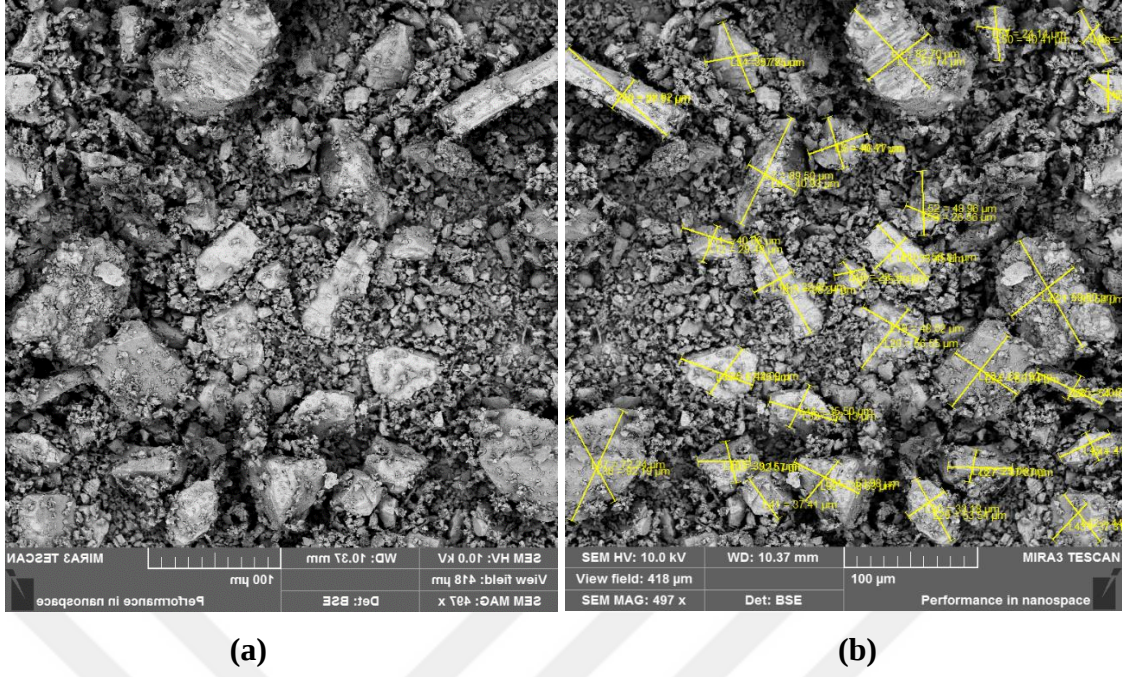
Şekil 4.98’de sunulan tenör değerlerine karşılık dairesellik (C) ve sınırlayıcı dikdörtgen en-boy oranı (BRAR) değerleri incelendiğinde, tenör değerleri arttığında dairesellik (C) değerleri artarken, sınırlayıcı dikdörtgen en-boy oranı (BRAR) değerleri azalmıştır. Benzer bir durum, Şekil 4.99’da görüldüğü gibi flotasyon verimi için de geçerlidir. Flotasyon verimi arttığında, dairesellik (C) değerleri artarken, sınırlayıcı dikdörtgen en-boy oranı (BRAR) değerleri azalmaktadır.

4.12.5 Taramalı elektron mikroskobu verilerinin değerlendirilmesi

Bilyalı değirmende öğütülmüş ve flotasyon ile zenginleştirilmeye tabi tutulmuş barit cevherlerinin taramalı elektron mikroskobunda (SEM) yapılan testlerinde, kırıklı silika, demir oksit tozları ve kırıklı baryum sülfat tozları görülmüştür. Baryum sülfat tozlarının, gevrek klivaj kırılmalarına sahip olduğu ve sınırlayıcı dikdörtgen en boy oranının yüksek olduğu görülmüştür. Bu en boy oranına sahip barit numunelerin de, kırılma şeklinin dikdörtgen yapıda olduğu Şekil 4.100 ve 4.101’de görülmektedir.



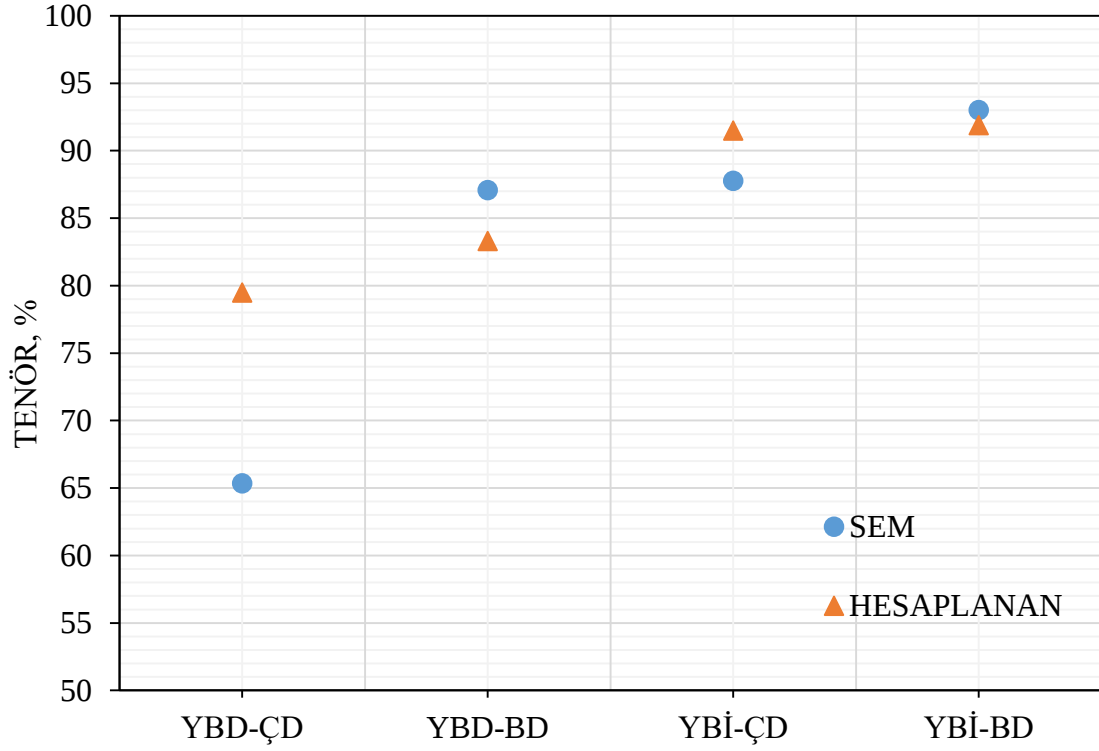
Şekil 4.100. Bilyalı değirmende öğütülmüş YBD (düşük tenörlü barit) numunelerinin flotasyon konsantrelerini gösteren Taramalı Elektron Mikroskobu görüntüleri (a) 500x büyütme (b) 500x büyütmede tane boyutlandırması.



Şekil 4.101. Bilyalı değirmende öğütülmüş YBİ (yüksek tenörlü barit) numunelerinin flotasyon konsantrelerini gösteren Taramalı Elektron Mikroskobu görüntüleri (a) 500x büyütme (b) 500x büyütmede tane boyutlandırması.

Taramalı elektron mikroskobunda incelenen YBD ve YBİ numuneleri daha uzun ve yassı şekillerde görülürken, gang içerikli minerallerinin (silis, demir oksit vd.) dairesellik değerleri daha yüksektir. Şekil 4.100 ve 4.101’den de görüldüğü gibi bilyalı değirmen ürünleri üzerinde yapılan değerlendirmede her iki barit numunesinin de en boy oranları yüksektir. Çubuklu değirmende öğütülmüş ve flotasyon ile zenginleştirilmiş barit numunelerinin Taramalı Elektron Mikroskobundaki (SEM) partiküllere ait görüntüleri ise Şekil 4.102 ve 4.103’te görülmektedir.

(SEM) ile bulunan tenör değerlerinin, piknometre yöntemi ile belirlenip hesaplanmış tenör değerleri arasındaki yakınlık ve eğilim değerleri Şekil 4.104'te verilmiştir.



Şekil 4.104. Piknometre ile yapılan ve hesaplanan tenör değerlerinin, Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) ile belirlenmiş tenör değerleri ile karşılaştırılması.

Şekil 4.104'te görüldüğü gibi, eşitlik [4.1]'deki yaklaşımla (deneysel+ hesap yöntemiyle) bulunan tenör değerleri ile taramalı elektron mikroskobunda (SEM) belirlenen tenör değerlerinin, çalışılan numuneler için, iki farklı tenör belirleme yöntemleriyle bulunanlar açısından uyum içinde oldukları görülmektedir. Böylece piknometre ile yoğunluk analizi yapılması ve yoğunluk değerlerinden yararlanılarak eşitlik yaklaşımıyla bulunan tenör değerlerinin, numunelerin tenör belirleme çalışmalarında, pratik bilgilendirme sağlamaktadır.

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu tez çalışması kapsamında farklı tenör ve içeriklerdeki barit numuneleri için numune hazırlama, boyut küçültme, sarsıntılı masa ile zenginleştirme, manyetik ayırma ile zenginleştirme, flotasyon ile zenginleştirme ve sonrasında ürünlerin şekil ve morfolojik çalışmalar, yapılarak, olası korelasyonlar araştırılmıştır. Buna göre; barit cevherlerinin ince boyutlarda kuru eleme işlemlerinde meydana gelen topaklanma, tıkanma vb. problemler nedeniyle yaş eleme gerekli olmuştur. Eleme kinetiği çalışmaları sonucunda da barit numuneleri için en uygun eleme süresi 10 dakika tespit edilmiştir. Öğütme çalışmalarında bilyalı ve çubuklu değirmenler kullanılmıştır. B1 ve B2 barit numunelerinin flotasyon, taramalı elektron mikroskobu, şekil özelliklerinin belirlenmesi ve temas açısı ölçümü testleri yapılmıştır. Numunelerin -212 µm boyut fraksiyonunu sağlamak için bilyalı değirmenlerde en az 8 dakika öğütülmüştür. B3 ve B4 numunelerinin ise 16 dakika öğütme ile aynı boyut fraksiyonunun elde edildiği saptanmıştır. Çubuklu değirmen ile öğütmede ise B1 ve B2 numuneleri için 3 dakika öğütmek, -212 µm tane boyut fraksiyonu eldesi için yeterli olmuştur. B3 ve B4 numunelerinin ise 6 dakika öğütmeye aynı boyut fraksiyonunu vermiştir. Böylece barit cevherleri için öğütme işlemlerinde istenilen tane boyut fraksiyonlarına daha kısa sürede ulaşmak için çubuklu değirmenlerin daha avantajlı olduğu belirlenmiştir.

Piknometre deneyleriyle bulunan yoğunluk değerlerinin, akredite bir laboratuvar verileri ile çok uyumlu (yakınlık açısından) olduğu görülmüştür. Bu veriler ışığında, yoğunluk-tenör değerleri kullanılarak bir hesaplamalı yaklaşım oluşturulmuş ve $BaSO_4$ (%) = 40,909. $\rho - 84,826$ ifadesi ile belirlenen Eşitlik [4.1] yardımıyla ifade edilmiş ve tenör değerleri belirlenmiştir. Piknometre ve hesaplama bulunan tenör değerlerinin, taramalı elektron mikroskobu ile bulunan tenör değerleri ile de uyumlu olduğu tespit edilmiştir.

Yaş manyetik ayırma ile zenginleştirme testlerinde kullanılan barit cevherinin tenörü % 89,79'dur. 7 ayrı manyetik alan şiddetinde yapılan çalışmalarda barit içeriğindeki Fe_2O_3 'ün (hematit) uzaklaştırıldığı en iyi manyetik alan şiddetinin 15000 Gauss (1.5 Tesla) olduğu belirlenmiştir. Bu manyetik alan şiddetinde çalışılarak tane boyut fraksiyonunun manyetik ayırmadaki etkilerini incelemek amacıyla üç farklı fraksiyonda numuneler hazırlanarak manyetik ayırmayla, zenginleştirme yapılmıştır. Çalışmalarda -106+75 µm boyutlu barit cevherlerinin en yüksek tenör değerlerini verdiği görülmüştür.

Beslenen cevherin BaSO₄ tenörü yaşı manyetik ayırma testleri sonucunda % 93,70 BaSO₄'a kadar yükseltilmiştir.

Sarsıntılı masalar ile yapılan deneyler kapsamında beslenen barit cevherinin tenörü % 70,57'dir. 4 farklı tane boyut fraksiyonunda yapılan testler sonucunda -150+106 µm boyutlu zenginleştirme işlemlerinde en yüksek barit tenörüne ulaşılmıştır. Böylelikle tenör değerleri % 70,57 BaSO₄ değerinden % 90,26 BaSO₄'a yükselmiş yoğunluk değerleri de 3,70 gr/cm³'ten 4.28 gr/cm³'e artmıştır. Sonuç olarak barit standartları göz önünde bulundurulduğunda özellikle sondaj sektörü için istenilen baritin yoğunluk değeri 4.20 gr/cm³'e sarsıntılı masada ulaşılmıştır.

Temas açısı deneyleri için kullanılan sıvıların damla ağırlık deneysel yöntemiyle hesaplanan çözelti yüzey gerilimi değerlerinin literatür değerleriyle çok yakın olduğu görülmüştür.

Bilyalı değirmende öğütülmüş YBD numunelerinin kritik ıslanma yüzey gerilimleri (γ_c), 32 mN/m, Zisman diyagramı eğim değeri m_c 0,074, YBİ numunelerinin kritik ıslanma yüzey gerilimleri, 31 mN/m, Zisman diyagramı eğim değeri m_c 0,0184 olarak saptanmıştır. Çubuklu değirmende öğütülmüş YBD numunelerinin kritik ıslanma yüzey gerilimleri, 32,5 mN/m, Zisman diyagramı eğim değeri m_c 0,0027, YBİ numunelerinin kritik ıslanma yüzey gerilimleri, 31,90 mN/m, Zisman diyagramı eğim değeri m_c 'de 0,0094 olarak saptanmıştır. Bu sonuçlara göre bilyalı ve çubuklu değirmen ürünlerinde, YBD numuneleri, YBİ numunelerine göre daha düşük temas açıları oluşturmuştur. Değirmen tipleri kıyaslanacak olursa, bilyalı değirmen ürünleri (YBD ve YBİ), çubuklu değirmen ürünlerine göre daha düşük kritik ıslanma yüzey gerilimi değeri ve daha yüksek bir Zisman diyagramı eğim (m_c) değeri oluşturmuştur. Böylece, bilyalı değirmenlerde öğütülen, barit numunelerinin flotasyonda daha hidrofobik davranacağını göstermiştir.

Zenginleştirme çalışmaları kapsamında yapılan bir diğer yöntem flotasyondur. Bu yöntem tanelerin yüzey özelliklerinden yararlanan ve flotasyona tabii tutulacak tanelerin şekil ve morfolojilerinin nasıl etki ettiği açısından önemli olması nedeniyle kapsamlı ve farklı farklı yöntemleri kullanan işlem kademeleri izlenmiştir. Bu deneyler kapsamında, tane boyutunun flotasyona etkisi, reaktif dozajları, farklı değirmenlerde öğütülmüş cevherlerin flotasyon davranışı ve flotasyon kinetiği çalışmaları yapılmıştır. -300 µm, -212 µm, -150 µm ve -106 µm tane boyut fraksiyonlarında yapılan çalışmalar da istenilen tenör değerlerine ulaşamamıştır. Çok ince boyutlu (-38 µm) cevherlerin flotasyonu

olumsuz yönde etkilediği öngörülerek, aynı boyut fraksiyonlarından -38 µm boyut fraksiyonu elenip çıkarılarak 4 farklı boyut fraksiyonunda flotasyon testleri yapılmıştır. Dolayısıyla toplam 8 farklı tane boyut fraksiyonu ile yapılan flotasyon testlerinde en iyi sonuçlar -106+38 µm fraksiyon barit numunesinde elde edilmiştir. Tenör değeri, beslenen cevherde % 59,58 BaSO₄'tan % 82,90 BaSO₄'a, yoğunluk değeri 3,72 gr/cm³'den 4,10 gr/cm³'e artmıştır. -150+38 µm boyut fraksiyonu barit numunesinin -106+38 µm boyut fraksiyonu barit numunesi ile çok yakın tenör ve dolayısıyla yoğunluk değerleri verdiği görülmüştür. Bu tane boyut fraksiyonunda tenör % 82,49 iken, yoğunluk 4,09 gr/cm³ olmuştur. -212+38 µm tane boyut fraksiyonun da ise tenör %80,85 iken yoğunluk 4,05 gr/cm³ Öğütme işlemi, enerji yoğun ve maliyetli olduğu için ekonomik kaygılar nedeniyle, çalışmalar -212+38 µm tane boyut aralığı ile devam edilmiş olup, flotasyon için çalışma parametreleri ile ilgili olarak şu sonuçlara ulaşılmıştır;

- pH 8, 9, 10 ve 11 değerlerinden en yüksek tenör değerine pH 10'da ulaşılmıştır. Tenör değeri % 80,8 BaSO₄'a yükselirken, yoğunluk ise 4,05 gr/cm³ olmuştur.
- Bastırıcı olarak kullanılan sodyum silikat (Na₂SiO₃) çözeltilerinden, 0, 250, 500, 750, 1000, 1500 ve 2000 g/t dozajlarda 7 farklı test yapılmıştır. 500 g/t kullanılarak yapılan flotasyon testlerinde en yüksek tenöre ulaşılmıştır. Yani, tenör % 81,70 BaSO₄'a yükselirken, yoğunluk 4,07 gr/cm³ olmuştur. Bastırıcı dozajı 500 g/t alınarak diğer optimizasyon çalışmaları yapılmıştır.
- Toplayıcı olarak, (SDS) kullanılarak 0, 100, 200, 300, 400, 600, 800 g/t kullanılarak deneyler yapılmıştır. 7 farklı dozajın çalışıldığı testlerde, 200 g/t kullanılarak yapılan testlerde tenör değeri % 82,08 BaSO₄ ve yoğunluk 4,08 gr/cm³ olmuştur. Optimum toplayıcı dozajı barit flotasyonu için 200 g/ton alınarak diğer çalışmalarda da kullanılmıştır.
- Köpürtücü olarak, metil izobutil karbinol (MIBC) kullanılarak 0, 50, 100, 150 ve 200 g/t kullanılmış ve en iyi köpürtücü dozajının 150 g/t olduğu tespit edilmiştir. Tenör değeri % 82,08 BaSO₄, ve yoğunluk 4,08 gr/cm³ olmuştur.

Flotasyon kinetiği çalışmaları kapsamında iki farklı içeriğe sahip düşük tenörlü (YBD) baritleri ve yüksek tenörlü (YBİ) baritleri ile yapılan çalışmada, Flotasyon hız sabiti (k) değeri, düşük tenörlü barit (YBD) numunelerinde 0,3197 dk⁻¹ bulunurken yüksek tenörlü

barit (YBİ) numunelerinde $0,4816 \text{ dk}^{-1}$ bulunmuştur. Bunun anlamı, YBİ numunelerinin YBD numunelerine göre, flotasyonu daha hızlı olmuştur.

Farklı değirmenlerde (bilyalı ve çubuklu) öğütülmüş barit cevherlerinin flotasyona etkisinde bilyalı değirmen ürünü barit numuneleri, flotasyon testlerinde daha yüksek tenör değeri vermektedir. $3,63 \text{ gr/cm}^3$ yoğunluk ve % 59,58 BaSO_4 tenör değerine sahip düşük tenörlü barit cevherleri bilyalı değirmen ile öğütülüp flotasyonu yapıldığında yoğunluk $4,11 \text{ gr/cm}^3$ 'e tenör ise % 83,31 BaSO_4 'a artmıştır. Çubuklu değirmen ürünlerinde ise bu değerler $4,02 \text{ gr/cm}^3$ yoğunluğa karşılık % 79,49 BaSO_4 tenör değerinde olmuştur.

Yüksek tenörlü barit cevherlerinde bilyalı değirmen ürünlerinin flotasyon konsantre yoğunluğu $4,32 \text{ gr/cm}^3$ 'e yükseltirken tenör % 91,90 BaSO_4 'a, çubuklu değirmende ise yoğunluk $4,31 \text{ gr/cm}^3$ 'e, tenör % 91,49 BaSO_4 'a yükseltmiştir. Yüksek tenörlü barit cevherlerinde değirmen farklılığına rağmen değerlerin birbirine yakın çıkmasının nedeni, numunenin barit içeriği düşük tenörlü numunelere göre, tüvenan olarak tenörünün yüksek olmasındandır.

Barit cevherlerinin her ikisinin de (YBD ve YBİ), bilyalı değirmen ürünlerinin bulunan kritik ıslanma yüzey gerilimi değerleri (γ_c), çubuklu değirmen ürünlerinden daha düşük olup daha hidrofobiktir. Aynı zamanda Zisman ıslanma diyagramından elde edilen eğim değerleri (m_c), bilyalı değirmen ürünü olan, her iki numune içinde, yüksektir. YBD numunesi için bilyalı değirmen ürünlerinin flotasyon konsantre tenörü % 83,31 BaSO_4 iken, çubuklu değirmen ürünlerinin flotasyon konsantre tenörü % 79,49 BaSO_4 'tır. YBİ numunesinin ise bilyalı değirmen ürünlerinin flotasyon konsantre tenörü % 91,90 BaSO_4 iken, çubuklu değirmen ürünlerin de tenör % 91,49 BaSO_4 olmuştur. Flotasyon verilerine göre, bilyalı değirmen ürünlerinin flotasyon ürün tenörü (ortalama tenör baz alındığında) çubuklu değirmen ürünlerinden bir miktar daha yüksektir. Bilindiği gibi, flotasyonda başarı, minerallerin hidrofobluğuyla doğru orantılıdır. Numunelerin, flotasyonla elde edilen tenör değerleri ile kritik ıslanma yüzey gerilimleri anlamlı bir ilişki vermiştir. Ayrıca her iki numunede de bilyalı değirmen ürünlerinin, yüksek yüzey gerilimli sıvılar tarafından ıslatıldığında verdiği açılar çubuklu değirmen ürünlerine göre daha yüksek olmuştur.

Tüvenan YBD (düşük tenörlü) ve YBİ (yüksek tenörlü) numunelerinin, Micromeritics Particle Insight 3 Boyutlu Görüntü Analiz Cihazı yardımı ile şekil faktörü incelendiğinde

sınırlayıcı dikdörtgen en-boy oranı (BRAR, Bounding Rectangle Aspect Ratio) değerleri, YBD cevherleri için 1,554, YBİ cevherleri için 1,565 bulunmuştur. Bu veriler, YBİ cevherlerinin en boy oranlarının daha yüksek, dairesellik değerlerinin daha düşük olduğunu göstermiştir. Bunun nedeni YBİ cevherlerinin, barit içeriği açısından safa yakın olmasıdır. Çünkü barit tanelerinin, gang minerallerine göre, daha ince-uzun ve/veya yassı şeklinde kırıldığı yani sınırlayıcı dikdörtgen en-boy oranının daha fazla olduğu bilindiğinden, gang içeriği fazla olan YBD cevherlerinden yüksek olması, tenör içeriğinden kaynaklanmaktadır.

Değirmen tiplerine göre kıyaslama yapıldığında ise her iki cevher içinde (YBD ve YBİ), çubuklu değirmen ürünlerinin tüvenan cevher değerlerinden daha yüksek BRAR değeri verdiği görülmektedir. YBD numuneleri için BRAR değeri, bilyalı değirmende 1,626 iken, çubuklu değirmenlerde 1,635 olmuştur. YBİ numunelerinde ise bilyalı değirmen ürünleri için 1,602, çubuklu değirmen ürünleri için 1,619 olmuştur. Bu sonuçlara göre, bilyalı değirmen ürünlerinin, çubuklu değirmen ürünlerine göre daha dairesel partiküller ürettiğini göstermektedir.

Tüvenan YBD ve YBİ cevherlerinin, Micromeritics Particle Insight 3 Boyutlu Görüntü Analiz Cihazı yardımı ile şekil ve morfolojik özellikleri açısından dairesellik (C) değerleri, YBD cevherleri için 0,599, YBİ cevherlerinde 0,598 olmuştur. Barit cevherlerinin tenör değeri arttıkça, dairesellik değerleri azalmaktadır.

Değirmen tiplerine göre kıyaslama yapıldığında ise her iki cevher içinde çubuklu değirmen ürünlerinin tüvenan cevher değerlerinden daha düşük dairesellik değeri verdiği görülmüştür. YBD baritlerinde bilyalı değirmen ürünü flotasyon konsantrelerinin dairesellik değeri 0,585 iken çubuklu değirmen konsantrelerinde bu değer 0,577 olmuştur. Aynı zamanda YBİ numunelerinin bilyalı değirmen ürünü konsantrelerinin dairesellik değeri 0,594, çubuklu değirmenlerde bu değer 0,589'dur. Sonuç olarak, barit cevherleri, flotasyon ile zenginleştirildiğinde ve tenör değeri arttığında değirmen tipi farketmeksizin, dairesellik değerlerinin azaldığı görülmüştür.

Sınırlayıcı dikdörtgen en-boy oranı (BRAR) ve dairesellik (C) değerlerinin artıklardaki değişimleri ise safsızlıkların şekil ve morfolojisi açısından oldukça önemli bilgiler vermektedir. Çünkü üç boyutlu dinamik görüntüleme analizleri ve Taramalı Elektron Mikroskop analizleri sonucunda, artık ürünleri, konsantrelerden ve tüvenandan daha yüksek dairesellik değerleri gösterirken, BRAR değerleri ise çok daha düşük olmuştur.

Öğütme farklılığı açısından değerlendirildiğinde, çubuklu değirmenlerde C değeri bilyalı değirmenlere oranla daha yüksek, BRAR değeri olarak ise daha düşüktür.

Kritik ıslanma yüzey gerilimi (γ_c) değerleri de çubuklu değirmen ürünlerinde bilyalı değirmen ürünlerine göre daha yüksektir. Bu da çubuklu değirmen ürünlerinin daha hidrofilik partiküllere sahip olduğunu ifade etmektedir. Tenör değerleri ile ilişkilendirildiğinde de çubuklu değirmen ürünlerinde bir miktar daha düşük tenörlü konsantreler vermesi de γ_c değerinin flotasyon açısından iyi bir tahmin parametresi olduğu göstermektedir.

Dairesellik (C) değerleri ile sınırlayıcı dikdörtgen en-boy oranı (BRAR) değerlerinin ters orantılı olarak değiştiği düşünüldüğünde, BRAR değeri yüksek olan barit cevherlerinde her iki değirmenler ürünlerinde de, dairesellik değerinin düşük olduğu saptanmıştır.

Taramalı elektron mikroskobu yardımıyla yapılan şekil ve morfoloji sonuçlarına göre, çubuklu değirmende öğütüldükten sonra flotasyona ile zenginleştirilmiş konsantre ürünlerinin sınırlayıcı dikdörtgen en boy oranları yüksek olmaktadır. Öğütme parametreleri göz önüne alındığında, çubuklu değirmenlerin öğütülen malzemeye etki eden çubuksal basıncı bilyalardan daha yüksektir. Bu durum, taramalı elektron mikroskobunda sunulan görüntülerde de görülmüştür.

Taramalı elektron mikroskobuyla alınan kimyasal içerik değerleri ile baryum sülfat için tenör hesapları yapılmıştır. Bu değerler deneysel ve hesaplara bulunan tenör değerlerine yakın sonuçlar vermiştir. Deneysel sapmaların ise taramalı elektron mikroskobundaki görüntülenen küçük yüzey alanından ve/veya hesapta kullanılan eşitlikteki standart sapmalardan kaynaklı olduğu düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- Aldrich, C.**, (2013). Consumption of Steel Grinding Media in Mills – A Review. *Miner Engineering*.49, 77–91.
- Anonim**, 2014. Barite mineral data. <http://webmineral.com/data/Barite>.
- Atak, S.**, (1982). Flotasyon İlkeleri ve Uygulaması, *İTÜ Mühendislik- Mimarlık Fakültesi Yayınları* , Türkiye.
- Arbiter, N., Harris, C.C.**, (1962). Flotation Kinetics, Froth Flotation. 50 Anniversary Volume, A.I.M.E. (Ed. D. W. Fuerstaneu), s. 215-246.)
- Austin, L.G., Bagga, P.** (1981). An Analysis of Fine Dry Grinding in Ball Mills, *Powder Technology*, Volume 28, Issue 1, January–February 1981, 83-90.
- Austin, L.G.**, (1984). Size Reduction of Solids: Crushing and Grinding Equipment, in: M.E. Fayed, L. Otten (Eds.), *Handbook of Powder Science and Technology*, Van Nostrand Reinhold, The Netherlands. pp. 562–606.
- Benzer H., Ersayın S.**, (1997). Çubuklu Değirmen Modellerinin Tesis Simülasyonunda Kullanımı. *Türkiye 15. Madencilik Kongresi*, Türkiye. 298-305.
- Bilgen, S., Hiçyılmaz, C., Atalay, Ü., Akdoğan, G., Ulusoy, U.** (1995). Şekil ve morfolojik özellikler, flotasyona etkisi-Barit örneği,. *Türkiye 14. Madencilik Kongresi*, 393–397.
- Bloom P. A., McKinney W. A., Evans L. G.** (1963). Flotation concentration of a complex barite-fluorspar ore. *United States Department Of The Interior Bureau of Mines*. p 15.
- Botula, J., Kecir, M.** (2015). Optimisation of barite flotation parameters. October.
- Brobst D.A.**, (1989). Barium Minerals. *Industrial Minerals and Rocks*, Vol 1, United States of America, No.5, 485-501.
- Chen, P., Jihua Z., Wei S., Yuehua H., ve Zhigang Y.** (2017). “The activation mechanism of lead ions in the flotation of ilmenite using sodium oleate as a collector”. *Minerals Engineering* 111(May):100–107.
- Chen, X., Gu, G., Liu, D., & Zhu, R.** (2019). The flotation separation of barite-calcite using sodium silicate as depressant in the presence of sodium dodecyl sulfate. *Physicochemical Problems of Mineral Processing*, 55(2), 346–355.
- Ciullo, P.A.**, (1996). Inorganic Compounds Industrial Applications. Peter A Ciullo. *Industrial Minerals and Their Uses: A Handbook and Formulary*. Published in The United States of America by Noyes Publication. New Jersey, 21-2.
- Delice K., Özbayoğlu G.** (1995). Gümüşköy Gümüş Cevherinden Baritin Kazanımı. *Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu*, 21-22 Nisan 1995, İzmir.

- Demirci S., Özel E.** (2015). Türkiye’de Üretilen Barit Cevherinin Baryum İçeren Pigmentlerin Üretiminde Değerlendirilmesi. *Anadolu Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, Uygulamalı Bilimler ve Mühendislik Cilt: 16 Sayı: 3, 327 – 338.
- Deng J., Liu C., Yang S., Li H., Liu Y.** (2019). Flotation separation of barite from calcite using acidified water glass as the depressant. *Colloids Surfaces A Physicochem Eng Asp.*;579.
- Deniz V.** (2004). Başer maden sanayinin ince barit artıklarının flotasyon ile zenginleştirilmesi. 5. *Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu*, 13-14 Mayıs 2004, İzmir.
- Deniz, V., Akkurt, Y., & Umucu, Y.** (2005). A New Model on Breakage Behaviour of a Laboratory Impact Mill. *Proceedings of the 19th International Mining Congress of Turkey*, İzmir., 229–232.
- Deniz, V.** (2012). The effects of ball filling and ball diameter on kinetic breakage parameters of barite powder. *Advanced Powder Technology*, 23(5), 640–646.
- Deniz, V., Guler T.** (2018). “Production of white barite from barite concentrates of shaking tables by bleaching process after magnetic methods”. *Inzynieria Mineralna* 19(1):77–82.
- Drelich J. W., Marmur, A.** (2017). Meaningful contact angles in flotation systems: critical analysis and recommendations, *Surface Innovations* 6, pp. 19-30.
- Drzymala, J.**, (2007). Mineral processing: Foundation of theory and practice of minerallurgy. Wrocław Teknoloji Üniversitesi, Poland, p 507.
- El-Rahiem, F.** (2001). “Beneficiation of Egyptian baritic iron ore by physical processes to obtain a dual concentrate”. 442–448.
- Esen Y., Yilmazer B.** (2010). Investigation Of Some Physical And Mechanical Properties of concrete produced with barite aggregate. *Scientific Research and Essays*, 5(24), 3826- 3833.
- Eskibalci, M.F., Uzun, N., Şahkulubey, I.** (2013). Investigation of performances of wet and dry high-intensity magnetic separators for concentration of Çatalca region quartzite. *Afyon Kocatepe University Journal of Sciences and Engineering*, 13(2), 11–18.
- Fuersteneau, D.W., Diao, J., Williams, M.C.**, (1991). Characterization of the wettability of solid particles by film flotation 1. Experimental investigation, *Colloid of Surfaces*, 60, p. 127-144.
- Garcia- Zuniga, H.**, (1935). Flotation recovery is an exponential function of time. *Bol. Soc. Nac. Min.*, Santiago, Cilt 47, p 83-86.
- Griffiths, J.**, (1984). Barytes: Non-Drilling Applications: *Industrial Minerals*, July, U. K., no. 201, 21-33.

- Grigorova, I., Dzhamyarov, S., Ivan, N.** (2015). Barite Flotation Concentrate from Kremikovtzi “Black” Tailings. *Journal of International Scientific Publications*, ISSN 1314-7269, Volume 9, 561-577, August.
- Gunde, R., Dawas, M., Hartland, S.** (1992). Surface tension of waste water samples measured by the drop volume method, *Environ. Sci. Technol.*, 26(5), 1036–1040.
- Gürpınar G., Sonmez E., Bozkurt V.** (2004). Effect of ultrasonic treatment on flotation of calcite, barite and quartz. *Mineral Processing and Extractive Metallurgy* August, Vol. 113(2) C91.
- Güven, O., Özdemir O., Karaağaçhoğlu İ.E., ve Çelik M.S.** (2015). “Surface morphologies and floatability of sand-blasted quartz particles”. *Minerals Engineering* 70:1–7.
- Hacıfazlıoğlu, H.** (2009). Introduction of Alternative Mills for Fine and Ultra Fine Grinding, *AKÜ Fen Bilimleri Dergisi*. 01, 17–30.
- Harkins, W.D. Brown, F.E.** (1919). The Determination of Surface Tension (Free Surface Energy) and the Weight of Falling Drops: The Surface Tension of Water and Benzene by the Capillary Height Method. *Journal of the American Chemical Society*, 41, 499-525.
- Hıcıymaz, C., Ulusoy, U., Bilgen, S., Yekeler, M.** (2005). Flotation responses to the morphological properties of particles measured with three-dimensional approach. *International Journal of Mineral Processing*, 75(3–4), 229–236.
- Jeswiet, J., Szekeres, A.** (2016). Energy Consumption in Mining Comminution. *Procedia CIRP*, 48, 140–145.
- Katircioğlu Bayel, D., Toraman, Ö.Y., Özkan Ş.G.,** (2018). Baritin Yaş Öğütülmesinde Öğütme Parametrelerinin Etkisi. *Yer Altı Kaynakları Dergisi*. 14, 31–43.
- Kaya, M.,** (1960). Flotasyon El Kitabı. Anadolu Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, 97.
- Kecir M., Kecir A.** (2015). Selective flotation of barite and associated minerals: A comparative study. *Journal of the Polish Mineral Engineering Society, Inzynieria Mineralna*, 2015(2):117–24.
- Kecir, M., ve Kecir A.** 2016. “Efficiency of barite flotation reagents a comparative study”. *Inzynieria Mineralna* 17(2):269–78.
- King, R.P.,** (2001). Modeling and Simulation of Mineral Processing Systems, first ed. Great Britain: Butterworth-Heinemann., 160.
- Kyle J. R.,** (1994). The Barite Industry and Resources of Texas, Some of The Authors of This Publication are Also Working on These Related Projects: University of Texas at Austin.
- Labidi, N.** (2018). Flotation of barium sulfate contaminants soils. *Biodiversity International Journal*, 2(1), 91–93.
- Leja J., Poling G. W.,** (1960). On the interpretation of contact angle, *International Mineral Congress, Inst. Min. Metall.*, pp. 325-341.

- Lando, J.L., Oakley, H.T.** (1967). Tabulated correction factors for the drop-weight-volume determination of surface and interfacial tensions J. Colloid Interface Sci., 25,526-530.
- L.G. Austin, P. B.** (1981). An analysis of fine dry grinding in ball mills. *Powder Technology*, 28(1), 83-90.
- Liddell, K. S.,** (1986). Machines for fine Milling to Improve the Recovery of Gold from Calcines and Pyrite, *Proceeding of the International Conference on Gold, The Soutf African Inst. Extractive Metallurgy of Gold*, 2, 405- 417.
- Maliy, V. M., Bogdanova, I.P.** (1992). High-intensity magnetic separation of limonite iron ores. *Magnetic and Electrical Separation*, 4(1), 47–59.
- MEB, 2012.** Kimya teknolojisi – kırıcı ve öğütücüler. *Türkiye Cumhuriyeti Milli Eğitim Bakanlığı*, Ankara, S 43-6.
- Mgbemere, H. E., E. O. Obidiegwu, and E. Obareki.** (2018). “Beneficiation of azara barite ore using a combination of jigging, froth flotation and leaching.” *Nigerian Journal of Technology* 37(4):957.
- Massone, J.,** (1982). Technology and Uses of Barium and Strontium Compounds: *Industrial Minerals*, No. 177, 65-69.
- Metzger, M. J., Glasser, B. J.** (2013). Simulation of the Breakage of Bonded Agglomerates in a Ball Mill. *Powder Technology*, 237, 286–302.
- Mohal B.J.** (1984). Microflotation studies of hexadecyl sulfate flotation of barite. *University of Nevada* (Master of Science Thesis),101s, Reno.
- Molaei, N., Razavi, H., Chelgani, S. C.** (2018). Experimental modeling for upgrading of brown barite ore by different processing methods. *Modeling Earth Systems and Environment*, 4(1), 89–96.
- Nikolaev A.** (2016). Flotation kinetic model with respect to particle heterogeneity and roughness. *Department of Mineral Processing and Technogenic Raw Materials, National University of Science and Technology “MISiS”*, 119991, 4 Leninsky prospect, Moscow, Russian Federation. 155:74–82.
- Özbaş K. E., Hiçyılmaz C. ve Özbayoğlu G.** (1995). Beylikahır barit ve fluorit minerallerinin zenginleştirilmesi. *Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu*, 21-22 Nisan 1995, İzmir.
- Özbaş K.E., Hiçyılmaz C.** (2014). Effect of ph on the flotation of complex barite and fluorite ore. *Academic Journal of Science*. 3(1), 81–84.
- Özel İhtisas Komisyonu Raporu (ÖİKR).** (2018). Kalkınma Bakanlığı, Madencilik Politikaları, *On Birinci Kalkınma Planı (2019-2023)*, Yayın No: Kb: 3041 - Öik: 822, Ankara.
- Özkan, A.,** (2001). Minerallerin kırılgenlikleri, ıslanma özelliklerinin belirlenmesi ve korelasyonu. *Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Maden Mühendisliği Ana Bilim Dalı* (Doktora Tezi). s.277, Sivas.

- Özkan A., Yekeler M.** (2003). A new microcolumn flotation cell for determining the wettability and floatability of minerals. *Journal of Colloid and Interface Science*, 261 476–480.
- Özkan Ş. G., Kurşun İ., Çinku K., Eskibalci M.F., Duban A.** (2004). Türkiye Beyşehir baritlerinin flotasyonla zenginleştirme olanaklarının araştırılması 5. *Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu*, 13-14 Mayıs 2004, İzmir.
- Padday, J.F.** (1968). The measurement of surface tension. Surface tension part II, *Surface and Colloidal Science*, 1, 101-146, New York.
- Pradip P., Rai B.** (2003). “Molecular modeling and rational design of flotation reagents”. *International Journal of Mineral Processing*. 72(1–4):95–110.
- Qi, L., Ma, J., Cheng, H., Zhao, Z.** (1996). Preparation of BaSO₄ nanoparticles in non-ionic w/o microemulsions. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 108(1), 117–126.
- Quast, K.B., Hicks, P.G.** (1998). Laboratory studies in comminution : Part VI The specific rate of breakage for rod and ball milling of quartz. The AusIMM Proceedings, 1, 1–7.
- Ren Z., Yu F., Gao H., Chen Z., Peng Y., Liu L.** (2017). Selective separation of fluorite, barite and calcite with valonea extract and sodium fluosilicate as depressants. *minerals*, 7(2), 24.
- Sadowski, S. ve Smith, R. W.,** (1988). The spherical agglomeration and flocculation of barite and calcite suspensions. *International Symposium on the Production and Processing of Fine Particles*. Montreal, Quebec; 289-295.
- Saklara, S., Ersayın, S., Bayraktar, İ.,** (1998). Flotasyon modelleri. Madencilik, cilt 37, sayı- no 2.
- Shafrin, E.G., Zisman, W.A.** (1960). Constitutive Relations in the Wetting of Low Energy Surface and the Theory of the Recraction Method of Preparing Monolayers, *Journal of Phy. Chem.*, 64, 519-524.
- Sibbing, E.** (1975). Barytes: Raw Material For Fillers and Chemicals, İn Fleming, R. F. S., Ed., Proceedings, *First Industrial Minerals International Congress*: London, Metal Bulletin Ltd., 150-158.
- Taggart A., Taylor T., Ince C.** (1930). Experiments with flotation reagents, Trans. Am. Inst. Min. And Met. Eng. Tech. Pub., 285-368, 1930.
- Tate, T.** (1864). On the magnitude of a drop of liquid formed under different circumstances, London, Edinburg, and Duplin Philosophical Magazine and Journal of Science, 4th. series 27, 176-185.
- Teke, E., Yekeler, M., Ulusoy, U., Canbazoglu, M.** (2002). Kinetics of dry grinding of industrial minerals: Calcite and barite. *International Journal of Mineral Processing*, 67(1–4), 29–42.
- Toklu, H.Ö., Çilek E.C.** (2010). Kuyucak yöresine ait barit cevherinin flotasyonla zenginleştirilmesi. *Madencilik cilt no: 49(3)*, 23–29.

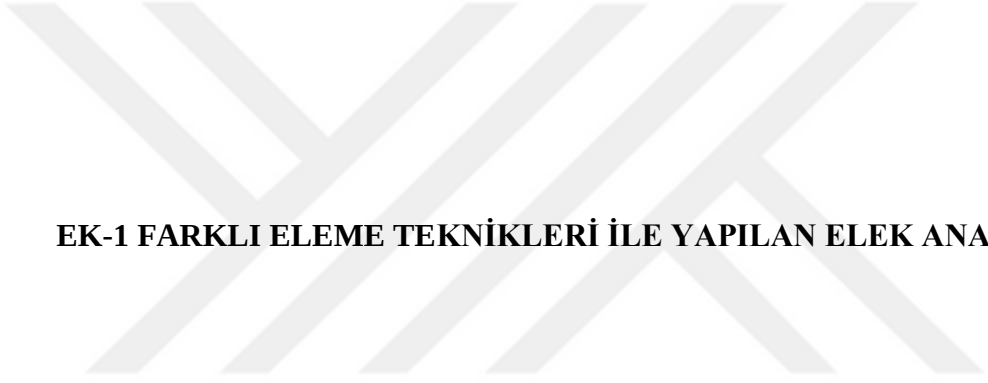
- Ulusoy, U., Hiçyılmaz C., ve Yekeler M.** (2004). “Role of shape properties of calcite and barite particles on apparent hydrophobicity”. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification* 43(8):1047–53.
- Ulusoy, U., Kursun İ.** (2011). “Comparison of different 2D image analysis measurement techniques for the shape of talc particles produced by different media milling”. *Minerals Engineering* 24(2):91–97.
- Ulusoy, U., ve Yekeler M.** (2004). “Variation of critical surface tension for wetting of minerals with roughness determined by Surtronic 3+ instrument”. *International Journal of Mineral Processing* 74(1–4):61–69.
- Ulusoy, U., Yekeler, M.** (2005). Correlation of the surface roughness of some industrial minerals with their wettability parameters. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, 44(5), 555–563.
- Ulusoy, U., ve Yekeler M.** (2007). “Floatability of barite particles with different shape and roughness”. *Indian Journal of Chemical Technology*, 14(6):616–25.
- U.S. Geological Survey.** (2020). Mineral commodity summaries 2020. *U.S Department of The Interior, U.S Geological Survey*, Sayı 703.
- Verrelli, D., Bruckard W.I., J., Koh P.T.L., Schwarz M.P., Follink B.** (2014). “Particle shape effects in flotation. Part 1: Microscale experimental observations”. *Minerals Engineering*, 58:80–89.
- Weast, R.C.** (1987). Handbook of Chemistry and Physics. 68th edition, CRS Press, New York.
- Wilkinson, M. C.** (1972). Extended use of and comments on the drop-weight (drop-volume) technique for the determination of surface and interfacial tensions, *J. Colloid Interface Sci.*, 40(1), 14–26.
- Wilkinson, M. C. Kidwell, R. L.** (1971). A mathematical description of the Harkins and Brown correction curve for the determination of surface and interfacial tensions, *J. Colloid Interface Sci.*, 35(1), 114–119.
- Yekeler, M.** (1995). Bilyalı Değirmenle Kuvarsın Yaş Öğütülme Kinetiği, *Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu*, İzmir, 179-184.
- Yekeler, M., ve Özkan A.** (2003). “Correlation of the breakage parameters with the critical surface tension for wetting of barite”. *Powder Technology*, 134(1–2):108–16.
- Yekeler, M., Özkan, A., Teke E.** (1997). Barit Mineralinin İnce Öğütülmesinin Kinetiği. 2. *Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu*, 16-17 Ekim 1997 İzmir, Türkiye, 16–17.
- Yekeler, M., Sönmez İ.** (1997). “Effect of the hydrophobic fraction and particle size in the collectorless column flotation kinetics”. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 121(1):9–13.
- Yıldız, N.** (2010). Cevher hazırlama ve zenginleştirme. ISBN: 978-975-96779-2-3. 2.Baskı. s.150, Ertem Basım Yayım, Ankara.

- Young, T.** (1805). An essay on the cohesion of fluids, *Philosophical Transactions of the Royal Society*, 95, 65-87, London.
- Yuan, X. M., Palsson, B. I., Forssberg, K. S. E., (1996).** Statistical interpretation of flotation kinetics for a complex sulphide ore, *Minerals Engineering*, 9, 4, 429-442.
- Sadowski, R.W.Smith (1985).** Stability of mineral suspensions in the absence and presence of collectors, dispersant and flocculants, *Minerals & Metallurgical Processing*, 2(4), 217-222.
- Zisman, W.A.** (1964). Relation of equilibrium contact angle to liquid and solid constitution, in contact angle, wettability, and adhesion, Ed. R.F. Gould, *Advanced in Chemistry Series No:43*, Amer. Chem. Soc., 1-51.





EKLER



EK-1 FARKLI ELEME TEKNİKLERİ İLE YAPILAN ELEK ANALİZLERİ

Çizelge Ek-1.1. B1 numunesinin bilyalı değirmende 8 dakika öğütülmesi sonucu 10 dakika kuru elenmesiyle elde edilen elek analizi

Elek Aralığı (μm)	Miktar (%)	Kümülatif Elek Üstü (%)	Kümülatif Elek Altı (%)
+600	0,00	0,00	100,00
-600+425	1,44	1,44	98,56
-425+300	0,60	2,04	97,96
-300+212	0,97	3,0	97,00
-212+150	4,39	7,39	92,61
-150+106	9,74	1,13	82,87
-106+75	17,15	34,28	65,72
-75+53	43,07	77,35	22,65
-53+38	21,69	99,03	0,97
-38	0,97	100,00	0,00
TOPLAM	100,00		

Çizelge Ek-1.2. B1 numunesinin bilyalı değirmende 8 dakika öğütülmesi sonucu 10 dakika yaş elenmesiyle elde edilen elek analizi

Elek Aralığı (μm)	Miktar (%)	Kümülatif Elek Üstü (%)	Kümülatif Elek Altı (%)
+600	0,00	0,00	100,00
-600+425	0,04	0,04	99,96
-425+300	0,09	0,13	99,87
-300+212	0,55	0,68	99,32
-212+150	3,36	4,04	95,96
-150+106	7,32	11,37	88,63
-106+75	11,79	23,15	76,85
-75+53	13,01	36,16	63,84
-53+38	12,32	48,48	51,52
-38	51,52	100,00	0,00
TOPLAM	100,00		

Çizelge Ek-1.3. B1 numunesinin bilyalı değirmende 8 dakika öğütülmesi sonucu 10 dakika kuru elenmesiyle elde edilen elek analizi (disk+top kullanılmıştır)

Elek Aralığı (μm)	Miktar (%)	Kümülatif Elek Üstü (%)	Kümülatif Elek Altı (%)
+600	0,08	0,08	99,92
-600+425	0,89	0,96	99,04
-425+300	0,45	1,42	98,58
-300+212	0,70	2,12	97,88
-212+150	3,92	6,04	93,96
-150+106	7,22	13,26	86,74
-106+75	7,13	20,39	79,61
-75+53	11,99	32,38	67,62
-53+38	13,21	45,59	54,41
-38	54,41	100,00	00,00
TOPLAM	100,00		

Çizelge Ek-1.4. B1 numunesinin bilyalı değirmende 8 dakika öğütülmesi sonucu 10 dakika yaş elenmesiyle elde edilen elek analizi (disk+top kullanılmıştır)

Elek Aralığı (μm)	Miktar (%)	Kümülatif Elek Üstü (%)	Kümülatif Elek Altı (%)
+600	0,00	0,00	100,00
-600+425	0,10	0,10	99,90
-425+300	0,03	0,13	99,87
-300+212	0,05	0,18	99,82
-212+150	0,12	0,30	99,70
-150+106	3,18	3,48	96,52
-106+75	10,60	14,08	85,92
-75+53	11,77	25,85	74,15
-53+38	12,11	37,96	62,04
-38	62,04	100,00	00,00
TOPLAM	100,00		

**EK-2 FARKLI FREKANS/SALINIM DEĞERLERİNDE YAPILAN ELEME
KİNETİĞİ ÇALIŞMALARI**

Çizelge Ek-2.1. Barit numunesinin 400 rpm frekansta eleme kinetiği sonuçları

400 RPM								
Tane boyutu	Süre							
	5 dakika		10 dakika		15 dakika		20 dakika	
(μm)	M(gr)	M(%)	M(gr)	M(%)	M(gr)	M(%)	M(gr)	M(%)
+150	9,6	95,33	6,14	61,15	6,02	59,96	5,93	59,24
-150	0,47	4,67	3,90	38,85	4,02	40,04	4,08	40,76
Toplam	10,07	100,00	10,04	100,00	10,04	100,00	10,01	100,00

Çizelge Ek-2.2. Barit numunesinin 1000 rpm frekansta eleme kinetiği sonuçları

1000 RPM								
Tane boyutu	Süre							
	5 dakika		10 dakika		15 dakika		20 dakika	
(μm)	M(gr)	M(%)	M(gr)	M(%)	M(gr)	M(%)	M(gr)	M(%)
+150	0,96	9,58	0,91	9,08	0,90	8,98	0,87	8,88
-150	9,06	90,42	9,11	90,92	9,12	91,02	9,15	91,32
Toplam	10,02	100,00	10,02	100,00	10,02	100,00	10,02	100,00

EK-3 ÇALIŞILAN BARİT NUMUNELERİNİN KİMYASAL ANALİZLERİ

Çizelge Ek-3.1. Çalışmalarda kullanılan barit numunelerinin kimyasal analizleri

Mineral Adı	BaSO ₄	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	SrSO ₄	CaO	MgO	Zn	Ni	Cu	Pb	Hg	LOI	Sp. Gr. g/cm ³
B1	95,52	0,021	0,35										4,37
B2	79,82	5,12	6,41										3,98
B3	59,72	34,91	1,23										3,57
B4	58,36	36,81	0,93										3,54
YB1	94,06	0,002	0,98	3,12	0,001	1,05	0,016	<0,0006	<0,0005	0,037	<0,0001	0,55	4,37
YB2	89,79	0,11	3,76	3,33	0,08	1,07	0,096	0,0021	0,0058	0,088	<0,0001	1,12	4,34
YB3	78,88	14,90	1,70	2,81	0,01	0,64	0,0029	<0,0005	0,016	0,012	<0,0001	0,75	3,99
YB4	70,57	23,41	0,98	2,30	0,03	0,81	0,26	0,0017	0,018	0,29	<0,0001	0,95	3,70
YBD	59,58												
YBİ	87,71												

**EK-4 BİLYALI VE ÇUBUKLU DEĞİRMENLERDE ÖĞÜTÜLEN BARİT
CEVHERLERİNİN (NUMUNELERİNİN) PARTİKÜL BOYUT
DAĞILIMLARI**

Çizelge Ek-4.1. Bilyalı değirmende kuru öğütülen B1 numunesinin partikül boyut dağılımları

Elek Aralığı (µm)	Kümülatif Elek Altı (%)						
	Öğütme Süresi (dk)						
	0	1	2	4	8	16	32
+600	13,87	35,26	48,16	68,27	81,64	92,55	99,38
-600+425	13,67	34,18	47,34	68,16	81,52	92,53	99,31
-425+300	13,48	33,54	45,83	68,03	81,42	92,53	99,28
-300+212	13,10	32,26	43,81	66,64	81,31	92,53	99,22
-212+150	12,62	31,47	42,36	65,33	80,92	92,53	99,16
-150+106	12,21	30,59	40,10	62,81	78,81	92,31	99,11
-106+75	11,18	27,10	35,73	56,02	72,39	89,61	99,01
-75+53	9,73	23,39	30,54	48,59	63,47	82,56	96,97
-53+38	8,41	20,01	25,68	41,64	53,85	74,25	92,56

Çizelge Ek-4.2. Çubuklu değirmende kuru öğütülen B1 numunesinin partikül boyut dağılımları

Elek Aralığı (µm)	Kümülatif Elek Altı (%)					
	Öğütme Süresi (dk)					
	0	1	2	3	4	7
+600	13,87	54,83	97,02	99,54	99,63	100,00
-600+425	13,67	51,61	90,73	99,51	99,60	99,88
-425+300	13,48	51,15	83,59	99,29	99,56	99,83
-300+212	13,10	48,87	77,41	94,33	99,44	99,75
-212+150	12,62	47,24	73,87	89,56	98,25	99,73
-150+106	12,21	45,62	69,57	83,68	93,38	99,38
-106+75	11,18	40,14	60,44	72,01	81,01	93,89
-75+53	9,73	34,34	51,68	61,30	68,82	82,24
-53+38	8,41	29,13	42,65	50,49	57,67	71,66

Çizelge Ek-4.3. Bilyalı değirmende kuru öğütülen B2 numunesinin partikül boyut dağılımları

Elek Aralığı (µm)	Kümülatif Elek Altı (%)						
	Öğütme Süresi (dk)						
	0	1	2	4	8	16	32
+600	25,13	41,97	54,93	79,54	86,54	94,86	98,98
-600+425	24,50	40,69	54,18	79,26	86,43	94,86	98,98
-425+300	23,61	38,98	52,50	78,71	86,38	94,86	98,95
-300+212	22,49	37,02	50,23	76,97	86,02	94,86	98,92
-212+150	21,50	35,51	48,28	75,13	84,93	94,85	98,88
-150+106	20,76	34,05	44,40	72,28	82,31	94,51	98,85
-106+75	18,40	30,24	39,27	63,60	74,43	91,50	98,51
-75+53	16,17	25,84	33,62	54,52	64,46	83,93	96,08
-53+38	13,98	21,81	28,21	46,02	54,42	74,99	90,63

Çizelge Ek-4.4. Çubuklu değirmende kuru öğütülen B2 numunesinin partikül boyut dağılımları

Elek Aralığı (µm)	Kümülatif Elek Altı (%)					
	Öğütme Süresi (dk)					
	0	1	2	3	4	7
+600	25,13	61,16	91,83	99,71	99,89	100,00
-600+425	24,50	57,44	86,83	99,44	99,82	100,00
-425+300	23,61	53,70	80,61	96,05	99,72	99,95
-300+212	22,49	50,19	74,40	87,96	97,33	99,91
-212+150	21,50	47,54	70,25	82,15	90,69	99,85
-150+106	20,76	44,90	65,92	76,70	83,78	97,30
-106+75	18,40	39,75	57,39	66,79	72,54	88,06
-75+53	16,17	33,81	48,52	56,32	61,07	75,20
-53+38	13,98	28,42	39,88	46,52	50,12	64,40

Çizelge Ek-4.5. Bilyalı değirmende kuru öğütülen B3 numunesinin partikül boyut dağılımları

Elek Aralığı (µm)	Kümülatif Elek Altı (%)						
	Öğütme Süresi (dk)						
	0	1	2	4	8	16	32
+600	19,68	33,07	42,66	58,20	68,72	80,18	93,60
-600+425	19,16	32,02	41,14	57,52	68,51	80,13	93,60
-425+300	18,43	30,38	39,58	55,60	68,03	80,04	93,60
-300+212	17,53	28,49	37,06	52,82	66,96	79,93	93,60
-212+150	17,11	27,59	36,06	50,97	64,87	79,72	93,54
-150+106	16,76	26,56	34,34	46,80	61,42	78,66	93,52
-106+75	15,84	23,53	30,24	42,90	55,81	75,55	92,97
-75+53	13,21	20,85	27,64	38,77	49,54	69,80	90,64
-53+38	12,03	18,72	24,66	34,08	44,19	62,73	86,00

Çizelge Ek-4.6. Çubuklu değirmende kuru öğütülen B3 numunesinin partikül boyut dağılımları

Elek Aralığı (µm)	Kümülatif Elek Altı (%)					
	Öğütme Süresi (dk)					
	0	1	2	3	4	7
+600	19,68	37,55	57,16	74,47	88,76	99,96
-600+425	19,16	35,84	53,76	65,32	82,83	99,93
-425+300	18,43	32,87	48,67	61,00	74,46	99,13
-300+212	17,53	30,59	44,57	55,73	67,74	93,29
-212+150	17,11	29,42	42,41	52,17	63,82	85,81
-150+106	16,76	28,03	39,97	49,42	59,90	76,69
-106+75	15,84	24,37	35,04	42,81	51,41	68,65
-75+53	13,21	21,99	31,10	37,93	46,21	61,16
-53+38	12,03	19,53	27,40	33,11	39,79	53,90

Çizelge Ek-4.7. Bilyalı değirmende kuru öğütülen B4 numunesinin partikül boyut dağılımları

Elek Aralığı (µm)	Kümülatif Elek Altı (%)						
	Öğütme Süresi (dk)						
	0	1	2	4	8	16	32
+600	18,57	33,61	41,37	54,70	67,57	82,35	88,20
-600+425	17,91	32,50	40,54	54,16	67,36	82,31	88,16
-425+300	17,18	30,80	39,07	52,78	67,13	82,26	88,13
-300+212	16,36	29,65	36,98	50,77	66,93	82,19	88,10
-212+150	16,00	27,35	35,17	47,86	65,06	82,06	88,03
-150+106	15,84	25,89	32,97	45,13	62,33	81,38	87,99
-106+75	14,43	23,17	29,58	40,65	56,99	77,88	87,40
-75+53	14,39	20,18	25,92	35,63	50,22	71,62	85,03
-53+38	11,54	17,83	22,74	31,32	44,43	64,54	79,58

Çizelge Ek-4.8. Çubuklu değirmende kuru öğütülen B4 numunesinin partikül boyut dağılımları

Elek Aralığı (µm)	Kümülatif Elek Altı (%)					
	Öğütme Süresi (dk)					
	0	1	2	3	4	7
+600	18,57	39,82	54,85	71,53	84,96	99,05
-600+425	17,91	38,50	52,31	68,26	80,64	99,01
-425+300	17,18	35,55	47,96	61,68	73,30	97,94
-300+212	16,36	33,28	44,13	55,86	67,15	90,89
-212+150	16,00	32,06	42,25	53,40	63,51	84,64
-150+106	15,84	31,22	40,44	50,69	59,89	79,48
-106+75	14,43	27,46	35,50	44,22	52,14	70,44
-75+53	14,39	24,78	31,74	39,19	46,31	64,31
-53+38	11,54	22,36	27,90	34,22	40,51	55,89

**EK-5 BARİT NUMUNELERİNİN FARKLI ALAN ŞİDDETLERİNDE YAŞ
MANYETİK AYIRMADA ELDE EDİLEN YOĞUNLUK VE TENÖR
DEĞERLERİ**

Çizelge Ek-5.1. Yüksek alan şiddetli yaş manyetik ayırma ile zenginleştirmede farklı manyetik alan şiddetindeki yoğunluk ve tenör değerleri

Manyetik alan şiddeti (Amper)	Manyetik alan şiddeti (Gauss)	Konsantre yoğunluğu (gr/cm ³)	Artık yoğunluğu (gr/cm ³)	Konsantre tenörü BaSO ₄ (%)
14	17000	4,10	4,30	83
12	16200	4,42	4,26	96
10	15500	4,44	4,28	97
8	13000	4,37	4,32	94
7	11000	4,34	4,20	93
5	7500	4,26	4,29	89
2,5	3600	4,16	4,28	85

**EK-6 TEMAS AÇICI ÖLÇÜMLERİNDE KULLANILAN METANOL-SU
KARIŞIMI ÇÖZELTİLERİN DAMLA AĞIRLIK YÖNTEMİYLE
BELİRLENEN YÜZEY GERİLİMLERİ**

Çizelge Ek-6.1. Temas açıcı ölçümlerinde kullanılan metanol-su karışımı çözeltilerinin damla ağırlık yöntemiyle belirlenen yüzey gerilimi değerleri

Suda Metanol Miktarı (V/V), %	Toplam Damla Ağırlığı, (Σm)	Bir Damlanın Ağırlığı, (m)	Damlanın Hacmi, (V)	$r/v^{1/3}$, (r:büret yarıçapı)	Eşitlikteki Düzeltilme Faktörü, (F)	Bu Çalışmada Bulunan Değer, (mN/m)
0	2,82	0,0564	0,057	0,486	0,2442	72,18
20	1,90	0,3800	0,040	0,547	0,2507	50,19
25	1,79	0,0358	0,038	0,556	0,2516	47,20
40	1,52	0,0304	0,033	0,583	0,2540	40,47
45	1,45	0,0290	0,032	0,589	0,2545	38,68
50	1,37	0,0274	0,031	0,597	0,2552	36,64
55	1,29	0,0258	0,029	0,607	0,2560	34,61
60	1,27	0,0254	0,027	0,623	0,2572	34,23
70	1,19	0,0238	0,025	0,600	0,2584	32,23
80	1,06	0,0212	0,019	0,701	0,2618	29,09
100	0,82	0,0164	0,021	0,678	0,2607	22,40

Çizelge Ek-6.2. Damla ağırlık yöntemiyle yüzey gerilimleri belirlenen sıvı çözeltilerinin literatür değerleriyle karşılaştırılması

SUDA METANOL MİKTARI(V/V), %	LİTERATÜR DEĞERİ*	BU ÇALIŞMADA BULUNAN DEĞER
0	71,50	72,18
7,5	60,90	-
10,2	56,70	-
20	47,85	50,19
25	46,38	47,20
31,1	41,55	-
40	-	40,47
41,6	38,15	-
45	-	38,68
50	-	36,64
52,2	35,15	-
55		34,61
60	32,95	34,23
62,6	31,95	-
70	-	32,23
72,8	29,85	-
80	27,60	29,09
82,5	27,80	-
90	25,36	-
91,6	25,60	-
100	22,65	22,40

*(Weast, 1987)

**EK-7 BARİT NUMUNELERİNİN KRİTİK ISLANMA YÜZEY GERİLİMİ
DEĞERLERİNİN TEMAS AÇISI ÖLÇÜM YÖNTEMİYLE
BELİRLENMESİ**

Çizelge Ek-7.1. Bilyalı değirmen ürünü YBD numunesinin, -212+38 µm fraksiyonunun peletlerinin SDS ile yüzey adsorpsiyonu yapılması sonucu farklı çözelti karışımlarındaki kritik ıslanma yüzey gerilimi değerlerinin temas açısı ölçüm yöntemiyle belirlenmesi

Metanol (%w/w)	$\gamma_{SH, mN/M}$	$\theta(\text{ilerleyen})$	$\theta(\text{gerileyen})$	$\theta(\text{Ort.})$	$\cos \theta$
0(dist. su)	71,50	50,00	47,00	48,50	0,66
20	47,85	29,00	27,00	28,00	0,88
40	38,15	18,00	16,00	17,00	0,96
50	35,15	15,00	14,00	14,50	0,97
60	32,95	13,00	10,00	11,50	0,98
70	29,80	7,00	3,00	5,00	1,00
80	27,60	0,00	0,00	0,00	1,00
100	22,65	0,00	0,00	0,00	1,00

Çizelge Ek-7.2. Bilyalı değirmen ürünü YBİ numunesinin, -212+38 µm fraksiyonunun peletlerinin SDS ile yüzey adsorpsiyonu yapılması sonucu farklı çözelti karışımlarındaki kritik ıslanma yüzey gerilimi değerlerinin temas açısı ölçüm yöntemiyle belirlenmesi

Metanol (%w/w)	$\gamma_{SH, mN/M}$	$\theta(\text{ilerleyen})$	$\theta(\text{gerileyen})$	$\theta(\text{Ort.})$	$\cos \theta$
0(dist. su)	71,50	82,00	80,00	81,00	0,16
20	47,85	47,00	47,00	47,00	0,68
40	38,15	29,00	28,00	28,50	0,88
50	35,15	26,00	24,00	25,00	0,91
60	32,95	15,00	12,00	13,50	0,97
70	29,80	2,00	0,00	1,00	1,00
80	27,60	0,00	0,00	0,00	1,00
100	22,65	0,00	0,00	0,00	1,00

Çizelge Ek-7.3. Çubuklu değirmen ürünü YBD numunesinin, -212+38 µm fraksiyonunun peletlerinin SDS ile yüzey adsorpsiyonu yapılması sonucu farklı çözelti karışımlarındaki kritik ıslanma yüzey gerilimi değerlerinin temas açısı ölçüm yöntemiyle belirlenmesi

Metanol (%w/w)	$\gamma_{SH, mN/M}$	$\theta(\text{ilerleyen})$	$\theta(\text{gerileyen})$	$\theta(\text{Ort.})$	$\cos \theta$
0(dist. su)	71,50	29,00	27,00	28,00	0,88
20	47,85	21,00	20,00	20,50	0,94
40	38,15	18,00	14,00	16,00	0,96
50	35,15	10,00	8,00	9,00	0,99
60	32,95	7,00	5,00	6,00	0,99
70	29,80	1,00	0,00	0,50	1,00
80	27,60	0,00	0,00	0,00	1,00
100	22,65	0,00	0,00	0,00	1,00

Çizelge Ek-7.4. Çubuklu değirmen ürünü YBİ numunesinin, -212+38 µm fraksiyonunun peletlerinin SDS ile yüzey adsorpsiyonu yapılması sonucu farklı çözelti karışımlarındaki kritik ıslanma yüzey gerilimi değerlerinin temas açısı ölçüm yöntemiyle belirlenmesi

Metanol (%w/w)	$\gamma_{SH, mN/M}$	$\theta(\text{ilerleyen})$	$\theta(\text{gerileyen})$	$\theta(\text{Ort.})$	$\cos \theta$
0 (dist. su)	71,50	56,00	52,00	54,00	0,59
20	47,85	39,00	35,00	37,00	0,80
40	38,15	18,00	16,00	17,00	0,96
50	35,15	10,00	8,00	9,00	0,99
60	32,95	8,00	4,00	6,00	0,99
70	29,80	2,00	0,00	1,00	1,00
80	27,60	0,00	0,00	0,00	1,00
100	22,65	0,00	0,00	0,00	1,00

**EK-8 TARAMALI ELEKTRON MİKROSKOBU (SEM) İLE YAPILAN
KİMYASAL İÇERİK TAYİNİ**

Çizelge Ek-8.1. Tüvenan YBD numunesine ait taramalı elektron mikroskobu kimyasal içerik analizi

Spektrum	O	Al	Si	S	K	Fe	Ba	Total
Spektrum 1	41.06	2.54	28.52	4.90	0.78	1.81	20.38	100.00
Spektrum 2	40.01	2.58	26.46	6.36	0.65	1.94	21.99	100.00
Spektrum 3	41.09	3.76	28.63	4.78	0.89	1.25	19.60	100.00
Ortalama	40.72	2.96	27.87	5.35	0.77	1.67	20.66	100.00
Std. Sapma	0.61	0.69	1.22	0.88	0.12	0.37	1.22	
Maks. Değer	41.09	3.76	28.63	6.36	0.89	1.94	21.99	
Min. Değer	40.01	2.54	26.46	4.78	0.65	1.25	19.60	

Çizelge Ek-8.2. Bilyalı değirmende öğütülerek flotasyonu yapılan YBD numunesinin 1.konsantre ürünlerine ait taramalı elektron mikroskobu kimyasal içerik analizi

Spektrum	O	Al	Si	S	Ba	Total
Spektrum 1	25.05	2.88	9.17	10.21	52.68	100.00
Spektrum 2	24.81	3.07	8.91	10.21	53.00	100.00
Spektrum 3	24.93	3.00	8.74	9.55	53.77	100.00
Ortalama	24.93	2.98	8.94	9.99	53.15	100.00
Std. Sapma	0.12	0.09	0.22	0.38	0.56	
Maks. Değer	25.05	3.07	9.17	10.21	53.77	
Min. Değer	24.81	2.88	8.74	9.55	52.68	

Çizelge Ek-8.3. Bilyalı değirmende öğütülerek flotasyonu yapılan YBD numunesinin 2.konsantre ürünlerine ait taramalı elektron mikroskobu kimyasal içerik analizi

Spektrum	O	Al	Si	S	K	Fe	Ba	Total
Spektrum 1	27.61	2.47	8.76	10.07	0.71	0.91	49.47	100.00
Spektrum 2	26.80	2.53	8.41	9.98	0.65	1.08	50.56	100.00
Spektrum 3	26.30	2.72	8.56	9.81	0.93	0.84	50.84	100.00
Ortalama	26.90	2.57	8.58	9.95	0.76	0.94	50.29	100.00
Std. Sapma	0.66	0.13	0.18	0.13	0.15	0.12	0.73	
Maks. Değer	27.61	2.72	8.76	10.07	0.93	1.08	50.84	
Min. Değer	26.30	2.47	8.41	9.81	0.65	0.84	49.47	

Çizelge Ek-8.4. Bilyalı değirmende öğütülerek flotasyonu yapılan YBD numunesinin 3.konsantre ürünlerine ait taramalı elektron mikroskobu kimyasal içerik analizi

Spektrum	O	Al	Si	S	K	Fe	Ba	Total
Spektrum 1	26.54	2.69	8.11	10.22	0.67	0.76	51.02	100.00
Spektrum 2	26.16	2.83	8.56	10.11	0.70	0.81	50.82	100.00
Spektrum 3	26.90	3.30	9.29	9.66	0.72	0.94	49.20	100.00
Ortalama	26.53	2.94	8.65	10.00	0.70	0.84	50.34	100.00
Std. Sapma	0.37	0.32	0.60	0.30	0.02	0.10	1.00	
Maks. Değer	26.90	3.30	9.29	10.22	0.72	0.94	51.02	
Min. Değer	26.16	2.69	8.11	9.66	0.67	0.76	49.20	

Çizelge Ek-8.5. Bilyalı değirmende öğütülerek flotasyonu yapılan YBD numunesinin 1.artık ürünlerine ait taramalı elektron mikroskobu kimyasal içerik analizi

Spektrum	O	Al	Si	S	K	Fe	Ba	Total
Spektrum 1	55.13	3.82	23.64	3.29	1.16	1.25	11.71	100.00
Spektrum 2	54.32	3.63	23.31	3.24	1.31	1.88	12.31	100.00
Spektrum 3	53.39	3.61	22.58	4.02	1.20	1.05	14.15	100.00
Ortalama	54.28	3.69	23.18	3.52	1.22	1.39	12.72	100.00
Std. Sapma	0.87	0.12	0.54	0.44	0.08	0.43	1.27	
Maks. Değer	55.13	3.82	23.64	4.02	1.31	1.88	14.15	
Min. Değer	53.39	3.61	22.58	3.24	1.16	1.05	11.71	

Çizelge Ek-8.6. Bilyalı değirmende öğütülerek flotasyonu yapılan YBD numunesinin 2.artık ürünlerine ait taramalı elektron mikroskobu kimyasal içerik analizi

Spektrum	O	Al	Si	S	K	Fe	Ba	Total
Spektrum 1	55.07	2.48	22.62	3.65	0.89	1.72	13.57	100.00
Spektrum 2	52.63	3.06	21.93	4.45	1.09	1.40	15.45	100.00
Spektrum 3	52.67	3.10	22.86	4.19	1.18	1.85	14.15	100.00
Ortalama	53.46	2.88	22.47	4.10	1.05	1.66	14.39	100.00
Std. Sapma	1.40	0.35	0.48	0.41	0.15	0.23	0.96	
Maks. Değer	55.07	3.10	22.86	4.45	1.18	1.85	15.45	
Min. Değer	52.63	2.48	21.93	3.65	0.89	1.40	13.57	

Çizelge Ek-8.7. Bilyalı değirmende öğütülerek flotasyonu yapılan YBD numunesinin 3.artık ürünlerine ait taramalı elektron mikroskobu kimyasal içerik analizi

Spektrum	O	Al	Si	S	K	Fe	Ba	Total
Spektrum 1	55.49	3.60	24.27	2.93	1.35	2.07	10.28	100.00
Spektrum 2	54.02	4.37	23.83	3.12	1.58	1.50	11.58	100.00
Spektrum 3	53.25	3.78	24.05	3.33	1.63	2.11	11.85	100.00
Ortalama	54.26	3.92	24.05	3.13	1.52	1.89	11.24	100.00
Std. Sapma	1.14	0.40	0.22	0.20	0.15	0.34	0.84	
Maks. Değer	55.49	4.37	24.27	3.33	1.63	2.11	11.85	
Min. Değer	53.25	3.60	23.83	2.93	1.35	1.50	10.28	

Çizelge Ek-8.8. Çubuklu değirmende öğütülerek flotasyonu yapılan YBD numunesinin 1. konsantre ürünlerine ait taramalı elektron mikroskobu kimyasal içerik analizi

Spektrum	O	Al	Si	S	K	Fe	Ba	Total
Spektrum 1	30.44	3.25	12.59	9.08	0.94	1.32	42.39	100.00
Spektrum 2	31.53	3.43	13.41	8.79	0.85	1.07	40.91	100.00
Spektrum 3	31.53	3.12	13.99	8.38	1.00	1.38	40.59	100.00
Ortalama	31.17	3.27	13.33	8.75	0.93	1.26	41.30	100.00
Std. Sapma	0.63	0.15	0.70	0.36	0.07	0.16	0.96	
Maks. Değer	31.53	3.43	13.99	9.08	1.00	1.38	42.39	
Min. Değer	30.44	3.12	12.59	8.38	0.85	1.07	40.59	

Çizelge Ek-8.9. Çubuklu değirmende öğütülerek flotasyonu yapılan YBD numunesinin 2. konsantre ürünlerine ait taramalı elektron mikroskobu kimyasal içerik analizi

Spektrum	O	Al	Si	S	K	Fe	Ba	Total
Spektrum 1	31.52	2.92	13.09	9.13	0.92	2.13	40.30	100.00
Spektrum 2	30.11	3.24	12.00	9.98	0.73	1.25	42.69	100.00
Spektrum 3	30.06	3.75	12.74	9.62	0.99	0.55	42.29	100.00
Ortalama	30.56	3.30	12.61	9.58	0.88	1.31	41.76	100.00
Std. Sapma	0.83	0.42	0.56	0.42	0.14	0.79	1.28	
Maks. Değer	31.52	3.75	13.09	9.98	0.99	2.13	42.69	
Min. Değer	30.06	2.92	12.00	9.13	0.73	0.55	40.30	

Çizelge Ek-8.10. Çubuklu değirmende öğütülerek flotasyonu yapılan YBD numunesinin 3. konsantre ürünlerine ait taramalı elektron mikroskobu kimyasal içerik analizi

Spektrum	O	Na	Al	Si	S	K	Fe	Ba	Total
Spektrum 1	41.44	0.31	3.94	12.45	7.66	1.28	1.31	31.60	100.00
Spektrum 2	40.40	0.17	4.24	12.03	7.64	1.25	0.80	33.46	100.00
Spektrum 3	41.15	0.37	4.32	12.35	7.61	1.20	1.04	31.96	100.00
Ortalama	41.00	0.28	4.17	12.28	7.64	1.24	1.05	32.34	100.00
Std. Sapma	0.54	0.10	0.20	0.22	0.02	0.04	0.26	0.99	
Maks. Değer	41.44	0.37	4.32	12.45	7.66	1.28	1.31	33.46	
Min. Değer	40.40	0.17	3.94	12.03	7.61	1.20	0.80	31.60	

Çizelge Ek-8.11. Çubuklu değirmende öğütülerek flotasyonu yapılan YBD numunesinin 1.artık ürünlerine ait taramalı elektron mikroskobu kimyasal içerik analizi

Spektrum	O	Al	Si	S	K	Fe	Ba	Total
Spektrum 1	55.96	2.90	27.10	2.34	0.99	1.91	8.81	100.00
Spektrum 2	56.31	2.93	26.69	2.39	0.83	1.49	9.36	100.00
Spektrum 3	54.94	3.46	26.65	2.71	1.18	1.21	9.85	100.00
Ortalama	55.74	3.10	26.81	2.48	1.00	1.54	9.34	100.00
Std. Sapma	0.71	0.32	0.25	0.20	0.17	0.35	0.52	
Maks. Değer	56.31	3.46	27.10	2.71	1.18	1.91	9.85	
Min. Değer	54.94	2.90	26.65	2.34	0.83	1.21	8.81	

Çizelge Ek-8.12. Çubuklu değirmende öğütülerek flotasyonu yapılan YBD numunesinin 2.artık ürünlerine ait taramalı elektron mikroskobu kimyasal içerik analizi

Spektrum	O	Al	Si	S	K	Fe	Ba	Total
Spektrum 1	58.56	2.71	28.64	1.70	0.95	0.74	6.70	100.00
Spektrum 2	59.04	2.68	27.97	1.89	1.03	1.70	5.69	100.00
Spektrum 3	59.53	2.57	28.45	1.92	0.85	1.39	5.29	100.00
Ortalama	59.04	2.65	28.35	1.84	0.94	1.28	5.90	100.00
Std. Sapma	0.49	0.07	0.35	0.12	0.09	0.49	0.73	
Maks. Değer	59.53	2.71	28.64	1.92	1.03	1.70	6.70	
Min. Değer	58.56	2.57	27.97	1.70	0.85	0.74	5.29	

Çizelge Ek-8.13. Çubuklu değirmende öğütülerek flotasyonu yapılan YBD numunesinin 3.artık ürünlerine ait taramalı elektron mikroskobu kimyasal içerik analizi

Spektrum	O	Al	Si	K	Fe	Ba	Total
Spektrum 1	57.71	2.65	30.07	0.97	1.47	7.12	100.00
Spektrum 2	58.99	2.66	30.26	0.91	1.44	5.75	100.00
Spektrum 3	59.72	2.37	29.95	0.94	1.21	5.80	100.00
Ortalama	58.81	2.56	30.10	0.94	1.38	6.22	100.00
Std. Sapma	1.02	0.16	0.16	0.03	0.14	0.78	
Maks. Değer	59.72	2.66	30.26	0.97	1.47	7.12	
Min. Değer	57.71	2.37	29.95	0.91	1.21	5.75	

Çizelge Ek-8.14. Tüvenan YBİ numunesine ait taramalı elektron mikroskobu kimyasal içerik analizi

Spektrum	O	Al	Si	S	Fe	Sr	Ba	Total
Spektrum 1	25.89	0.79	1.44	15.64	3.87	1.01	51.36	100.00
Spektrum 2	25.80	0.73	1.40	13.89	2.70	0.65	54.84	100.00
Spektrum 3	26.50	0.77	2.40	14.38	3.26	0.81	51.88	100.00
Ortalama	26.06	0.76	1.75	14.64	3.28	0.82	52.69	100.00
Std. Sapma	0.38	0.03	0.57	0.91	0.58	0.18	1.88	
Maks. Değer	26.50	0.79	2.40	15.64	3.87	1.01	54.84	
Min. Değer	25.80	0.73	1.40	13.89	2.70	0.65	51.36	

Çizelge Ek-8.15. Bilyalı değirmende öğütülerek flotasyonu yapılan YBİ numunesinin 1.konsantre ürünlerine ait taramalı elektron mikroskobu kimyasal içerik analizi

Spektrum	O	Al	Si	S	K	Fe	Ba	Total
Spektrum 1	31.18	0.39	0.44	11.90	0.04	0.36	55.68	100.00
Spektrum 2	30.88	0.26	0.49	11.94	0.11	0.80	55.52	100.00
Spektrum 3	31.34	0.46	0.54	11.80	0.04	0.47	55.35	100.00
Ortalama	31.13	0.37	0.49	11.88	0.06	0.54	55.52	100.00
Std. Sapma	0.23	0.10	0.05	0.07	0.04	0.23	0.16	
Maks. Değer	31.34	0.46	0.54	11.94	0.11	0.80	55.68	
Min. Değer	30.88	0.26	0.44	11.80	0.04	0.36	55.35	

Çizelge Ek-8.16. Bilyalı değirmende öğütülerek flotasyonu yapılan YBİ numunesinin 2.konsantre ürünlerine ait taramalı elektron mikroskobu kimyasal içerik analizi

Spektrum	O	Al	Si	S	Fe	Sr	Ba	Total
Spektrum 1	24.86	0.53	0.53	13.13	1.20	0.96	58.80	100.00
Spektrum 2	25.39	0.55	0.62	12.99	0.67	1.17	58.60	100.00
Spektrum 3	24.42	0.62	0.70	12.95	0.76	1.05	59.50	100.00
Ortalama	24.89	0.56	0.62	13.02	0.88	1.06	58.97	100.00
Std. Sapma	0.49	0.05	0.09	0.09	0.29	0.11	0.47	
Maks. Değer	25.39	0.62	0.70	13.13	1.20	1.17	59.50	
Min. Değer	24.42	0.53	0.53	12.95	0.67	0.96	58.60	

Çizelge Ek-8.17. Bilyalı değirmende öğütülerek flotasyonu yapılan YBİ numunesinin 3.konsantre ürünlerine ait taramalı elektron mikroskobu kimyasal içerik analizi

Spektrum	O	Al	Si	S	K	Fe	Ba	Total
Spektrum 1	32.20	0.55	0.88	11.86	0.07	0.52	53.91	100.00
Spektrum 2	32.27	0.51	0.82	11.66	0.11	0.73	53.92	100.00
Spektrum 3	31.58	0.46	0.85	12.21	0.12	0.69	54.09	100.00
Ortalama	32.02	0.51	0.85	11.91	0.10	0.64	53.97	100.00
Std. Sapma	0.38	0.05	0.03	0.28	0.03	0.11	0.10	
Maks. Değer	32.27	0.55	0.88	12.21	0.12	0.73	54.09	
Min. Değer	31.58	0.46	0.82	11.66	0.07	0.52	53.91	

Çizelge Ek-8.18. Bilyalı değirmende öğütülerek flotasyonu yapılan YBİ numunesinin 1.artık ürünlerine ait taramalı elektron mikroskobu kimyasal içerik analizi

Spektrum	O	Al	Si	S	Fe	Ba	Total
Spektrum 1	31.37	1.76	6.20	17.42	11.23	32.01	100.00
Spektrum 2	33.62	1.78	7.06	14.37	8.18	34.99	100.00
Spektrum 3	33.09	1.48	6.31	16.28	9.53	33.31	100.00
Ortalama	32.70	1.67	6.53	16.03	9.65	33.43	100.00
Std. Sapma	1.17	0.17	0.47	1.54	1.53	1.49	
Maks. Değer	33.62	1.78	7.06	17.42	11.23	34.99	
Min. Değer	31.37	1.48	6.20	14.37	8.18	32.01	

Çizelge Ek-8.19. Bilyalı değirmende öğütülerek flotasyonu yapılan YBİ numunesinin 2.artık ürünlerine ait taramalı elektron mikroskobu kimyasal içerik analizi

Spektrum	O	Al	Si	S	Fe	Ba	Total
Spektrum 1	33.51	1.71	10.65	17.96	15.56	20.60	100.00
Spektrum 2	32.57	1.61	10.12	19.62	16.89	19.20	100.00
Spektrum 3	32.54	1.97	10.57	18.82	16.55	19.56	100.0
Ortalama	32.88	1.76	10.45	18.80	16.33	19.79	100.00
Std. Sapma	0.55	0.19	0.29	0.83	0.69	0.73	
Maks. Değer	33.51	1.97	10.65	19.62	16.89	20.60	
Min. Değer	32.54	1.61	10.12	17.96	15.56	19.20	

Çizelge Ek-8.20. Bilyalı değirmende öğütülerek flotasyonu yapılan YBİ numunesinin 3.artık ürünlerine ait taramalı elektron mikroskobu kimyasal içerik analizi

Spektrum	O	Al	Si	S	Fe	Ba	Total
Spektrum 1	39.06	1.15	7.07	13.75	8.21	30.76	100.00
Spektrum 2	37.38	1.31	6.57	14.35	8.97	31.42	100.00
Spektrum 3	36.12	1.64	6.62	15.36	9.78	30.49	100.00
Ortalama	37.52	1.37	6.75	14.49	8.99	30.89	100.00
Std. Sapma	1.48	0.25	0.28	0.82	0.78	0.48	
Maks. Değer	39.06	1.64	7.07	15.36	9.78	31.42	
Min. Değer	36.12	1.15	6.57	13.75	8.21	30.49	

Çizelge Ek-8.21. Çubuklu değirmende öğütülerek flotasyonu yapılan YBİ numunesinin 1.konsantre ürünlerine ait taramalı elektron mikroskobu kimyasal içerik analizi

Spektrum	O	Al	Si	S	Fe	Ba	Total
Spektrum 1	30.88	0.50	0.33	13.25	0.60	54.44	100.00
Spektrum 2	32.80	0.83	0.37	12.85	0.82	52.33	100.00
Spektrum 3	33.24	0.34	0.36	12.79	0.54	52.73	100.00
Ortalama	32.31	0.56	0.35	12.96	0.65	53.17	100.00
Std. Sapma	1.25	0.25	0.02	0.25	0.15	1.12	
Maks. Değer	33.24	0.83	0.37	13.25	0.82	54.44	
Min. Değer	30.88	0.34	0.33	12.79	0.54	52.33	

Çizelge Ek-8.22. Çubuklu değirmende öğütülerek flotasyonu yapılan YBİ numunesinin 2.konsantre ürünlerine ait taramalı elektron mikroskobu kimyasal içerik analizi

Spektrum	O	Al	Si	S	Fe	Ba	Total
Spektrum 1	33.85	0.41	0.23	13.02	0.48	52.01	100.00
Spektrum 2	34.60	0.59	0.39	12.60	0.78	51.04	100.00
Spektrum 3	34.17	0.49	0.52	12.59	1.23	50.99	100.00
Ortalama	34.21	0.50	0.38	12.74	0.83	51.35	100.00
Std. Sapma	0.38	0.09	0.15	0.24	0.38	0.58	
Maks. Değer	34.60	0.59	0.52	13.02	1.23	52.01	
Min. Değer	33.85	0.41	0.23	12.59	0.48	50.99	

Çizelge Ek-8.23. Çubuklu değirmende öğütülerek flotasyonu yapılan YBİ numunesinin 3.konsantre ürünlerine ait taramalı elektron mikroskobu kimyasal içerik analizi

Spektrum	O	Al	Si	S	Fe	Ba	Total
Spektrum 1	35.83	0.36	0.53	12.70	0.86	49.73	100.00
Spektrum 2	33.63	0.41	0.57	12.90	0.65	51.85	100.00
Spektrum 3	35.86	0.39	0.31	12.90	0.74	49.79	100.00
Ortalama	35.11	0.39	0.47	12.83	0.75	50.46	100.00
Std. Sapma	1.28	0.02	0.14	0.12	0.11	1.21	
Maks. Değer	35.86	0.41	0.57	12.90	0.86	51.85	
Min. Değer	33.63	0.36	0.31	12.70	0.65	49.73	

Çizelge Ek-8.24. Çubuklu değirmende öğütülerek flotasyonu yapılan YBİ numunesinin 1.artık ürünlerine ait taramalı elektron mikroskobu kimyasal içerik analizi

Spektrum	O	Al	Si	S	Fe	Ba	Total
Spektrum 1	33.20	0.98	9.60	24.71	20.94	10.57	100.00
Spektrum 2	33.97	1.16	8.06	27.42	22.76	6.62	100.00
Spektrum 3	37.26	1.38	8.41	25.03	20.15	7.78	100.00
Ortalama	34.81	1.17	8.69	25.72	21.28	8.32	100.00
Std. Sapma	2.16	0.20	0.81	1.48	1.34	2.03	
Maks. Değer	37.26	1.38	9.60	27.42	22.76	10.57	
Min. Değer	33.20	0.98	8.06	24.71	20.15	6.62	

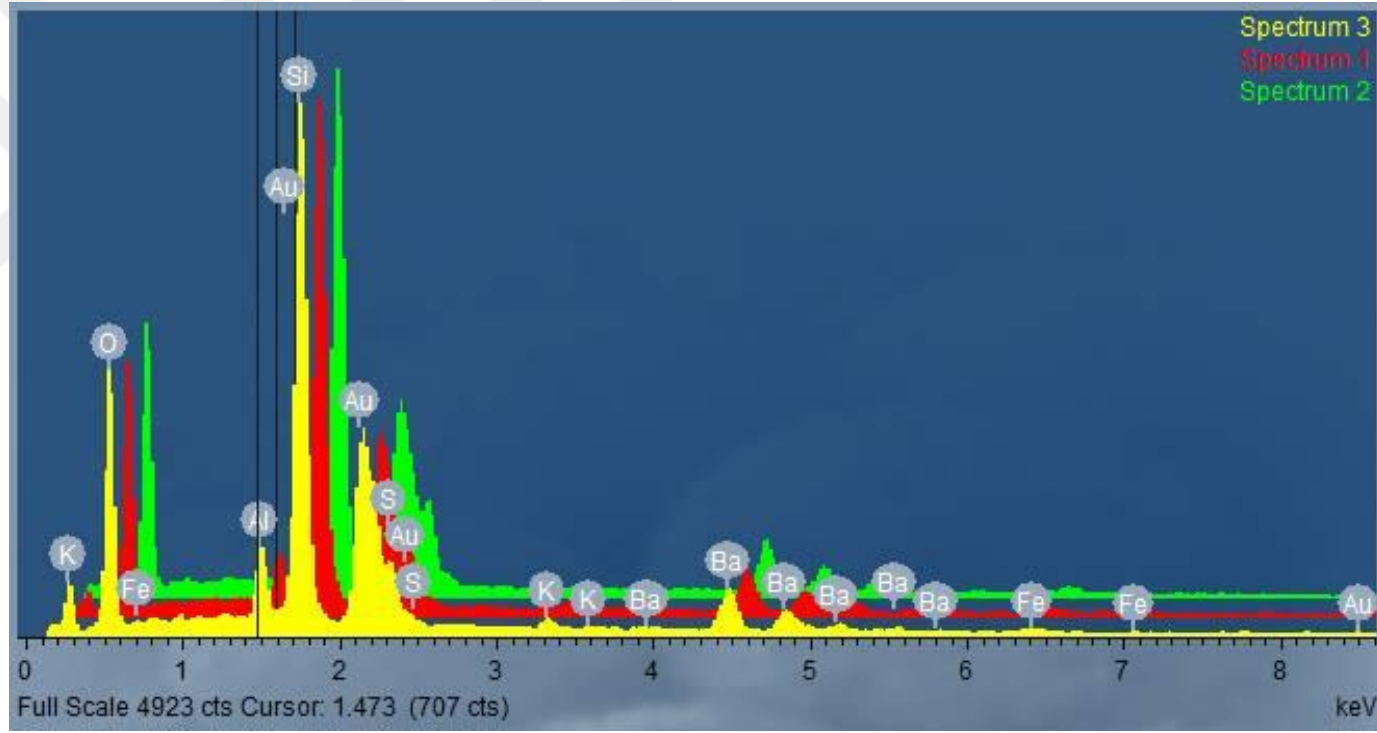
Çizelge Ek-8.25. Çubuklu değirmende öğütülerek flotasyonu yapılan YBİ numunesinin 2.artık ürünlerine ait taramalı elektron mikroskobu kimyasal içerik analizi

Spektrum	O	Al	Si	S	Fe	Ba	Total
Spektrum 1	36.48	1.15	7.92	20.41	14.75	19.30	100.00
Spektrum 2	35.18	1.09	7.72	19.65	14.51	21.85	100.00
Spektrum 3	37.21	1.02	9.33	18.24	13.32	20.89	100.00
Ortalama	36.29	1.08	8.32	19.44	14.19	20.68	100.00
Std. Sapma	1.03	0.06	0.88	1.10	0.76	1.29	
Maks. Değer	37.21	1.15	9.33	20.41	14.75	21.85	
Min. Değer	35.18	1.02	7.72	18.24	13.32	19.30	

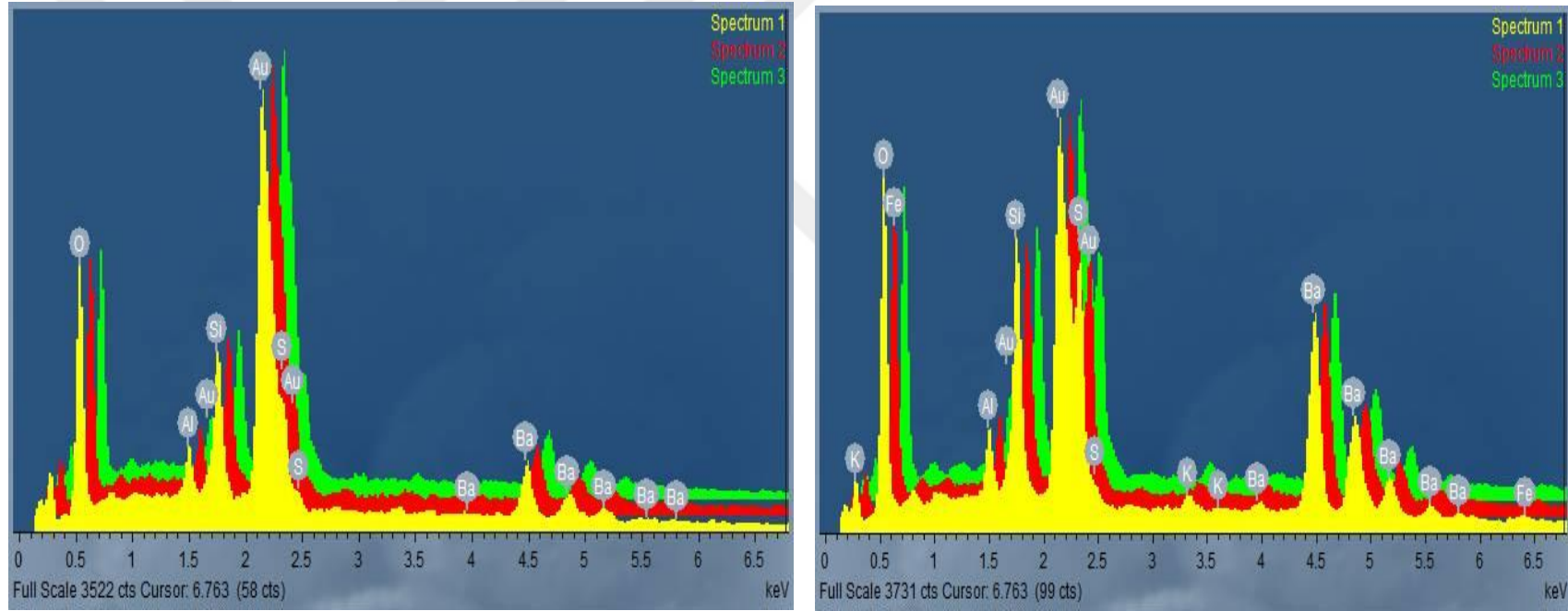
Çizelge Ek-8.26. Çubuklu değirmende öğütülerek flotasyonu yapılan YBİ numunesinin 3.artık ürünlerine ait taramalı elektron mikroskobu kimyasal içerik analizi

Spektrum	O	Al	Si	S	Fe	Ba	Total
Spektrum 1	31.63	1.30	9.05	21.04	16.59	20.39	100.00
Spektrum 2	30.66	1.40	6.65	21.75	17.09	22.45	100.00
Spektrum 3	34.03	1.11	7.92	20.45	14.23	22.26	100.00
Ortalama	32.11	1.27	7.87	21.08	15.97	21.70	100.00
Std. Sapma	1.74	0.15	1.20	0.65	1.53	1.14	
Maks. Değer	34.03	1.40	9.05	21.75	17.09	22.45	
Min. Değer	30.66	1.11	6.65	20.45	14.23	20.39	

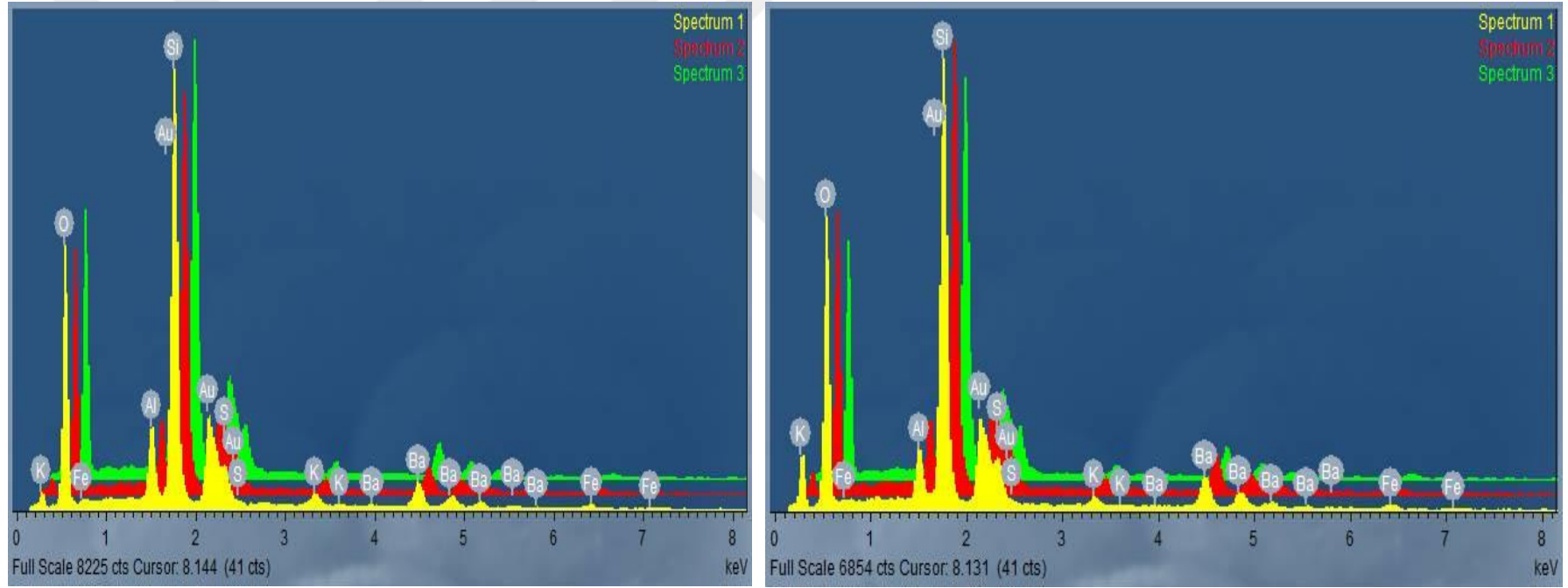
**EK-9 TARAMALI ELEKTRON MİKROSKOBU (SEM) SPEKTRUM
GRAFİKLERİ**



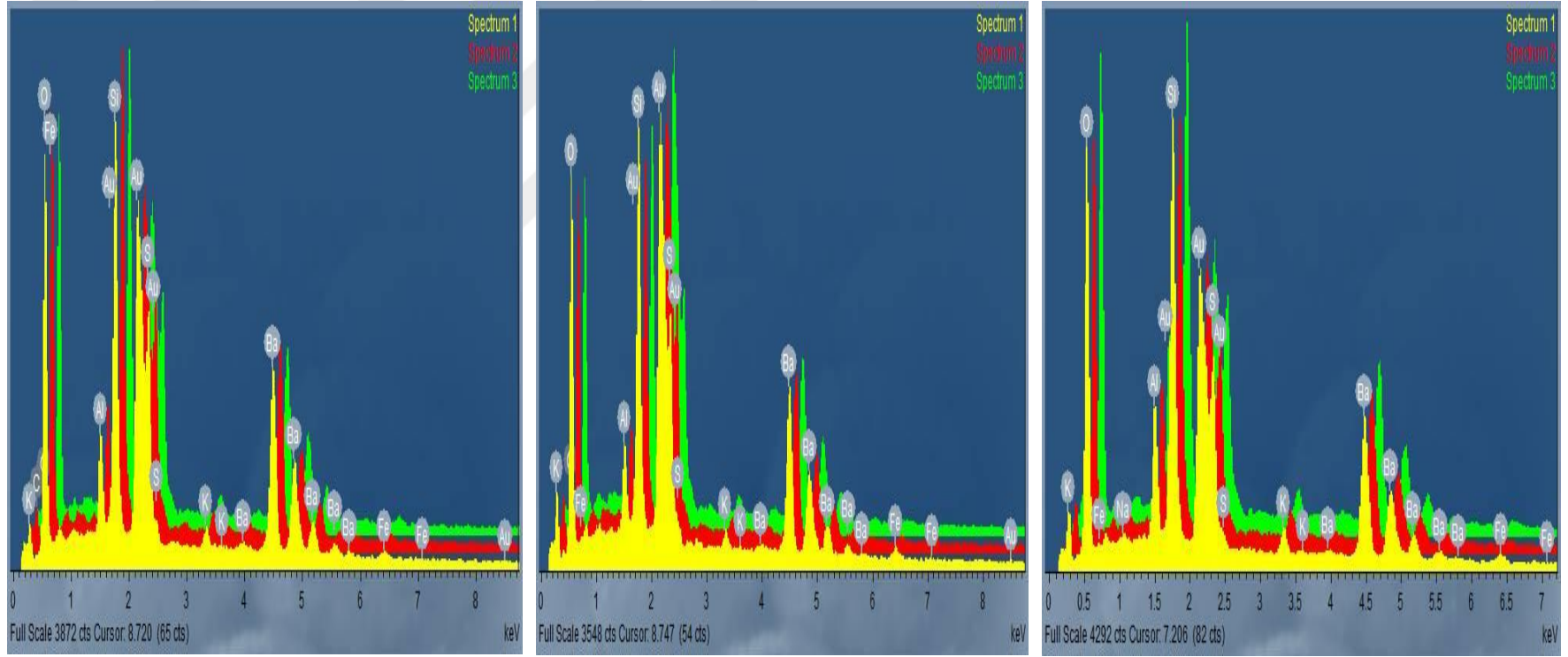
Şekil Ek 9.1. Tüvenan düşük tenörlü (YBD) barit numunesinin Taramalı Elektron Mikroskobu ile belirlenmiş spektrumu



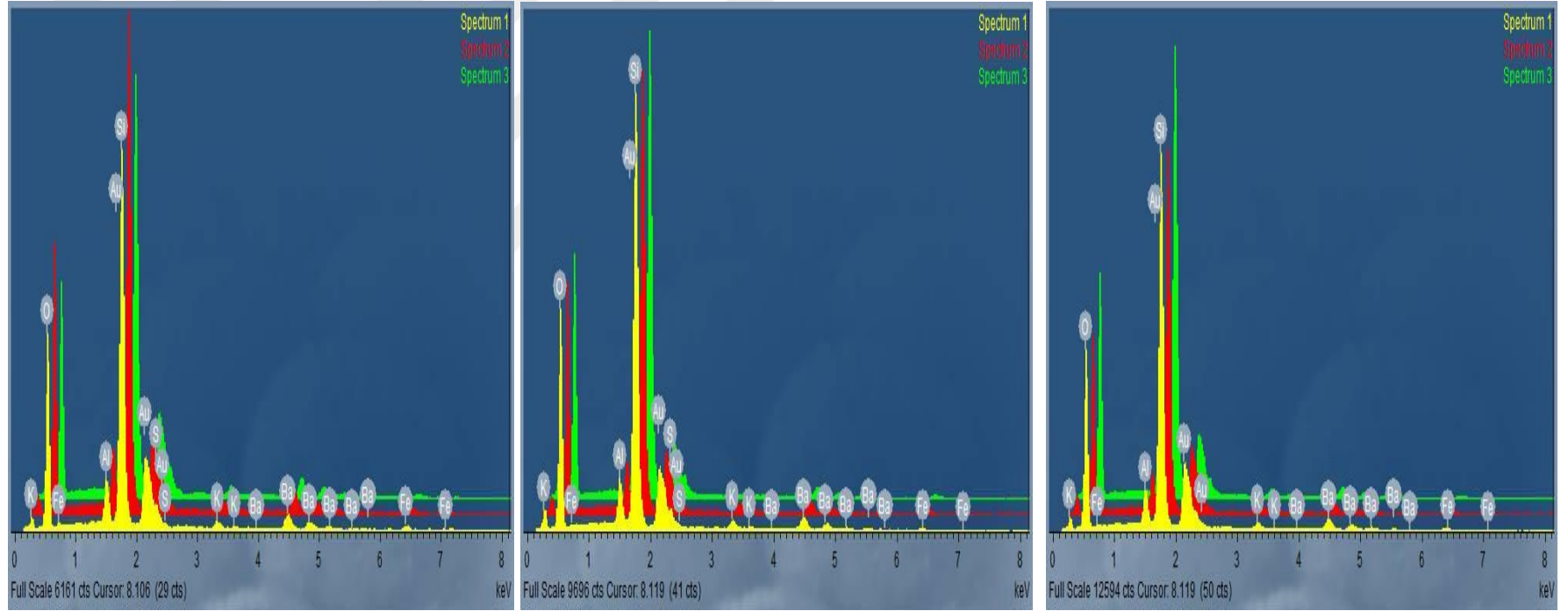
Şekil Ek 9.2. Bilyalı değirmende öğütülmüş düşük tenörlü barit numunesinin flotasyon ile zenginleştirilmesi sonucu elde edilen konsantre ürünlerinin Taramalı Elektron Mikroskobu ile belirlenmiş spektrumu



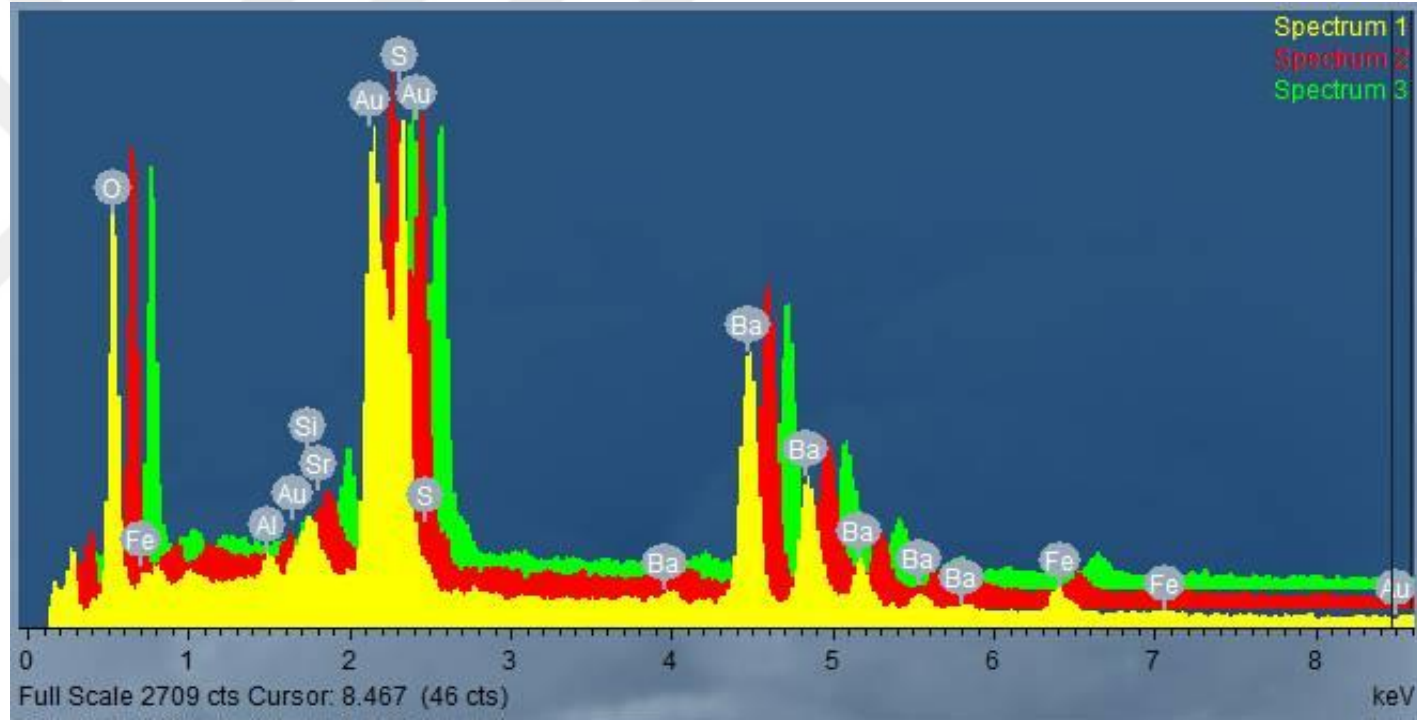
Şekil Ek 9.3. Bilyalı değirmende öğütülmüş düşük tenörlü barit numunesinin flotasyon ile zenginleştirilmesi sonucu elde edilen artık ürünlerinin Taramalı Elektron Mikroskobu ile belirlenmiş spektrumu



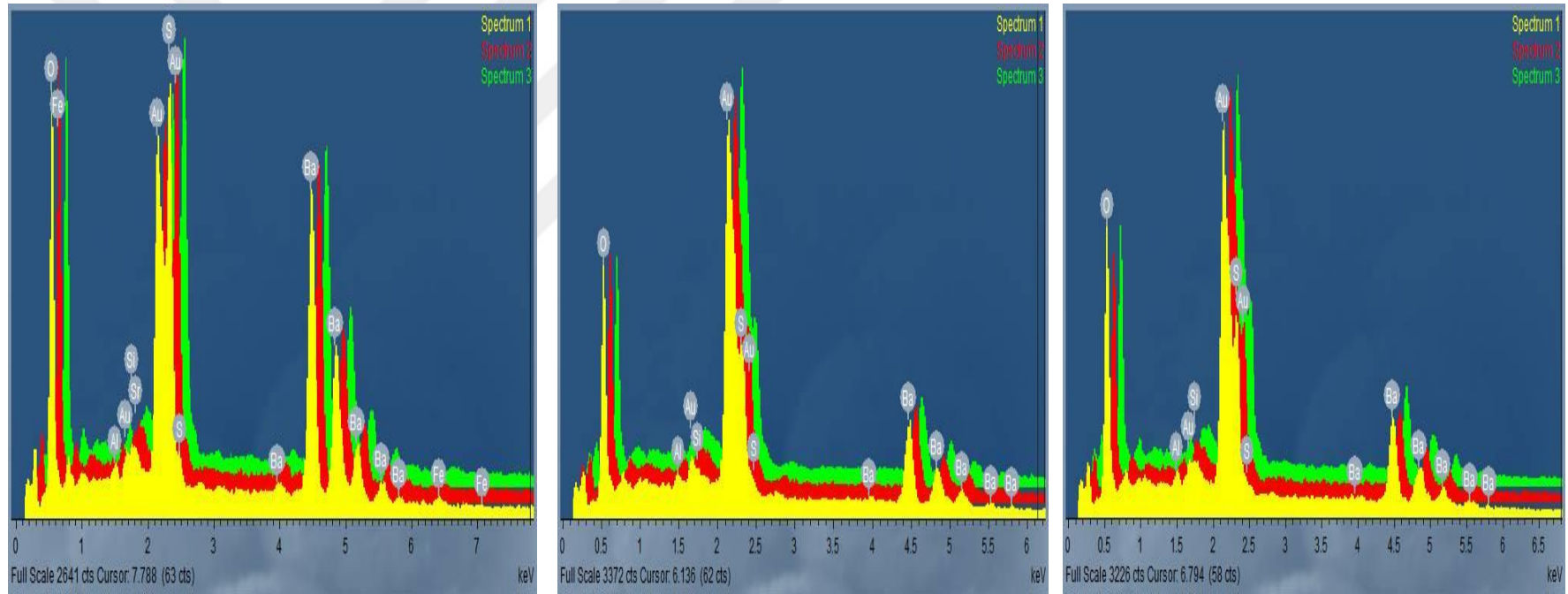
Şekil Ek 9.4. Çubuklu değirmende öğütölmüş düşük tenörlü barit numunesinin flotasyon ile zenginleştirilmesi sonucu elde edilen konsantre ürünlerinin Taramalı Elektron Mikroskobu ile belirlenmiş spektrumu



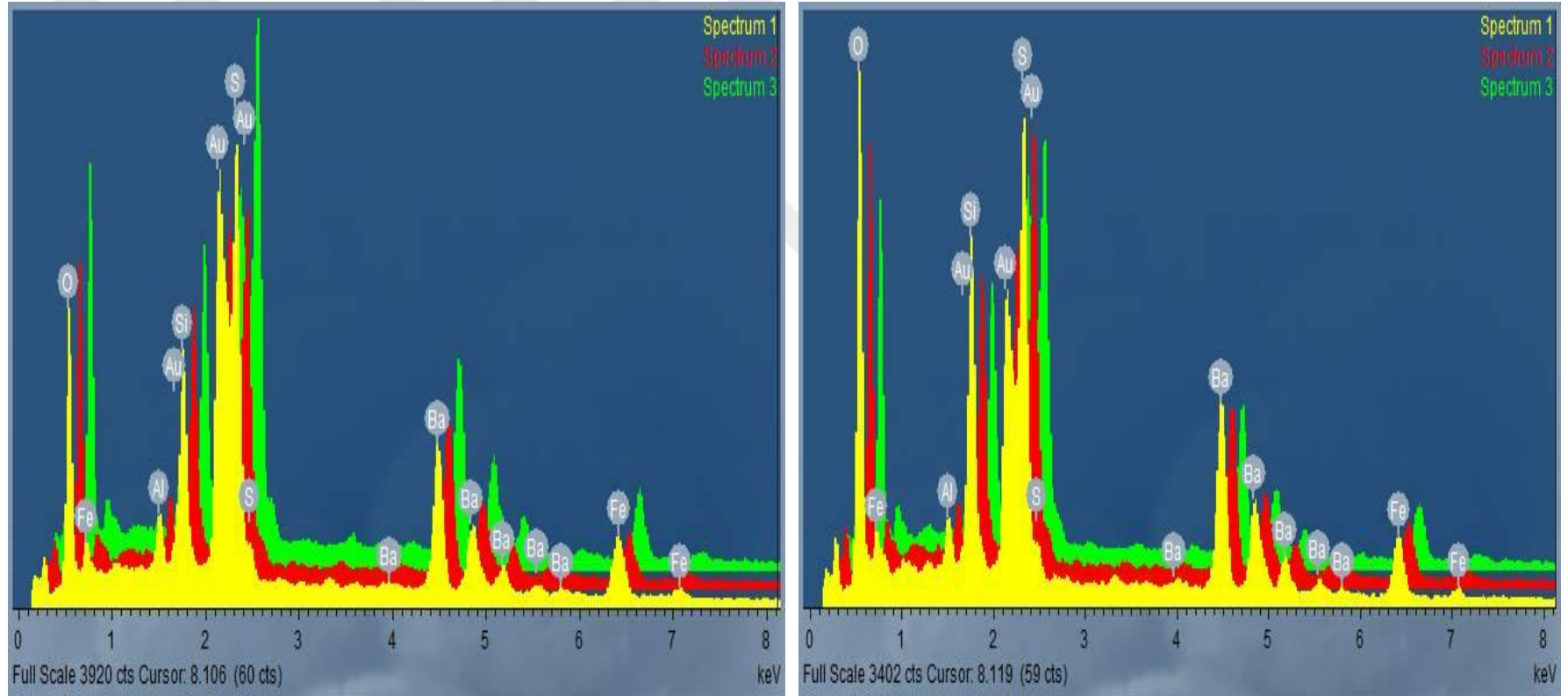
Şekil Ek 9.5. Çubuklu değirmende öğütülmüş düşük tenörlü barit numunesinin flotasyon ile zenginleştirilmesi sonucu elde edilen artık ürünlerinin Taramalı Elektron Mikroskobu ile belirlenmiş spektrumu



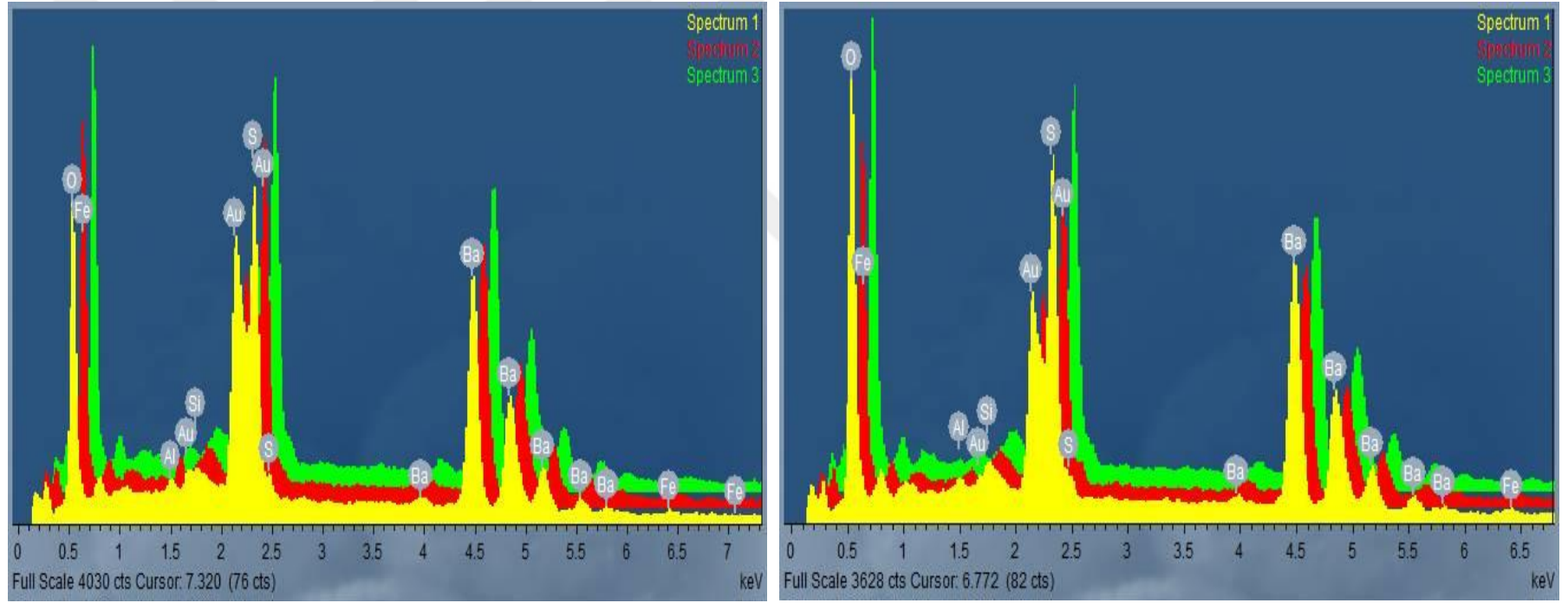
Şekil Ek 9.6. Tüvenan yüksek tenörlü (YBİ) barit numunesinin Taramalı Elektron Mikroskobu ile belirlenmiş spektrumu



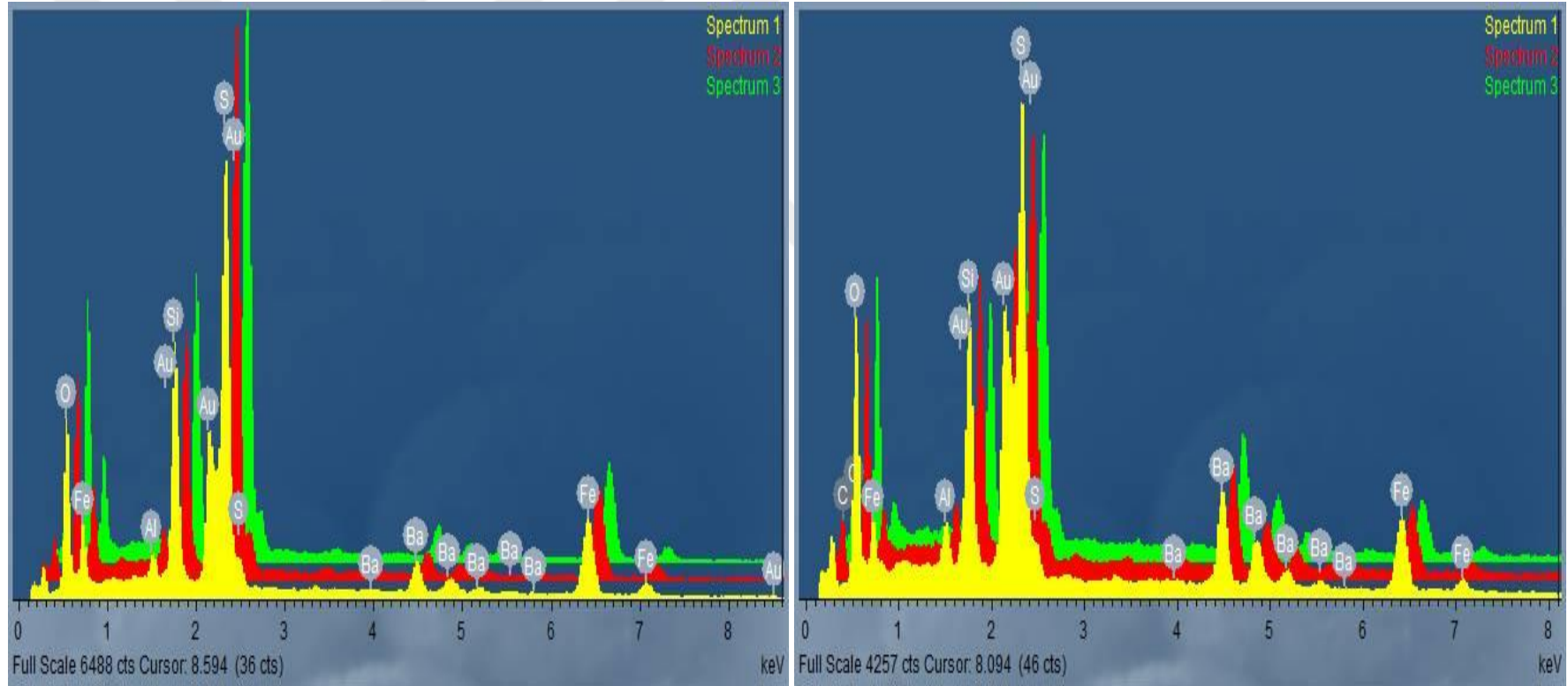
Şekil Ek 9.7. Bilyalı değirmende öğütülmüş yüksek tenörlü barit numunesinin flotasyon ile zenginleştirilmesi sonucu elde edilen konsantre ürünlerinin Taramalı Elektron Mikroskobu ile belirlenmiş spektrumu



Şekil Ek 9.8. Bilyalı değirmende öğütülmüş yüksek tenörlü barit numunesinin flotasyon ile zenginleştirilmesi sonucu elde edilen artık ürünlerinin Taramalı Elektron Mikroskobu ile belirlenmiş spektrumu



Şekil Ek 9.9. Çubuklu değirmende öğütülmüş yüksek tenörlü barit numunesinin flotasyon ile zenginleştirilmesi sonucu elde edilen konsantre ürünlerinin Taramalı Elektron Mikroskobu ile belirlenmiş spektrumu



Şekil Ek 9.10. Çubuklu değirmende öğütülmüş yüksek tenörlü barit numunesinin flotasyon ile zenginleştirilmesi sonucu elde edilen artık ürünlerinin Taramalı Elektron Mikroskobu ile belirlenmiş spektrumu