

Kaolenin kırılma parametrelerine malzeme doluluk oranının etkisi

Effect of fractional powder filling on breakage parameters of kaolinite

Serhan HANER^{1*} 

¹İş Sağlığı ve Güvenliği Bölümü, Dinar Uygulamalı Bilimler Yüksekokulu, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Afyonkarahisar, Türkiye.
serhan.haner@gmail.com

Geliş Tarihi/Received: 08.07.2017, Kabul Tarihi/Accepted: 06.01.2018

* Yazışılan yazar/Corresponding author

doi: 10.5505/pajes.2018.74436

Araştırma Makalesi/Research Article

Öz

Bu çalışmada, malzeme doluluk oranının kaolen örneğinin kinetik modele dayalı öğütme özellikleri ve model parametrelerine etkileri araştırılmıştır. Bu amaçla, 0.106-0.045 mm arası $\sqrt{2}$ elek serisine göre 4 dar tane boyutu fraksiyonu hazırlanmıştır. Laboratuvar ölçekli değirmen ünitesinde, sulu öğütme ortamında 10 mm alümina bilya ile $f_c=0.072, 0.096, 0.120$ ve 0.144 malzeme yüklerinde ve %30 bilya yükünde farklı öğütme sürelerinde elde edilen tane boyutu dağılımlarından özgül kırılma hızı ve kümülatif kırılma dağılımı fonksiyonlarına ait model parametreleri (S_i, a_r, α, γ ve Φ_j) bulunmuştur. Testlerin sonucunda, azami kapasite açısından malzeme doluluk oranı (f_c) için en ideal boşluk doldurma oranı 1.00 olarak tespit edilmiştir.

Anahtar kelimeler: Öğütme, Kaolen, Kinetik model

Abstract

In this study, the effects on grinding conditions based on a kinetic model and model parameters of fractional powder filling were investigated on the kaolinite sample. For this purpose, firstly, four different mono-sized fractions were prepared between 0.106 and 0.045 mm formed by $\sqrt{2}$ sieve series. S_i and B_{ij} (breakage distribution function and related model parameter) equations were determined from the size distributions at different grinding period, and the model parameters (S_i, a_r, α, γ and Φ_j) 10 mm alumina ball and wet grinding medium, four different filling ratios ($f_c=0.072, 0.096, 0.120$ and 0.144) and 30% ball filling loads. The results of tests, the optimum interstitial filling ratio for material filling rate (f_c) in terms of maximum capacity is determined as 1.00.

Keywords: Grinding, Kaolin, Kinetic model

1 Giriş

Kaolen, alüminyum hidrosilikat bileşimli bir kil mineralidir. Kaolenin ürüne kattığı parlaklık, viskozite, aşınma direnci vs. gibi özelliklerden dolayı kağıt, seramik, boya, plastik, mürekkep, lastik, cam elyaf gibi alanlarda yüksek miktarlarda kullanılmaktadır. Kağıt ve seramik kalitesindeki kaolenler genelde sulu değirmenlerde öğütülmektedir [1],[2]. Ancak değirmenlerde mikronize öğütme işlemi için harcanan süre ve dolayısıyla enerji tüketimi önemli yer tutmaktadır. Cevher hazırlama tesislerinde, birinci kademe öğütmede 2-4 kWh/t, ince öğütmede 5-20 kWh/t, çok ince öğütmede 20-100 kWh/t, 10 mikronun altındaki öğütmede ise 100-1000 kWh/t civarında enerji tüketilmektedir [3]. Öğütme işleminden en üst seviyede öğütme miktarının elde edilmesi ve ton başına en düşük seviyede enerji tüketimi beklenmektedir. Bu nedenle, öğütme devrelerinin tasarımı oldukça önemlidir.

Öğütme işlemi verimli kılmak amacıyla, değirmen içinde oluşan mikro düzeydeki farklı kırılma olaylarının incelenmesi temeline dayanan matematiksel modeller geliştirilmiştir. Bu modellerden biri olan kinetik modelde, her bir malzemenin kırılma ve dağılımı özelliklerini tanımlayan parametreler tespit edilerek kırılma hızını ve kırılma dağılımını tanımlayan matematiksel ifadeler geliştirilmiştir [4]. Bu ifadelerle öğütme işlemi sonunda elde edilecek ürünün tane boyutu dağılımı ile miktarının hesaplanması mümkün olmaktadır.

Bilyalı değirmenlerde özgül kırılma hızı ve kümülatif kırılma dağılımı terimlerini içeren boyut küçültme yaklaşımları kullanılmaktadır. Özgül kırılma hızının (S_i), değirmen içerisindeki malzemenin kırılma/öğütülme karakteristiği ile doğrudan ilişkisi bulunmaktadır. Malzemenin kırılma hızı; hammadde tane boyutu, bilya ve malzeme doluluk oranı, bilya çapı, bilya sertliği ve bilya yoğunluğu ile değişmektedir. Malzeme doluluk oranı ve bilya doluluk oranının fazla veya az

olması durumunda öğütme enerjisinin bir kısmı gereksiz yüzeylerde harcanmaktadır. Dolayısıyla bu durum kırılma hızının yavaşlamasına ve normale göre daha düşük bir S_{fc} değerinin oluşmasına sebep olmaktadır. En yüksek kırılma hızı için, malzeme ile bilya doldurma miktarı arasındaki oranın ($f_c/0.4$) yani U değerinin 0.6 ile 1.1 arasında olduğu belirlenmiştir [4].

Araştırmacılar tarafından, -3.35+0.106 mm arasındaki çeşitli tane boyutlarında sınıflandırılmış olan kalsit, barit, kolemanit, boksit, amorf silika, kuvars, klinker, kireçtaşı, zeolit, krom, katı fosil yakıt ve kuvars-kaolin, kuvars-K feldispat, kaolin-K feldispat gibi hammadde karışımlarının öğütme parametreleri değerleri ile hammadde ve değirmen özelliklerine bağlı parametreler arasındaki ilişkilerin araştırıldığı çalışmalar mevcuttur [5]-[18]. Bu çalışmalar incelendiğinde, -0.850+0.106 mm tane boyutları için ince tane boyutu terimi kullanılmaktadır. Seramik endüstrisinin çalışma aralığındaki ultra ince sınıflandırılmış yani -0.106+0.045 mm tane boyutu aralığındaki hammaddelere ait kinetik model tabanlı detaylı bir öğütme çalışmasına rastlanmamıştır.

Seramik sağlık gereçleri sektöründe öğütme işlemi için bilyalı değirmenler kullanılmakta ve yaş öğütme tercih edilmektedir. Çanakçılar Seramik San. ve Tic. AŞ'de 20 ton kuru malzeme alabilecek kapasitedeki bilyalı değirmenlerde öğütücü ortam olarak 4-12 mm arasında değişen tane boyutlarındaki flint taşı kullanılmaktaydı. Şimdilerde ise flint taşı yerini alümina bilyaya bırakmıştır. Alümina bilya kullanılmasının amacı, bilya tüketimini ve bilyanın aşınmadan kaynaklanan kirliliği azaltmak ve daha etkin kırılma sağlayarak öğütme süresini düşürerek ton başına maliyeti azaltma gibi nedenlere bağlanabilir. Bu değirmenler için en verimli hammadde ve bilya doldurma oranlarının belirlenmesi için uzun süreçler alan deneme yanılma yöntemi izlenmektedir. Bu çalışmada, bu süreçleri kısaltmak, öğütme parametreleri ve değirmen

kapasitesi açısından azami malzeme ile bilya doldurma miktarı arasındaki oranın (U) tespit etmek amacıyla endüstriyel seramik hammaddesi olan Balıkesir Düvertepe bölgesi kaolen örneği kullanılarak kinetik model tabanlı öğütme çalışmaları yapılmıştır.

2 Teori

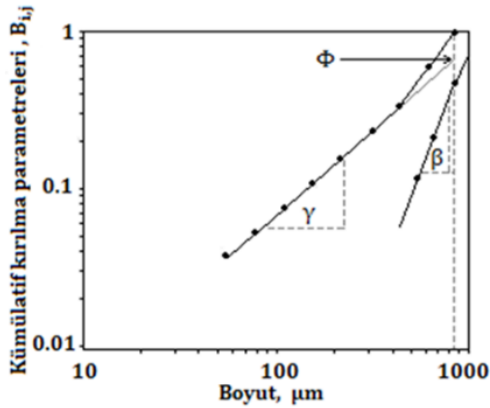
Özgül kırılma hızının formülü Denklem (1)'de verilmiştir [4].

$$S_i = a_T X_i \alpha \quad (1)$$

burada; a , hammaddeye ve öğütme koşullarına bağlı model parametre, X_i ise i fraksiyonundaki üst boyutu (mm) temsil etmektedir. Kümülatif kırılma dağılımı fonksiyonu ($B_{i,j}$), kırılan veya öğütülen malzemenin, boyut fraksiyonlarında nasıl bir dağılıma sahip olduğunu göstermektedir ve matematiksel ifadesi Denklem (2)'de verilmiştir.

$$B_{i,j} = \sum_{i=n}^{j+1} b_{i,j} \quad (2)$$

$B_{i,j}$ değerleri, BII yaklaşımı ile en kısa öğütme sürelerinden elde edilmiştir. Daha sonra, $B_{i,j}$ değerlerine karşılık nispi boyut (X_i/X_j) grafiği çizilmiştir (Şekil 1). Bu grafikten Φ , γ ve β model parametre değerleri hesaplanmıştır.



Şekil 1: Kırılma dağılım fonksiyonunun gösterimi [4].

$$B_{i,j} = \Phi_j (X_{i-1}/X_j)^\gamma + (1 - \Phi_j)(X_{i-1}/X_j)^\beta, 0 < \Phi_j < 1 \quad (3)$$

Burada; Φ_j , β ve γ hammaddeye bağlı model parametrelerdir. Bu model parametrelerin değerleri, farklı değirmen çapları, bilya oranları, vb. için aynı olup, hammadde özelliklerine göre farklılık göstermektedir [4].

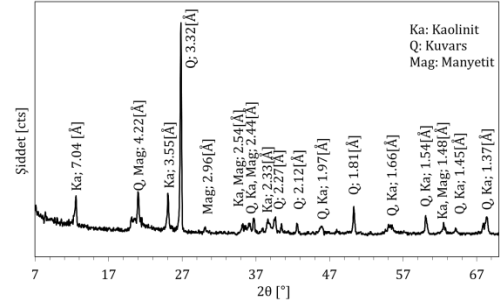
3 Malzeme ve metot

3.1 Malzeme

Deneysel çalışmalarda, endüstriyel seramik hammaddesi olan ve Düvertepe bölgesinde bulunan kaolen örneği kullanılmıştır. Bu hammaddenin piknometre ile ölçülmüş ortalama gerçek yoğunluk değeri 2.53 gr/cm³ ve 106 µm sınama boyutu için Bond iş indeksi değeri (W_i) 10.20 kWh/t olarak belirlenmiştir. Besleme numunesine ait kimyasal analiz ve X-ışınları kırınımı analizi (XRD) sonuçları sırasıyla Tablo 1 ve Şekil 2'de verilmiştir.

Tablo 1: Kaolenin kimyasal analiz sonuçları (ağırlıkça %).

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Na ₂ O	Fe ₂ O ₃	TiO ₂
68.05	21.70	0.01	0.60	0.42
CaO	MgO	K ₂ O	SO ₃	*K.K.
0.26	0.15	0.11	0.40	8.30



Şekil 2: Kaolen numunesinin X-ışınları kırınımı diyagramı [19].

3.2 Metot

Kaolen örneğinin, özgül kırılma hızı ve kümülatif dağılım fonksiyonlarına bağlı kinetik model parametrelerinin belirlenmesi için $\sqrt{2}$ elek serisine göre 4 farklı dar tane boyut fraksiyonunda (-106+90, -90+75, -75+63, -63+45 µm) sınıflandırılmıştır. Numunelerin kinetik modele dayalı öğütme deneylerinden elde edilen model parametrelerinin tespiti için 15x15cm çap ve uzunluğunda çelikten imal edilmiş değirmen, öğütücü ortam olarak ise 10 mm alümina bilya kullanılmış, sulu ortamda öğütme işlemi yapılmıştır. Hazırlanan her bir tane boyutu fraksiyonu, kırılma fonksiyonlarının belirlenmesi için kesikli olarak öğütülmüştür. Her öğütme süresi sonunda, değirmenin tamamı boşaltılmış ve numune alınmıştır. Tane boyut dağılımı Malvern marka Hydro 2000G model cihaz kullanılarak ölçülmüştür. Kullanılan bilyalı değirmen karakteristikleri ve deney koşulları Tablo 2'de verilmiştir. Deneylerde bilyalı değirmenin dönüş hızı, değirmenin kritik hız değerinin %75'i alınmıştır.

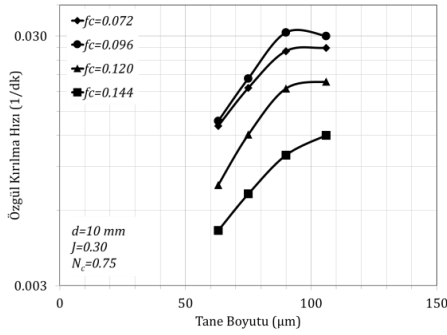
Tablo 2: Bilyalı değirmen karakteristikleri ve deney koşulları.

Değirmen	İç çap, mm	150			
	İç uzunluk, mm	150			
	Hacim, cm ³	2650.72			
	Çalışma hızı, dev/dk	85			
Bilya	Kalite	Alümina			
	Boyut, mm	10			
	Ortalama ağırlık, g	3.53			
	Özgül ağırlık, g/cm ³	3.70			
Malzeme	Hacim doluluğu, %	30			
	Gerçek yoğunluk, g/cm ³	2.53			
	Malzeme yükü, % f_c	0.072	0.096	0.120	0.144
	f_c 'ye göre boşluk	0.60	0.80	1.00	1.20
	doldurma oranı, % U				

4 Bulgular ve tartışma

4.1 Özgül kırılma hız fonksiyonlarının belirlenmesi

Kırılma hız fonksiyonlarını belirlemek için yapılan deneylerde örneklerin dört farklı besleme tane boyut fraksiyonu (-106+90, -90+75, -75+63, -63+45 µm) kullanılmıştır. Her bir tane boyut fraksiyonu için özgül kırılma hızları (S_i) birinci derece kırılma hız fonksiyonu grafiklerinden hesaplanmıştır. Değirmen çalışma koşullarından, farklı malzeme doluluk oranlarında ve farklı bilya türlerinde belirlenen S_i değerlerine karşı tane boyut fraksiyonu grafikleri çizilmiştir (Şekil 3). Bu grafiklerin doğrusal kısmından hesaplanan a_T ve α kırılma hız parametre değerleri Tablo 3'te verilmiştir.



Şekil 3: Farklı malzeme yükü için S_i eğrileri.

Tablo 3: Kaolenin farklı malzeme yükü için model parametreleri.

f_c (%)	U (%)	a_T	α	Φ_j	γ
0.072	0.60	1.12	1.32	0.756	3.207
0.096	0.80	1.54	1.41	0.771	3.139
0.120	1.00	1.78	1.67	0.790	3.106
0.144	1.20	1.02	1.66	0.731	3.670

S_i ya da a_T değeri arttıkça, etkin bir kırılmanın olduğu ve tanelerin alt boyutlara daha hızlı bir biçimde indiği anlaşılmaktadır.

Şekil 3'te, bütün malzeme yüklerinde kırılma hızlarının belirli bir tane boyutuna kadar arttığı ve bir azami değere ulaştıktan sonra azalmaya başladığı görülmektedir. 10 mm alümina bilya ile sulu ortamda gerçekleştirilen deneylerde, kırılma hızları yaklaşık 90 μm tane boyutunda azami değere ulaşmış ve sonra azalmaya başlamıştır. Pülpün viskozitesi, çok düşük veya yüksek olduğunda öğütme verimliliği azalmaktadır. Burada, pülpün viskozitesini tane boyutu etkilememektedir. Tane boyutu iliştiğinde, pülpün viskozitesi ve şarj içerisindeki enerji iletimi azalmıştır. Bunun sonucu olarak, öğütme bölgesindeki taneler zayıf konumda kalmış ve değirmenin etkinliği azalmıştır [20].

Şekil 3 için, dört farklı malzeme doldurma oranı aynı tane boyutuna göre değerlendirilirse, malzeme doldurma oranı arttıkça, birincil kırılma hızları azalmaya başlamıştır. Malzeme doldurma oranı arttıkça pülpün sahip olduğu viskozite artmakta ve öğütücü darbelerin yutulmasına bağlı olarak öğütme verimliliği azalmaktadır. Ayrıca düşük özgül ağırlığa ve yüzey alanına sahip olan 10 mm alümina bilyaların, değirmen içerisindeki malzeme miktarının artması ile bütün taneler üzerine yeterince öğütme enerjisi uygulayamadığı anlaşılmaktadır.

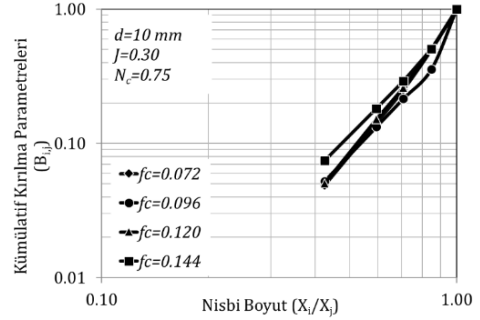
4.2 Kümülatif kırılma fonksiyonlarının belirlenmesi

B_{ij} değerlerinin normalize edilebildiği ve boyuttan bağımsız olduğu belirlenmiştir. Değirmen çalışma koşullarından, farklı malzeme doluluk oranlarında ve bilya doluluk oranlarında belirlenen B_{ij} değerlerine karşılık nispi boyut (X_i/X_j) grafikleri çizilmiştir (Şekil 4). Bu grafikten hesaplanan Φ_j ve γ model parametre değerleri Tablo 3'te verilmiştir.

γ değeri azaldıkça ince malzeme oranının arttığı ve Φ_j değeri arttıkça en üst boyutların bir alt boyuta daha hızlı kırıldığı anlaşılmaktadır.

Şekil 3, 4 ve Tablo 3 incelendiğinde, malzeme yükü arttıkça, a_T değerleri değirmen için ideal malzeme yükü olan $f_c=0.120$ 'de en yüksek değere ulaştığı tespit edilmiştir. γ değerinin ideal malzeme yükünde en düşük değere sahip olduğu belirlenmiştir. Bunun nedeni, azami malzeme doluluk oranında, bilyalar arasında çarpışma boşlukları en verimli oranda doldurulduğu

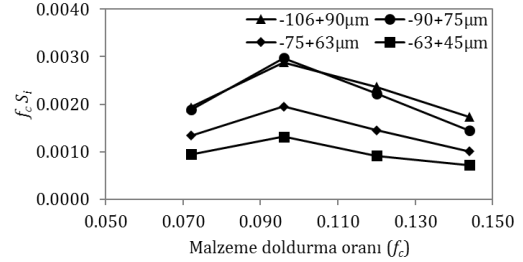
için yüksek kırılma hızları ve fazla miktarda ince malzeme elde edilmesidir [21].



Şekil 4: Farklı malzeme yükü için kümülatif kırılma dağılım fonksiyonları.

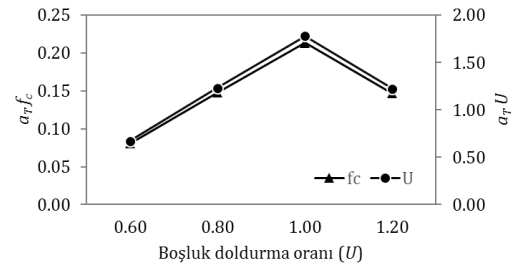
4.3 Malzeme doldurma oranı ile ilgili ilişkiler

Yapılan bu çalışmada, kaolenin kırılma parametrelerine malzeme doldurma oranının (f_c) etkisi incelendiğinden dolayı, değirmene beslenen malzeme miktarının bilinmesi önemlidir. Değirmen kapasitesi ile ilişkili olan bu durum için, S_iW veya $S_i f_c$ ile belirtilen mutlak kırılma hızının karşılaştırılması uygun olmaktadır [4],[22],[23]. Malzeme doldurma oranına (f_c) karşılık mutlak kırılma hızının ($f_c S_i$) grafiği çizilmiş ve sonuçlar Şekil 5'te verilmiştir.



Şekil 5: Malzeme doldurma oranı ile mutlak kırılma hızının değişimi.

Azami kapasitenin belirlenmesi için ise $a_T f_c$ ve $a_T U$ ile boşluk doldurma oranı yani U arasındaki ilişkiyi içeren grafik çizilmiş ve Şekil 6'da verilmiştir.



Şekil 6: Doldurma oranı ile ilgili ilişkiler.

Şekil 6'da azami kapasite değerinin $U=1$ 'de olduğu görülmektedir.

Şekil 5 incelendiğinde, tane boyut aralığının azalmasına bağlı olarak mutlak kırılma hızlarının beklenen şekilde azaldığı görülmektedir. Çatlak teorisine göre tanelerin boyutları küçüldükçe Griffith çatlaklarının azalmasına bağlı olarak dayanımları artmaktadır. İlaveten, geometrik etki nedeniyle küçük boyutlu tanelerin bilyalar tarafından kavranmaları daha zor olmaktadır. Bu durumlar nedeniyle kırılma hızlarında azalma olmaktadır. Ayrıca malzeme doldurma oranı açısından mutlak kırılma hızı değerlendirildiğinde, $f_c=0.096$ 'da en yüksek

değere ulaşmış ve sonrasında azalmaya başlamıştır. Azalan S_{fc} değeri, öğütmenin enerji kullanımı açısından verimsizliğini göstermektedir.

5 Sonuçlar

Dört farklı malzeme yükünde kaolen örneğinin farklı sürelerde öğütülmesi sonucunda, elde edilen verilerden çizilen grafiklerin lineer bir doğru verdiği ve birinci derece kırılma kinetiğine uyduğu gözlenmiştir. Bunun dışında, B_{ij} değerlerinin, tane boyutundan bağımsız olduğu da belirlenmiştir.

S_i değerlerinin ya da a_r değerinin büyük olması daha etkin bir kırılmanın olacağını ve orijinal parçanın daha çabuk alt boyuta indirgeneceği anlamına gelmekte olup, a_r değerlerinin yani kırılma hızının, malzeme yükü $f_c=0.120$ doluluk oranına kadar sırasıyla 1.12, 1.54, 1.78 şeklinde arttığı ancak sonrasında hızlı bir şekilde 1.02'ye düştüğü görülmüştür.

Φ_j değerinin artması sonucunda en üst boyutların bir alt boyuta daha hızlı kırıldığı anlaşılmaktadır. a_r değerleri ile aynı eğilimde olduğu ve $f_c=0.120$ doluluk oranına kadar sırasıyla 0.756, 0.771, 0.790 değerlerini aldığı görülmektedir.

Azami malzeme ile bilya doldurma miktarı arasındaki oranın (U) 1.00'da elde edildiği görülmektedir. $U=1$ 'de daha etkili kırılma olmuş ve orijinal parça daha hızlı alt boyutlara inmiştir. Bu sonuca varılmasında a_r 'nin en yüksek değer olan 1.78 olması etkilidir. En üst boyutların bir alt boyutta daha hızlı kırıldığı göstermek için kullanılan Φ_j değeri de $U=1$ 'de en yüksek değer olan 0.790'a ulaşmıştır.

y değeri küçüldükçe, ince malzeme miktarı artmaktadır. $U=1$ 'de en düşük değer olan 3.106 olduğunu ve en fazla miktarda ince malzeme elde edildiği anlaşılmaktadır.

Azami kapasite açısından malzeme doluluk oranı (f_c) için en ideal boşluk doldurma oranı 1.00 olarak tespit edilmiştir.

6 Teşekkür

Bu çalışma doktora tezimin bir kısmını içermektedir.

7 Kaynaklar

- [1] Devlet Planlama Teşkilatı. "Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Raporu". Devlet Planlama Teşkilatı, Ankara, Türkiye, 204, 2001.
- [2] ESAN. "ESAN". <http://www.esan.com.tr> (06.07.2017).
- [3] Yıldız N. Öğütme: Teorisi, Uygulaması Değirmenler ve Sınıflandırıcılar. Ankara, Türkiye, TMMOB Maden Mühendisleri Odası Yayınları, 1999.
- [4] Austin LG, Klimpel RR, Luckie PT. Process Engineering of Size Reduction: Ball Milling. New York, USA, AIME, 1984.
- [5] Deniz V. "The effects of ball filling and ball diameter on kinetic breakage parameters of barite powder". *Advanced Powder Technology*, 23(5), 640-646, 2012.
- [6] Deniz V. "An investigation on the effects of the ball filling on the breakage parameters of natural amorphous silica". *Advanced Powder Technology*, 27(4), 1272-1279, 2016.
- [7] Deniz V, Sütçü N. "Doğal amorf silikanın kinetik öğütme parametrelerine hacimsel bilya ve malzeme doluluk oranlarının etkisi". 5. *Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu*, İzmir, Türkiye, 13-14 Mayıs 2004.

- [8] Deniz V. "The effect of mill speed on kinetic breakage parameters of clinker and limestone". *Cement and Concrete Research*, 34, 1365-1371, 2004.
- [9] Aras A. Bazı Kayaçların Mekanik Özellikleri ile Öğütülebilirliğinin İlişkilendirilmesi. Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi, Konya, Türkiye, 2009.
- [10] İpek H, Ucbay Y, Yekeler M, Hoşten Ç. "Dry grinding kinetics of binary mixtures of ceramic raw materials by Bond milling". *Ceramics International*, 31, 1065-1071, 2005.
- [11] İpek H, Goktepe F. "Determination of grindability characteristics of zeolite". *Physicochemical Problems of Mineral Processing*, 47, 183-192, 2011.
- [12] Özkan A, Yekeler M. "Fine dry grinding of zeolite in a laboratory ball mill". *Particle & Particle Systems Characterization*, 20, 276-282, 2003.
- [13] Özkan A, Düzyol S, Uçbeyiy H, Ağaçayak T. "Krom cevherinin kuru ve yaş öğütme kinetiği ve pülplü yoğunluğunun etkisi". *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 12(1), 73-78, 2006.
- [14] Özkan A, Yekeler M, Çalkaya M. "Kinetics of fine wet grinding of zeolite in a steel ball mill in comparison to dry grinding". *International Journal of Mineral Processing*, 90, 67-73, 2009.
- [15] Yekeler M. "Bilyalı değirmenle kuvarsın yaş öğütülme kinetiği". *Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu*, İzmir, Türkiye, 21-22 Nisan 1995.
- [16] Samanlı S. Zonguldak-Çatalağzı Termik Santrali Katı Fosil Yakıtı Öğütme Kinetiğinin Araştırılması. Doktora Tezi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Zonguldak, Türkiye, 2008.
- [17] Erkreli F. Linyit ve Taşkömürlerinin Bilyalı Değirmenle Öğütme Parametrelerinin Karşılaştırılması. Doktora Tezi, Cumhuriyet Üniversitesi, Sivas, Türkiye, 2015.
- [18] Teke E. Kalsit ve Baritin İnce Öğütme Kinetiğinin Analizi. Doktora Tezi, Cumhuriyet Üniversitesi, Sivas, Türkiye, 1998.
- [19] Umucu Y, Haner S, Tunay T. "The investigation of effect of wet-dry grinding condition and ball types on kinetic model parameters for kaolin". *Journal of the Polish Mineral Engineering Society*, 35(1), 205-211, 2015.
- [20] Özkan A, Yekeler M. "Palp reolojisinin öğütme işlemine etkisi ve kontrolü". *Madencilik*, 40(1), 40-47, 2001.
- [21] Haner S. Seramik Sağlık Gereçleri Hammaddelerinin Öğütme ve Pişirim Şartlarının Ürünlerin Kalitesi Üzerine Etkileri. Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta, Türkiye, 2016.
- [22] Özgür I, Bozkurt V, İpek H. "Boşluk doldurma oranının kolemanit'in öğütme kinetiği üzerine etkisi". 5. *Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu*, İzmir, Türkiye, 13-14 Mayıs 2004.
- [23] Prasher CL. *Crushing and Grinding Process Handbook*. Great Britain, John Wiley & Sons Ltd., 1987.