

## **KALSİTİN KARIŞTIRMALI BİLYALI DEĞİRMENDE KURU MİKRONİZE ÖĞÜTÜLMESİNDE BAZI İŞLEM PARAMETRELERİNİN ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI**

**Serkan ÇAYIRLI\***

*Maden Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Ömer Halisdemir Üniversitesi, Niğde, Türkiye*

*Geliş / Received: 26.05.2016*

*Düzeltilmelerin gelişi / Received in revised form: 28.07.2016*

*Kabul / Accepted: 02.09.2016*

### **ÖZ**

Bu çalışmada, kalsitin mikronize boyutlara kuru olarak karıştırmalı bilyalı değirmende öğütülebilirliği incelenmiştir. Bu kapsamda karıştırma hızı, malzeme doluluk oranı, bilya doluluk oranı ve öğütme yardımcısı miktarı parametrelerinin -5 µm malzeme miktarı (%) üzerine etkileri araştırılmıştır. Deneysel çalışmalar 2<sup>4</sup> faktöriyel tasarım kullanılarak test edilmiştir. Yates düzenlemesine göre yapılan deneylerde temel etki ve iç etkileşimler göz önünde bulundurularak değerlendirilmiştir. Karıştırma hızı, bilya doluluk oranı ve öğütme yardımcısı miktarı parametrelerinin ürünlerin -5 µm malzeme miktarları (%) üzerinde belirgin (pozitif) etkiye sahip oldukları tespit edilmiştir. Optimum şartlarda ise %71,49 malzeme miktarına (-5 µm), 3,63 m<sup>2</sup>/cm<sup>3</sup> yüzey alanına ve 2,15 µm d<sub>50</sub> değerine sahip nihai mikronize ürün elde edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Kalsit, mikronize öğütme, öğütme yardımcısı, karıştırmalı bilyalı değirmen

## **INVESTIGATION OF THE EFFECTS OF SOME OPERATIONAL PARAMETERS ON DRY MICRONIZED CALCITE GRINDING IN A STIRRED BALL MILL**

### **ABSTRACT**

In this study, dry grindability of calcite to micronized sizes in a laboratory scale stirred ball mill was investigated. Within the context, the effects of parameters such as stirrer speed, powder filling ratio, ball filling ratio and grinding aid dosage on product quantity (-5 µm %) were studied. Experiments were carried out using 2<sup>4</sup> full factorial designs. The main and interaction effects were evaluated using Yates' method. The stirrer speed, ball filling ratio and grinding aid dosage play distinct roles (positive) on product quantity (-5 µm %). Micronized calcite product with a product quantity (-5 µm) of 71.49%, a volumetric surface area of 3.63 m<sup>2</sup>/cm<sup>3</sup> and a mean particle size (d<sub>50</sub>) of 2.15 µm were obtained in the optimum grinding conditions.

**Keywords:** Calcite, micronized grinding, grinding aid, stirred ball mill

### **1. GİRİŞ**

Kalsit, çeşitli şekillerde kristal halde bulunan camsı parlaklıkta, sertliği Mohs skalasına göre 3, yoğunluğu ise 2,6-2,7 g/cm<sup>3</sup> civarında olan bir endüstriyel mineraldir. Ülkemiz kalsit rezervleri milyonlarca tonla ifade edilebilir zenginliktedir. Bunun yanında henüz rezervi tespit edilmemiş Anadolu'nun hemen her bölgesinde kalsit oluşumuna rastlamak mümkündür. Türkiye'deki kalsit rezervlerinde dikkat çeken en önemli özellikler;

\*Corresponding author / Sorumlu yazar. Tel.: +90 388 225 2350; e-mail/e-posta: scayirli@ohu.edu.tr

## KALSİTİN KARIŞTIRMALI BİLYALI DEĞİRMENDE KURU MİKRONİZE ÖĞÜTÜLMESİNDE BAZI İŞLEM PARAMETRELERİNİN ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI

CaCO<sub>3</sub> yüzdesi yüksektir, silis ve demir safsızlıkları çok düşük oranlardadır ve öğütüldükten sonraki beyazlık derecesi çok yüksektir. Ayrıca Türkiye'nin en beyaz oluşumlarını ise Niğde bölgesinin kalsit rezervleri teşkil etmektedir [1].

Temel birçok sanayinin ana girdisi olup titanyum dioksit gibi çok pahalı pigmentlerin daha az kullanılmasını sağlayan kalsit, gerek ekonomik gerekse çevre sağlığı açısından kullanımı yaygın bir hammaddedir. Kalsit, boya sektöründe beyazlatıcı olarak kullanılmakta olup, daha çok 1–40 µm boyutları arasında kuru öğütülmüş olarak tercih edilmektedir [2]. Mikronize kalsit ürünleri kâğıt endüstrisinde dolgu ve kaplama maddesi olarak kullanılır. Böylece yüzey sertlenir, düzlenir ve renk düzgünlüğü elde edilir [3]. Kalsit, polimerik kompozit malzemelerde dolgu olarak yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Dolgu malzemesi kullanmak maliyeti önemli ölçüde azaltmakta ve çoğu durumlarda kompozit malzemenin fiziksel özelliklerini de iyileştirmektedir [4].

Endüstriyel ölçekte kalsitin mikronize boyutlara öğütülmesinde, kuru olarak çalıştırılan konvansiyonel bilyalı değirmenler ile karıştırmalı bilyalı değirmenler (stirred mill) kullanılmaktadır. Elde edilen değişik boyutlardaki kalsit ürünleri doğrudan ya da yüzey modifikasyonu (kaplama) işlemine tabi tutularak pazarlanabilmektedir. Mikronize boyutlardaki kalsit yaygın olarak teknolojinin bilinmesi, yerli üretiminin yapılabilmesi ve yüksek kapasiteye sahip olmaları nedeniyle konvansiyonel bilyalı değirmenler de öğütülmektedir. Öğütme işlemleri genel olarak yüksek enerji gerektiren bir proses olmakla birlikte kalsitin mikronize boyutlara (d<sub>50</sub>= 3–5 µm) öğütülmesinde bu sarfiyat daha üst seviyelerde seyredilmektedir. Bunun temel nedenleri, konvansiyonel bilyalı değirmenlerin ince ve çok ince boyutlara öğütmeye çok uygun olmaması, değirmenlerin tecrübe esaslı çalıştırılıyor olması ve çok ince boyutlarda separasyon verimlerinin düşük olması sayılabilmektedir [5].

Karıştırmalı bilyalı değirmenlerin birçok üstünlüğü olması nedeniyle seramik, mineral, madencilik, kimya, gıda, kömür / kok, boya, pigment, plastik, kâğıt kozmetik gibi çeşitli endüstri dallarında yaygın olarak kullanılmaktadır [6-8]. Karıştırmalı bilyalı değirmenler çok ince taneleri üretmek için zaman ve hacim başına düşen stres sayısının çokluğu ve uygun stres yoğunluğunu, konvansiyonel ve titreşimli değirmenlere göre daha az enerji tüketimiyle sağlarlar. İnce ve çok ince tanelere ihtiyacın artmasıyla, karıştırmalı bilyalı değirmenlerin diğer değirmenlere göre avantajlı olması, önemini hızla arttırmaktadır [9]. Karıştırmalı bilyalı değirmenler yatay ve dikey olmak üzere iki tipe sahip olup yaş veya kuru ortamda çalıştırılabilmektedirler. Kalsitin mikronize öğütülmesinde özellikle ülkemizde kuru ortamda öğütme yapan dik karıştırmalı bilyalı değirmenler tercih edilmektedir.

Konvansiyonel bilyalı değirmenler ya da karıştırmalı bilyalı değirmenlerde öğütülen kalsitin sınıflandırılması, kullanılan değirmenle kapalı devre çalıştırılan mekanik bir seperatör ile sağlanmaktadır. Bu sistemlerdeki seperatörler siklon ile birlikte veya siklon kullanılmaksızın çalıştırılmaktadır. Siklon ile çalıştırıldığında ana fanın ayırıcıdan yüksek hızda çektiği ince ürünü durdurmak ve stoklamak için, siklon jet-filtre ile birlikte kullanılmaktadır. Siklonlar nispeten kaba (iri) ürün elde etmek için daha uygundur, çünkü belli tane boyutlarının altında ki ürünü durduramamaktadır. Siklonun durduramadığı ince ürün filtre tarafından tutulup çöktürülür. Bundan dolayı bu tür sistemlerde siklondan elde edilen malzeme nispeten daha kaba; filtreden elde edilen malzeme nispeten daha incedir. Özellikle bu tip bir ürün istenmiyorsa her iki ürün tek siloya beslenerek karıştırılır [10].

Bu çalışmanın amacı, kalsitin mikronize boyutlara kuru olarak karıştırmalı bilyalı değirmende öğütülebilirliğini araştırmaktır. Bu kapsamda karıştırma hızı, malzeme doluluk oranı, bilya doluluk oranı ve öğütme yardımcısı miktarı parametrelerinin -5 µm malzeme miktarı (%) üzerine etkileri incelenmiştir.

## 2. MATERYAL VE METOT

### 2.1. Materyal

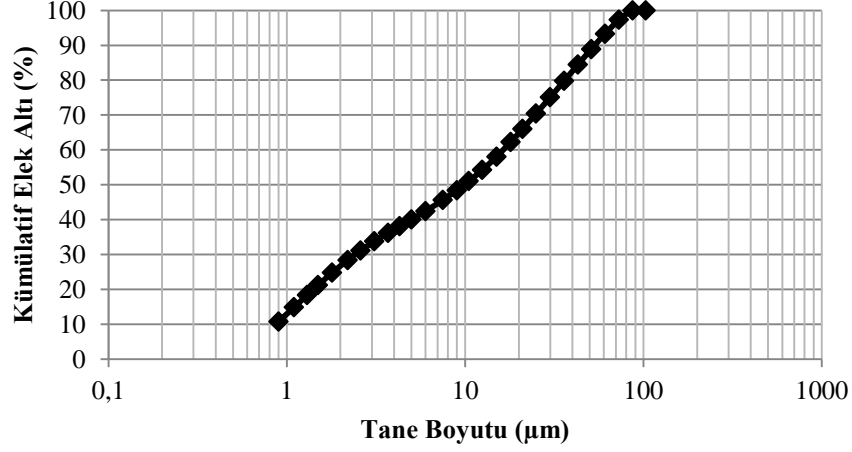
Deneylerinde kullanılan kalsit numunesi (2,70 g/cm<sup>3</sup>) Niğtaş Mikronize Ltd. Şti. (Niğde)'nden temin edilmiştir. Kalsit örneğinin Sympatec HELOS (H1613) lazer difraksiyon cihazı (Sympatec GmbH, Clausthal-Zellerfeld, Germany) ile tane dağılım analizi yapılmış ve sonuçları Şekil 1'de, kimyasal analizleri ise XRF cihazı ile yapılmış ve sonuçları Tablo 1'de verilmiştir.

### 2.2. Metot

Öğütme deneyleri dik şekilde tasarlanmış karıştırmalı bilyalı değirmende gerçekleştirilmiştir (Şekil 2). Karıştırıcı kolları çelikten, karıştırma haznesi polietilenden üretilen değirmenin özellikleri Tablo 2'de verilmiştir. Çelik bilyaların ürünlere rengini verebileceği düşüncesiyle ve mikronize kalsit üretimi yapan tesislerde çoğunlukla öğütücü ortam olarak alümina bilyalar kullanılması nedeniyle, bu çalışma d<sub>A1</sub>=3,5-4,5 mm (karışım)

S. ÇAYIRLI

alümina bilyalar ( $3,6 \text{ g/cm}^3$ ) ile gerçekleştirilmiştir. Deneylerde alkol bazlı sıvı formda ticari bir öğütme yardımcısı kullanılmıştır. Kullanılan öğütme yardımcısı her bir test için deney başlangıcında değirmene beslenmiştir.



Şekil 1. Besleme malı tane boyutu dağılım eğrisi

Tablo 1. Deneylerde kullanılan kalsitin kimyasal analiz sonuçları

	CaCO <sub>3</sub>	MgCO <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	MnO	Na <sub>2</sub> O	SO <sub>3</sub>
(%)	98,34	0,97	0,001	0,05	0,04	0,02	0,02	0,006	0,11	0,07



Şekil 2. Deneylerde kullanılan dikey karıştırma bilyalı değirmen

Tablo 2. Karıştırma değirmenin özellikleri

Değirmen tipi	Dikey
Değirmen çapı (mm)	150
Değirmen uzunluğu (mm)	170
Motor gücü (kW)	0,37
Karıştırıcı kol (adet)	8
Maksimum hız (d/d)	1400

Yapılan ön testlerde daha uzun öğütme sürelerinde, malzemenin değirmen çeperine aşırı derecede yapışma eğiliminde olması nedeniyle, deneylerde öğütme süresi 5 dk olarak belirlenmiş ve sabit tutulmuştur. Öğütme deneyleri kesikli şekilde yürütülmüştür. Her deney sonunda malzeme ve bilyalar öğütme haznesinden dışarıya

*KALSİTİN KARIŞTIRMALI BİLYALI DEĞİRMENDE KURU MİKRONİZE ÖĞÜTÜLMESİNDE BAZI İŞLEM PARAMETRELERİNİN ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI*

çıkartılmış, elek yardımıyla öğünmüş malzeme ile bilyaların birbirinden ayrılması sağlanmıştır. Öğütme deneyleri sonucunda öğünmüş malzemeler standart numune azaltma yöntemlerine göre azaltılarak Sympatec HELOS (H1613) lazer difraksiyon cihazı (Sympatec GmbH, Clausthal-Zellerfeld, Germany) ile -5 µm miktarları (%), tane dağılımları ve yüzey alanı değerleri tespit edilmiştir.

### 2.2.1. Deney Düzeni

Bu çalışmanın amacı maksimum seviyede -5 µm boyutunda malzeme elde edebilecek çalışma parametrelerinin optimize edilmesidir. Bu parametrelerin optimize edilmesi için öğütme deneyleri 2<sup>n</sup> faktöriyel deney tasarımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu tasarım belki de mühendislikte kullanılan özel yöntemlerin başında gelir. Birden fazla parametrenin aynı anda, olabilecek en az sayıda deneyle, sınanmasına olanak sağlamaktadır. Bu tasarım aynı zamanda daha önceki deneylerde elde edilen bilgilerin yeni deney serileri tasarımında kullanılmasını da sağlar. 2<sup>n</sup> faktöriyel tasarımın kullanılmasında diğer önemli bir neden de Yates tekniğinin (kısa bir hesaplama yöntemi) bu tasarıma uygulanışidir.

Yürütülen deneysel çalışmalarda 4 bağımsız parametre (karıştırma hızı, malzeme doluluk oranı, bilya doluluk oranı ve öğütme yardımcısı miktarı) seçilmiş ve 2<sup>4</sup> sayı da Yates sıralama ve notasyonuna uygun olacak şekilde deneyler yapılmıştır. Tablo 3’de görüldüğü üzere parametrelerin düşük, orta ve yüksek değerleri belirlenmiştir. Bu değerlerin düşük ve yüksek olanları ilk etap deneylerde kullanılmaktadır.

**Tablo 3.** Deneysel modelleme için farklı seviyelerdeki parametre kodları ve parametre değerleri

Parametreler	Parametre Kodu	Yates Sembolü	Düşük Seviye	Orta Seviye	Yüksek Seviye
Karıştırma Hızı (d/d)	X <sub>1</sub>	a	560	840	1120
Malzeme Doluluk Oranı (fc*)	X <sub>2</sub>	b	0,050	0,075	0,100
Bilya Doluluk Oranı (J*)	X <sub>3</sub>	c	0,50	0,60	0,70
Öğütme Yardımcısı Miktarı (numune miktarının %’si)	X <sub>4</sub>	d	0	0,25	0,50

$$fc^* = \frac{\text{Malzeme miktarı/Malzeme yoğunluğu}}{\text{Değirmen hacmi}} \times \frac{1,0}{0,6}$$

$$J^* = \frac{\text{Bilya miktarı/Bilya yoğunluğu}}{\text{Değirmen hacmi}} \times \frac{1,0}{0,6}$$

Yates deneysel düzen tekniğine göre planlanan Tablo 4’deki hesaplama işlemi aşağıda verilmiştir;

- (i) 1. Kolon 2<sup>4</sup> faktöriyel deney tasarımına göre Yates sıralaması [4 parametrenin -5 µm malzeme miktarı (%) üzerindeki etkisi araştırılmıştır].
- (ii) 2. Kolon Yates sıralamasına göre oluşturulan deneylerin sonuçlarıdır.
- (iii) 3. Kolon; 2. kolondaki sonuçlar sırasıyla çiftlere ayrılır. Yukarıdan aşağıya doğru bu çiftler toplanarak üst yarı kolona, alt değer üst değerden çıkarılarak diğer yarı kolona yerleştirilir. Deneyler 4 değişkene (parametreye) göre yapıldığı için bu işlem 4 kez aynı şekilde 4., 5. ve 6. kolonlar için tekrarlanır.
- (iv) 7. Kolon 6. kolondaki (Toplam Etki) her bir değerlerin karesinin deney sayısına bölünmesi ile elde edilir.
- (v) 8. Kolon serbestlik derecesidir.
- (vi) 9. Kolon F (hesap) kolonudur. 7. Kolonun 8. kolon ile standart hatanın ( $S_e^2$ ) çarpımına oranıdır.
- (vii) 10. Kolon F (tablo) kolonudur. F (1, 16, 0,05) için F-istatistiğinin değeri tablodan bulunur.
- (viii) 11. Kolon sonucu oluşturan karar kolonudur F-istatistiksel değere göre etkin olup olmadığı belirlenir.
- (ix) 12., 13., 14. ve 15. Kolonlar (f) fonksiyonundaki (Eşitlik 2) kodlanmış değerlerdir.
- (x) 16. Kolon modelin tahmin ettiği (hesaplanan) Y değerleridir [11-15].

Gelişigüzel sıralama ve Yates deneysel düzen tekniğine göre elde edilen deney sonuçları ANOVA Varyans analizi ile birleştirilerek her bir değerlendirme için fonksiyonlar bulunmuştur. Deneysel hataların  $S_e^2$  hesaplanması için merkez noktası tekrarlı yöntemle başvurulmuş ve Yates tekniğine göre yapılan deney verilerinin orta değerlerinde 3 adet

S. ÇAYIRLI

deney tekrarlanmıştır. Yates tekniğinde modelin tespit edilmesi Yates tekniği ve ANOVA Varyans analizinin birleştirilmesi ile  $f(X_1, X_2, \dots, X_n)$  fonksiyonu hesaplama yoluyla bulunmuştur. ANOVA uygulanmasının amacı kararları ve modeli basitleştirmesidir [11-13]. Bu yöntemde X değerleri Eşitlik 1'e göre hesaplanmıştır.

$$X = (a-b)/(c-b) \tag{1}$$

- a: Değişkenin (parametre) sınanma değeri
- b: Değişkenin (parametre) standart değeri
- c: Düşük veya yüksek değer

Yates düzenlemesine göre yapılan deneylerde temel etki ve iç etkileşimler göz önünde bulundurularak ve etkili sonuçlara bağlı olarak bir model oluşturulmuştur. Oluşturulan bu modele göre olması gereken deney sonuçları (Y) ANOVA analizine göre hesaplanmıştır. Etkin (E) değerler baz alınarak deney sonuçları (Y) hesaplanmıştır.

**Tablo 4.** Kalsitin Yates düzenlemesine göre yapılan öğütme deneyleri analizi

Yates Denej Düzeni	Denej Sonuçları (-5 µm %'si)	Kolon	Kolon	Kolon	Toplam Etki [TE]	[TE] <sup>2</sup> /16	S.D.	F <sub>Hesap</sub> (7)/(8)Se <sup>2</sup>	F <sub>Tablo</sub> (1,16, 0,05)	KARAR	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>	Y Hesap (-5 µm %'si)
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	43,51	96,11	191,54	390,82	906,59						-1	-1	-1	-1	43,50
a	52,60	95,43	199,28	515,77	54,53	185,8450563	1	786,7012399	4,49	E	1	-1	-1	-1	52,61
b	44,07	103,52	250,05	19,14	-28,15	49,52640625	1	209,6503722	4,49	E	-1	1	-1	-1	44,08
ab	51,36	95,76	265,72	35,39	4,83	1,45805625	1	6,172102088	4,49	E	1	1	-1	-1	51,35
c	52,14	130,53	16,38	-8,44	23,41	34,25175625	1	144,9912075	4,49	E	-1	-1	1	-1	52,13
ac	51,38	119,52	2,76	-19,71	-22,85	32,63265625	1	138,1373906	4,49	E	1	-1	1	-1	51,39
bc	46,12	137,21	22,31	2,48	-4,77	1,42205625	1	6,019710385	4,49	E	-1	1	1	-1	46,13
abc	49,64	128,51	13,08	2,35	6,81	2,89850625	1	12,26967511	4,49	E	1	1	1	-1	49,63
d	59,89	9,09	-0,68	7,74	124,95	975,7814062	1	4130,583066	4,49	E	-1	-1	-1	1	59,90
ad	70,64	7,29	-7,76	15,67	16,25	16,50390625	1	69,86273282	4,49	E	1	-1	-1	1	70,63
bd	53,98	-0,76	-11,01	-13,62	-11,27	7,93830625	1	33,60366693	4,49	E	-1	1	-1	1	53,97
abd	65,54	3,52	-8,7	-9,23	-0,13	0,00105625	1	0,004471215	4,49	ED	1	1	-1	1	65,55
cd	65,72	10,75	-1,8	-7,08	7,93	3,93030625	1	16,63739064	4,49	E	-1	-1	1	1	65,73
acd	71,49	11,56	4,28	2,31	4,39	1,20450625	1	5,098798857	4,49	E	1	-1	1	1	71,48
bcd	60,60	5,77	0,81	6,08	9,39	5,51075625	1	23,32759807	4,49	E	-1	1	1	1	60,59
abcd	67,91	7,31	1,54	0,73	-5,35	1,78890625	1	7,572624171	4,49	E	1	1	1	1	67,92

S.D.: Serbestlik Derecesi; E: Etkin; ED: Etkin Değil  
 CPR, Orta Değeri; (1) %66,03 (2) %66,96 (3) %66,25

$$S_e^2 = \sum_{i=1}^3 \frac{(CPR_i - CPR_{ortalama})^2}{2} \quad S_e^2 = 0,2362$$

### 3. BULGULAR VE TARTIŞMA

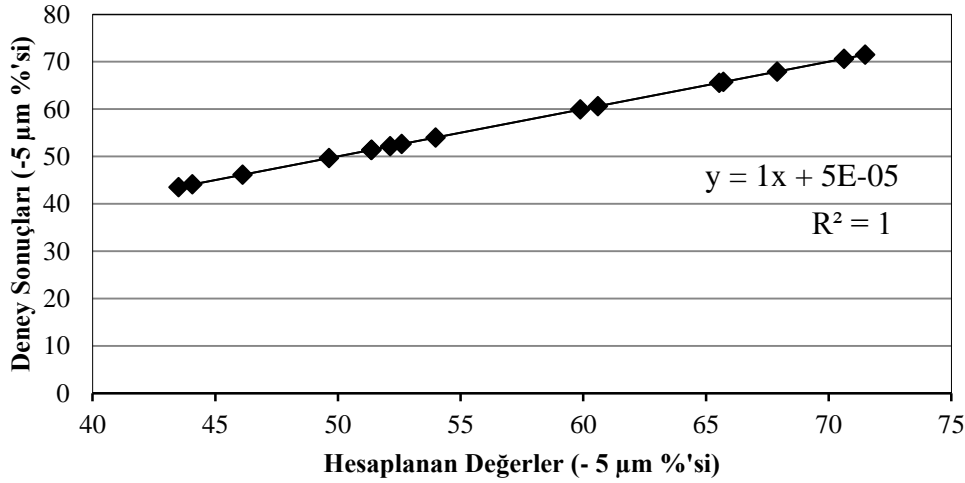
Kalsitin Yates düzenlemesine göre yapılan öğütme deneylerinde, karıştırma hızı, malzeme doluluk oranı, bilya doluluk oranı ve öğütme yardımcısı miktarı parametreleri test edilmiş sonuçlar -5 µm malzeme miktarı (%) dikkate alınarak değerlendirilmiştir. Gerçekleştirilen deneylerde temel etki ve iç etkileşim göz önünde

**KALSİTİN KARIŞTIRMALI BİLYALI DEĞİRMENDE KURU MİKRONİZE ÖĞÜTÜLMESİNDE BAZI İŞLEM PARAMETRELERİNİN ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI**

bulundurularak ve etkin değerlere (E) bağlı olarak bir model oluşturulmuş ve bu modele göre (Eşitlik 2) deney sonuçları (Y) hesaplanmıştır.

$$Y = 56,662 + 3,408X_1 - 1,759X_2 + 0,302X_1X_2 + 1,463X_3 - 1,428 X_1X_3 - 0,298X_2X_3 + 0,426 X_1X_2 X_3 + 7,809X_4 + 1,016X_1X_4 - 0,704X_2X_4 + 0,496 X_3X_4 + 0,274X_1X_3X_4 + 0,587 X_2X_3X_4 - 0,334X_1X_2X_3X_4 \quad (2)$$

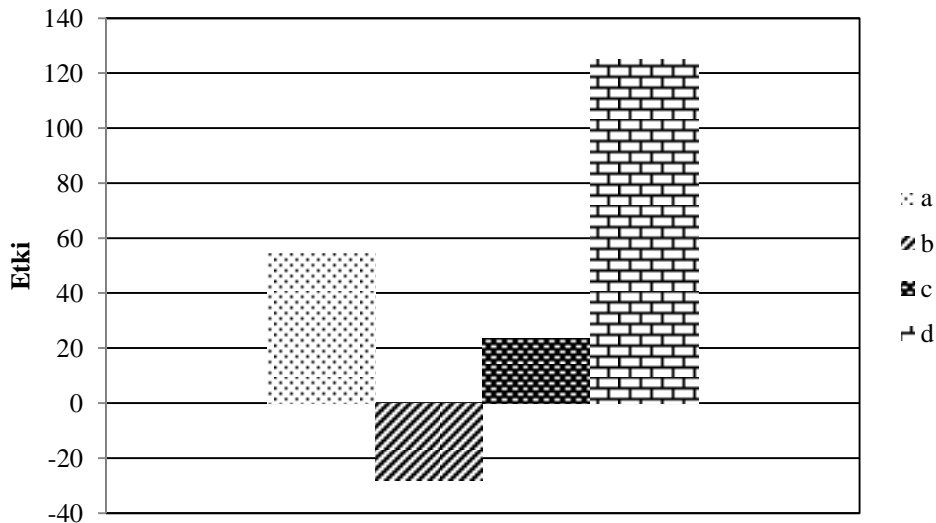
Deneylerden elde edilen -5 µm miktarları (%) ile hesapla bulunan Y -5 µm miktarları (%) arasındaki ilişki Şekil 3’deki gibi olup aralarında  $y = 1x + 5E-05$  bağıntısı vardır. Veriler arasındaki korelasyon katsayısı ( $R^2$ ) ise 1 olarak bulunmuştur.



Şekil 3. Kalsitin öğütme deney sonuçları ile hesaplanan değerler arasındaki ilişki

Kalsit öğütme deneylerinde karıştırma hızı, malzeme doluluk oranı, bilya doluluk oranı ve öğütme yardımcısı miktarı parametrelerinin yüksek değerlerinin test edildiği a, b, c, d deney şartlarının toplam etkisi [TE] Şekil 4’de incelenmiştir. Karıştırma hızı (a), bilya doluluk oranı (c) ve öğütme yardımcısı miktarı (d) parametrelerinin ürünlerin -5 µm miktarları (%) üzerinde pozitif etkiye, malzeme doluluk oranının (b) ise negatif etkiye sahip olduğu tespit edilmiştir.

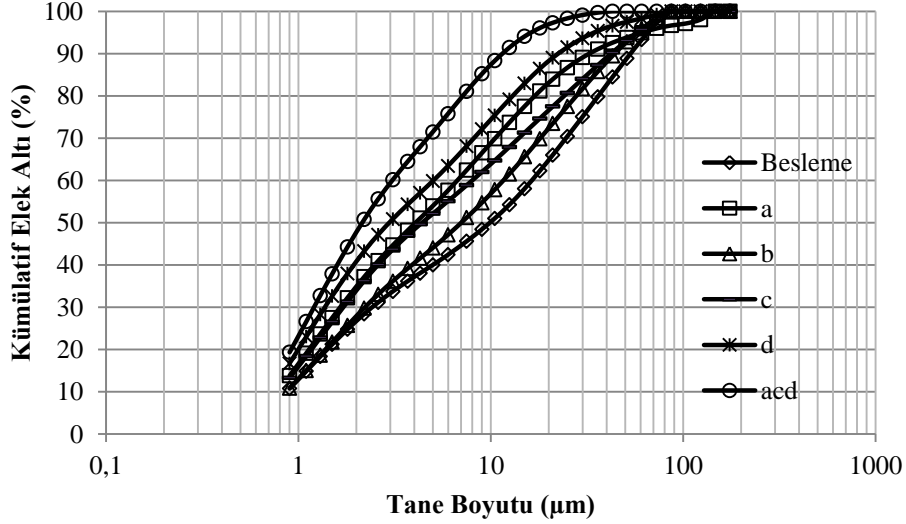
Öğütme deneyleri etki değerine göre incelendiğinde  $d > a > c > b$  olarak ifade edilebilir. Ayrıca ab, ad, cd, abc, acd, bcd deneyleri pozitif etkiye sahiptir, diğer yandan ac, bc, bd ve abcd deneyleri ise negatif etkiye sahiptir.



Şekil 4. Kalsitin öğütülmesinde parametrelerin etkisi (a- Karıştırma hızı, b- Malzeme doluluk oranı, c- Bilya doluluk oranı, d- Öğütme yardımcısı miktarı)

S. ÇAYIRLI

Kalsit öğütme deneyleri sonucunda beslenen malzeme ile karıştırma hızı, malzeme doluluk oranı, bilya doluluk oranı ve öğütme yardımcısı miktarı parametrelerinin yüksek değerlerinin test edildiği a, b, c, d ve en iyi deney sonucu olan acd'nin beslemeye göre karşılaştırması Şekil 5 ve Tablo 5'de verilmiştir.



Şekil 5. Besleme malzemesi ile a, b, c, d ve acd deney şartı sonuçlarının boyut dağılım eğrileri

Tablo 5. Besleme malzemesi ile a, b, c, d ve acd deney şartı sonuçlarının bir karşılaştırması

	$S_v$ ( $m^2/cm^3$ )	$d_{10}$ ( $\mu m$ )	$d_{50}$ ( $\mu m$ )	$d_{90}$ ( $\mu m$ )	-5 $\mu m$ (%)
Besleme	2,13	0,87	9,89	53,46	40,03
a	2,75	0,79	4,08	32,81	52,60
b	2,25	0,87	7,05	44,17	44,07
c	2,65	0,80	4,40	42,25	52,14
d	3,14	0,74	2,98	22,57	59,89
acd	3,63	0,71	2,15	11,58	71,49

#### 4. SONUÇLAR

Bu çalışmada, kalsitin mikronize boyutlara kuru olarak karıştırılmalı bilyalı değirmende öğütülebilirliği incelenmiştir. Bu kapsamda karıştırma hızı, malzeme doluluk oranı, bilya doluluk oranı ve öğütme yardımcısı miktarı parametrelerinin -5  $\mu m$  malzeme miktarı (%) üzerine etkileri araştırılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır:

- Karıştırma hızı, malzeme doluluk oranı, bilya doluluk oranı ve öğütme yardımcısı miktarı parametrelerinin ürünlerin -5  $\mu m$  malzeme miktarı (%) üzerine pozitif etkiye sahip oldukları gözlemlenmiştir.
- 1120 d/d karıştırma hızı, 0,05 malzeme doluluk oranı (fc), 0,70 bilya doluluk oranı (J) ve %0,50 öğütme yardımcısı miktarı optimum koşullar olarak tespit edilmiştir.
- -5  $\mu m$  malzeme miktarı %40,03 olan kalsit numunesi %71,49'a yükseltilmiştir. Bununla birlikte; 2,13  $m^2/cm^3$  yüzey alanına sahip ( $d_{50} = 9,89 \mu m$ ) olan kalsit numunesi, 3,63  $m^2/cm^3$  yüzey alanına sahip bir ürün ( $d_{50} = 2,15 \mu m$ ) olarak elde edilmiştir.
- Deneylerden elde edilen -5  $\mu m$  malzeme miktarı (%) ile hesapla bulunan -5  $\mu m$  malzeme miktarı (%) arasındaki ilişki korelasyon katsayısı ( $R^2$ ) 1 olarak bulunmuştur.

#### TEŞEKKÜR

Yazar, deneysel çalışmalarda kullanılan malzemelerin temin edilmesinde Niğtaş Mikronize Ltd. Şti.'ne, tane dağılımı analizlerinin yapılmasında Mikron'S Mikronize Mineral End. ve Tic. A.Ş.'ye sağlanmış oldukları imkânlardan dolayı teşekkürlerini sunar.

*KALSİTİN KARIŞTIRMALI BİLYALI DEĞİRMENDE KURU MİKRONİZE ÖĞÜTÜLMESİNDE BAZI İŞLEM PARAMETRELERİNİN ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI*

**KAYNAKLAR**

- [1] DPT, Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı Plastik Ürünleri Sanayi Özel İhtisas Komisyonu Raporu (Asbest-Grafit-Kalsit-Florit-Titanyum), 2618 - ÖİK: 629, Ankara, 2001.
- [2] UÇURUM, M., TORAMAN, Ö.Y., ÇAYIRLI, S., "Dolgu Minerali Kalsitin Yüzey Modifikasyonunda Kullanılan Pimli Değirmen ve Prosesi", V. Maden Makinaları Sempozyumu, 8-13. Eskişehir, Türkiye, 2015.
- [3] ŞAHİN, N., Endüstriyel Hammadde Olarak Kalsit ( $\text{CaCO}_3$ ) ve Cevher Hazırlaması, MTA Genel Müdürlüğü Derleme Rap. No:10294, Ankara, 1999.
- [4] ÖZDEMİR K.S., ÖZDEMİR E., "Delikli Nano  $\text{CaCO}_3$  Üretimi", 3. Sanayi Şurası, 2-8. Ankara, 2013.
- [5] UÇURUM, M., "Kaplı Kalsit Üretimi ve Ürün Özellikleri", MT Bilimsel Yer Altı Kaynakları Dergisi, 6, 1-10, 2014.
- [6] MANKOSA, M.J., Investigation of Operating Conditions in Stirred Ball Milling of Coal, M.S. Thesis, Faculty of the Virginia Polytechnic Institute and State University, 1986.
- [7] STEHR, N., "Recent Developments in Stirred Ball Milling", International Journal of Mineral Processing, 22, 431-444, 1988.
- [8] [http://www.unionprocess.com/tech\\_papers/Attritor%20Grinding%20Mills%20and%20New%20Developments.pdf](http://www.unionprocess.com/tech_papers/Attritor%20Grinding%20Mills%20and%20New%20Developments.pdf). (erişim tarihi 24.01.2017).
- [9] KWADE, A., "Wet Comminution in Stirred Media Mills-Research and its Practical Application", Powder Technology, 105, 14-20, 1999.
- [10] TORAMAN, Ö.Y., SÖNMEZ, A.S., "Mikronize Öğütmede Havalı Ayırıcıların Tasarım Değişkenleri", Niğde Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 1, 30-36, 2012.
- [11] ÖZENSOY, E., Teknolojik ve Bilimsel Araştırmalarda Modern Deney Tasarımcılığı ve Optimizasyon Yöntemleri, MTA Eğitim serisi: 24, Ankara, 1982.
- [12] MILTON J.S., ARNOLD, J.C., Introduction to Probability and Statistics Principles and Applications for Engineering and The Computing Sciences, Functional Experiments (pp. 604-655), 1995.
- [13] ARSLAN, V., BAYAT, O., "Feldspattaki Demirin Oksalik Asit Liçi ile Uzaklaştırılması", Madencilik, 47, 35-41, 2008.
- [14] YOĞURTCUOĞLU, E., UÇURUM, M., "Surface Modification of Calcite by Wet-Stirred Ball Milling and its Properties", Powder Technology, 214, 47-53, 2011.
- [15] TORAMAN, O.Y., "Dry Fine Grinding of Calcite Powder by Stirred Mill", Particulate Science and Technology, 31, 205-209, 2013.