

IMCET 2019

1969 2019
50. yıl
Anniversary

Türkiye 26. Uluslararası Madencilik
Kongresi ve Sergisi

26th International Mining
Congress and Exhibition of Turkey



Proceedings of the 26th International Mining Congress and Exhibition of Turkey

16-19

Nisan/April 2019

Antalya



TMMOB Maden Mühendisleri Odası
UCTEA Chamber of Mining Engineers

Editors:

Dr. Hakan BENZER
Dr. Namık AYDOĞAN
Dr. Mehmet KARADENİZ
Dr. Okay ALTUN
Dr. Hakan DÜNDAR
Dr. Mehtap GÜLSÜN KILIC
Dr. Ece KUNDAK
Dr. Emre YILMAZKAYA
Pelin KERTMEN

MALZEME DOLULUK ORANININ SİLİS KUMU KIRILMA PARAMETRELERİNE ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI
AN INVESTIGATION OF THE EFFECT ON BREAKAGE PARAMETERS OF SILICA SAND OF POWDER FILLING

S. Haner

Afyon Kocatepe Üniversitesi, İş Sağlığı ve Güvenliği Bölümü
(serhan.haner@gmail.com)

ÖZET

Bu çalışmada, malzeme doluluk oranının silis kumunun 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 silpeps 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_T, 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 Sözcükler: Öğütme, silis kumu, 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 silica sand. 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 $B_{i,j}$ (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_T, α, γ and Φ_j) 10 mm cylpebs 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, silica sand, kinetic model

GİRİŞ

Silis kumu veya kuvars kumu, kuvarşça zengin magmatik, metamorfik kayaların ayrışması sonucu oluşan, tane boyutları 2,00-0,05 mm arasında değişen kuvars (SiO_2) tanecikleridir. Silis kumları beyaz olup, demir oksit içeren kumların rengi pembeden kıza veya kahverengiye kadar değişir. Silisten oluşan silis kumu az miktarda kil, feldspat, demir oksitler ve karbonatlar içerebilirler. Seramik kalitesindeki silis kumları genelde sulu değirmenlerde öğütülmektedir. Ancak değirmenlerde mikronize öğütme işlemi için harcanan süre ve dolayısıyla enerji tüketimi önemli yer tutmaktadır. Öğütmede harcanan enerji 2-1000 kWsa/t aralığındadır. Harcanan enerji malzeme özelliklerine ve istenilen tane boyutuna bağlı olarak değişebilmekte olup, örneğin ince öğütme için 50 kWsa/t değerine kadar çıkılabilmektedir. 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 dağılma özelliklerini tanımlayan parametreler tespit edilerek kırılma hızını ve kırılma dağılımını tanımlayan matematiksel ifadeler geliştirilmiştir (Austin vd., 1984). 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 doluluk oranı, 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 ($f_c/0,4J$) yani U değerinin 0,6 ile 1,1 arasında olduğu belirlenmiştir (Austin vd., 1984).

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 (Aras, 2009; Deniz, 2004; Deniz ve Sütçü, 2004; Deniz, 2012; Deniz, 2016; Erkirelli, 2015; İpek vd., 2005; İpek ve Göktepe, 2011; Özkan ve Yekeler, 2003; Özkan vd., 2006; Özkan vd., 2009; Samanlı, 2008; Teke, 1998; Yekeler, 1995). Bu çalışmalar incelendiğinde, (-0,850+0,106) mm tane boyutları için ince tane boyutu terimi kullanılmaktadır. Literatürde ince sınıflandırılmış (-0,106+0,045) mm hammaddelere ait az sayıda kinetik model tabanlı öğütme çalışmalarına rastlanmamıştır (Haner vd., 2017; Haner, 2018a, 2018b; Umucu vd., 2015).

Bu çalışmada, öğütme parametreleri ve değirmen kapasitesi açısından azami malzeme ile bilya doldurma miktarı arasındaki oranı (U) tespit etmek amacıyla endüstriyel seramik hammaddesi olan silis kumu örneği kullanılarak kinetik model tabanlı öğütme çalışmaları yapılmıştır.

TEORİ

Bilyalı değirmenler için özgül kırılma hızı ve kümülatif kırılma dağılımı kavramlarını içeren boyut küçültme yaklaşımı kullanılmaktadır. Özgül kırılma hızının bir matematiksel formülü Austin vd. (1984) tarafından aşağıdaki gibi verilmiştir.

$$S_i = a_i X_i^\alpha \quad (1)$$

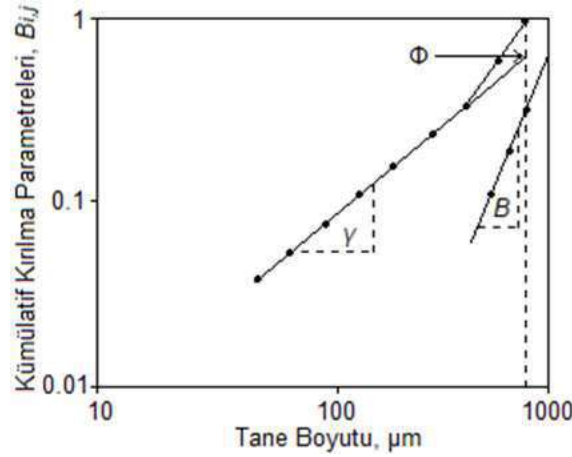
Burada; X_i : i fraksiyonundaki üst boyutu (mm), α ve a : öğütme şartlarına ve malzemenin özelliklerine bağlı olan model parametrelerdir. Kırılan veya öğütülen malzemenin hangi boyut fraksiyonlarına nasıl dağıldığı kümülatif kırılma dağılımı fonksiyonu olarak tanımlanmış ve aşağıda gösterilmiştir.

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

Kısa öğütme süresi verilerinden elde edilen boyut dağılım eğrisini temsil eden bu fonksiyon da, söz konusu parametreler Austin vd. (1984) aşağıda verilen, BII yaklaşımından elde edilen $B_{i,j}$, değerlerine karşı nispi boyut grafiği çizildiğinde bulunur (Şekil 1).

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

Burada; Φ_j , β ve γ malzemelerin özelliklerine bağlı olan model parametrelerdir. Bu parametreler, farklı bilya oranları, değirmen çapları vb. için aynı olup, farklı malzeme özelliklerinde farklıdır (Austin vd., 1984).



Şekil 1. Kırılma dağılım fonksiyonunun gösterimi

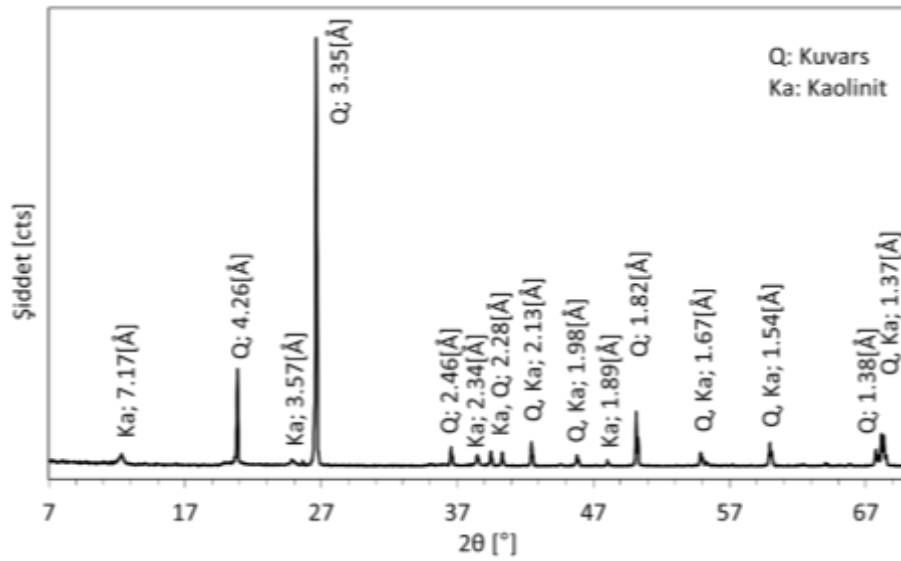
DENEYSEL ÇALIŞMALAR

DeneySEL çalışmada, kullanılan silis kumu örneğinin piknometre ile ölçülmüş ortalama gerçek yoğunluk değeri $2,67 \text{ gr/cm}^3$ ve 106 µm sına ma boyutu için Bond iş indeksi değeri (W_i) $18,74 \text{ kWh/t}$ olarak belirlenmiştir. Bu numunenin kimyasal analizi Perkin Elmer marka Optima 2100 DV model ICP-OES cihazında yapılmış ve sonuçlar Çizelge 1’de verilmiştir. Çizelge 1’de Al_2O_3 görülmektedir. Bu oksit, Şekil 2’de görülen kaolinit mineralinden kaynaklanmaktadır. Ayrıca silis kumunun lup ile incelenmesi sonucunda yaklaşık $20\text{-}30 \text{ µm}$ tane boyutuna sahip koyu renkli demirli minerallere rastlanmıştır.

Çizelge 1. Silis kumunun kimyasal analiz sonucu

| Oksit | Ağırlıkça % |
|-------------------------|-------------|
| SiO_2 | 92,42 |
| Al_2O_3 | 4,99 |
| Na_2O | - |
| Fe_2O_3 | 0,40 |
| TiO_2 | 0,38 |
| CaO | - |
| MgO | - |
| K_2O | 0,15 |
| SO_3 | - |
| Kızdırma Kaybı | 1,66 |

Silis kumunun mineralojik kompozisyonu Panalytical X’Pert Pro model X-Işını kırınımı (XRD) cihazında $7\text{-}70^\circ$ tarama aralığında, $2^\circ/\text{dk}$ tarama hızında, $\text{Cu K}\alpha$ ($45 \text{ kV}/40\text{mA}$) radyasyon ile belirlenmiştir. Şekil 2’deki XRD analizinde, ana mineralin kuvars [ICDD (01-079-1910)] olduğu görülmektedir. Çizelge 1’deki kimyasal analizde görülen Al_2O_3 içeriğinin kaolinit [ICDD (01-080-0886)] türü kil mineralinden kaynaklandığı görülmüştür. Kimyasal analiz ve lup ile incelemede tespit edilen demirli minerallerin miktarları çok az olduğu için XRD analizinde görülememiştir.



Şekil 2. Silis kumunun X-ışını kırınımı diyagramı

Silis kumunun, özgül kırılma hızı ve kümülatif dağılım fonksiyonlarına bağlı kinetik model parametrelerinin belirlenmesi için V2 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 silpeps 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 Çizelge 2’de verilmiştir. Deneylerde bilyalı değirmenin dönüş hızı, değirmenin kritik hız değerinin %75’i alınmıştır.

Çizelge 2. Bilyalı değirmen karakteristikleri ve deney koşulları

| | | |
|----------|---|-------------------------|
| Değirmen | İç çap, mm | 150 |
| | İç uzunluk, mm | 150 |
| | Hacim, cm ³ | 2650,72 |
| | Çalışma ($N_c^a = \%75$), d/d | 85 |
| Bilya | Malzeme | Silpeps (dökme demir) |
| | Boyut, mm | 10 |
| | Özgül ağırlık, g/cm ³ | 6,75 |
| | Hacim doluluğu, % ^b | 30 |
| Malzeme | Örnek | Silis kumu |
| | Özgül ağırlık, g/cm ³ | 2,67 |
| | Malzeme yükü, % f_c^c | 0,072 0,096 0,120 0,144 |
| | f_c^c 'ye göre boşluk doldurma oranı, % U^d | 0,60 0,80 1,00 1,20 |

$$^a N_c = 42,3/\sqrt{D - d} \quad (D, d \text{ in metres})$$

$$^b J = ((\text{mass of balls}/\text{ball density})/(\text{mill volume})) \times (1,0/0,6)$$

$$^c f_c = (\text{mass of powder}/\text{powder density})/(\text{mill volume})$$

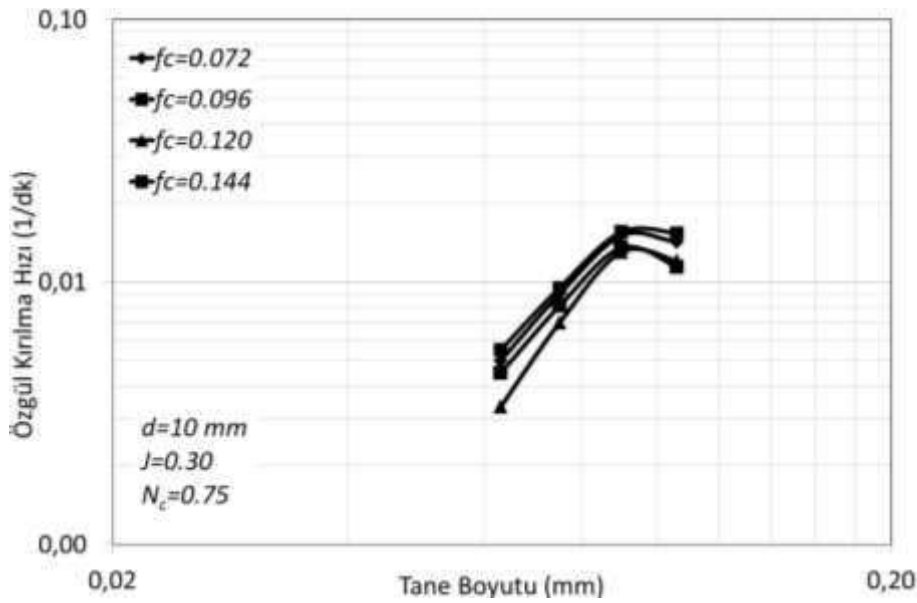
$$^d U = f_c/0,4$$

SONUÇLAR VE TARTIŞMA

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 Çizelge 3'te verilmiştir.

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



Şekil 3. Farklı malzeme yükü için S_i eğrileri

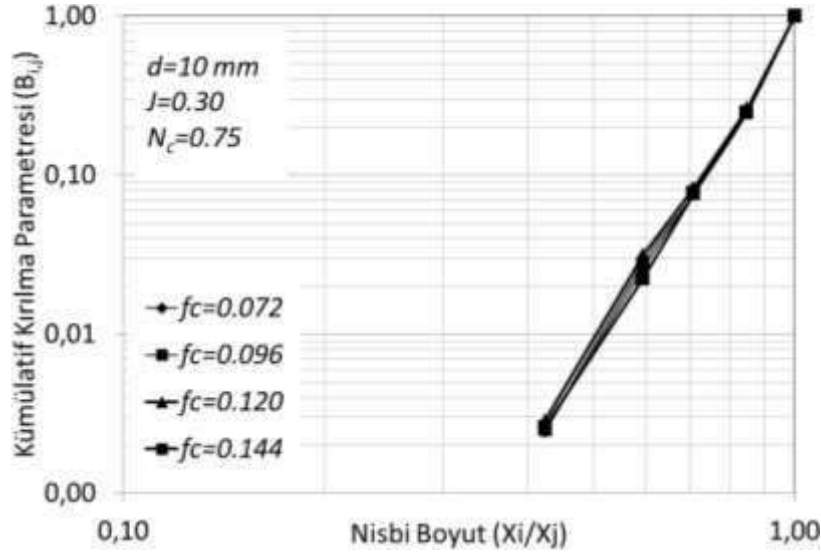
Şekil 3'de, malzeme yüklerinde kırılma hızlarının belirli bir tane boyutuna kadar arttığı ve bir maksimum değere ulaştıktan sonra azalmaya başladığı görülmektedir. Bu değer yaklaşık 90 μm tane boyutunda maksimuma ulaşmış ve sonra azalmaya başlamıştır. 90 μm tane boyutunun üzerindeki malzeme başlangıçta hızlı, daha sonra yavaşlayan bir hız ile kırılmıştır. Pülpün viskozitesi, çok düşük veya yüksek olduğunda öğütme verimliliği azalmaktadır. Burada, pülpün viskozitesini tane boyutu etkilemektedir. Tane boyutu irileştikçe, pülpün viskozitesi azalmış ve şarj içerisindeki enerji iletiminin ve öğütme bölgesindeki tanelerin zayıf konumda kalmasına neden olarak değirmenin etkinliği azalmıştır (Özkan ve Yekeler, 2001). Malzeme doluluk oranlarına göre değişik dar besleme tane boyut fraksiyonları için birinci derece kırılma kinetiğine uyduğu görülmüştür.

Tane boyutuna bağlı kırılma hızlarına bakıldığında, tane boyutu büyük olan malzemenin birincil kırılma hızı daha yüksek olduğu da görülmüştür. Bunun sebebi, tane boyutu inceldikçe; kırılmaya etken olan düzensiz gelişmiş çatlakların azalması, geometrik etki nedeniyle bilyalar tarafından tanelerin kavranmalarının zorlaşması, yaklaşık 20-30 μm tane boyutuna sahip koyu renkli demirli minerallerin tane boyut aralığına yaklaşılmış olması söylenebilir. Ayrıca 90 μm tane boyutlarından sonra kırılma hızındaki düşüşün sebebi, bu tane boyut aralıkları için kaolen miktarının daha düşük ve kuvars miktarının daha yüksek olmasıdır.

Kümülatif Kırılma Fonksiyonlarının Belirlenmesi

$B_{i,j}$ değerlerinin normalize edilebildiği ve boyuttan bağımsız olduğu belirlenmiştir. Değirmen çalışma koşullarından, farklı malzeme doluluk oranlarında ve bilya doluluk oranlarında belirlenen $B_{i,j}$ değerlerine karşılık nispi boyut (X_i/X_j) grafikleri çizilmiştir (Şekil 4). Bu grafikten hesaplanan Φ_j ve γ model parametre değerleri Çizelge 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 4. Farklı malzeme yükü için kümülatif kırılma dağılım fonksiyonları

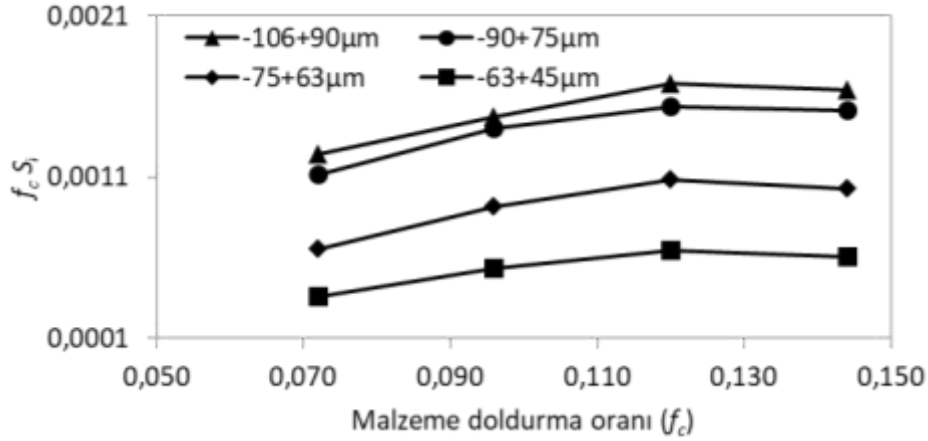
Çizelge 3. Silis kumunun farklı malzeme yükü için model parametreleri

| f_c (%) | U (%) | a_T | α | Φ_j | γ |
|-----------|---------|-------|----------|----------|----------|
| 0,072 | 0,60 | 1,40 | 1,69 | 0,818 | 6,763 |
| 0,096 | 0,80 | 1,52 | 1,70 | 0,858 | 6,773 |
| 0,120 | 1,00 | 1,78 | 2,13 | 0,900 | 6,670 |
| 0,144 | 1,20 | 0,73 | 1,48 | 0,732 | 6,603 |

Şekil 3, 4 ve Çizelge 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 değeri $f_c=0,120$ 'de azalmış yani ince malzeme miktarı artmıştır. Φ_j değerinin de a_T değeri ile paralel olarak değiştiği gözlenmektedir. Kırılma hızı değerlerine bakıldığında, en düşük ($f_c=0,072$) ve en yüksek ($f_c=0,144$) malzeme doldurma oranlarında düşük kırılma hızı değerleri elde edilmiştir. $f_c=0,120$ 'de daha yüksek kırılma hızı değerlerinin elde edilmesinin nedeni, pülp yoğunluğuyla alakalıdır. $f_c=0,120$ 'nin sahip olduğu pülp yoğunluğu değerine kadar, artan yoğunluk ile kırılma hızlarında görülen artış, bilya-bilya çarpışma bölgesinde daha yüksek katı içeriğinin toplanmasından ileri gelmektedir. Ancak, bu pülp yoğunluğu değerinin üzerinde ve altında ise kırılma hızında azalma görülmektedir. Bunların nedeni olarak, yüksek pülp yoğunluğu nedeniyle viskozitenin artışı sonucu değirmendeki malzeme akış koşullarının zorlaşması ve düşük pülp yoğunluğunda ise enerji iletiminin sağlanamamasından olduğu söylenebilir.

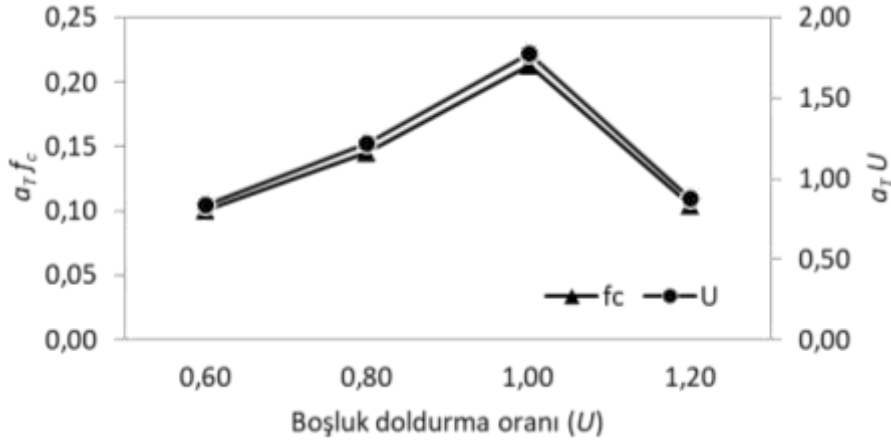
Malzeme Doldurma Oranı İle İlgili İlişkiler

Yapılan bu çalışmada, silis kumunun 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 Sif_c ile belirtilen mutlak kırılma hızının karşılaştırılması uygun olmaktadır (Austin vd., 1984; Özgür vd., 2004; Prasher, 1987). Malzeme doldurma oranına (f_c) karşılık mutlak kırılma hızının (f_cS_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_Tf_c ve a_TU ile boşluk doldurma oranı yani U arasındaki ilişkiyi içeren grafik çizilmiş ve Şekil 6'da verilmiştir.



Şekil 6. Doldurma oranı ile ilgili ilişkiler

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. İlaveeten, 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, $f_c=0,120$ 'de en yüksek değere ulaşmıştır. Artan Sif_c değeri, öğütmenin enerji kullanımı açısından verimliliğini göstermektedir.

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

YORUM

Dört farklı malzeme yükünde silis kumu 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_T değerinin büyük olması daha etkin bir kırılmanın olacağını ve orijinal parçanın daha çabuk alt boyuta indirgeneceği anlamına gelmekte olup, a_T değerlerinin yani kırılma hızının, malzeme yükü $f_c=0,120$ doluluk oranına kadar sırasıyla 1,40, 1,52, 1,78 şeklinde arttığı ancak sonrasında hızlı bir şekilde 0,73'e düştüğü görülmüştür.

Φ_j değerinin artması sonucunda en üst boyutların bir alt boyuta daha hızlı kırıldığı anlaşılmaktadır. a_T değerleri ile aynı eğilimde olduğu ve $f_c=0,120$ doluluk oranına kadar sırasıyla 0,818, 0,858, 0,900 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_T 'nin en yüksek değer olan 1,78 olması etkilidir. En üst boyutların bir alt boyutta daha hızlı kırıldığını göstermek için kullanılan Φ_j değeri de $U=1'$ de en yüksek değer olan 0,900'a ulaşmıştır.

y değeri küçüldükçe, ince malzeme miktarı artmaktadır. $U=1,20'$ de en düşük değer olan 6,603 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.

KAYNAKLAR

- Aras, A. (2009). Bazı kayaçların mekanik özellikleri ile öğütülebilirliğinin ilişkilendirilmesi. Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi, Konya.
- Austin, L.G., Klimpel, R.R., Luckie PT. (1984). Process engineering of size reduction: Ball milling. New York, USA, AIME.
- Deniz, V. (2004). The effect of mill speed on kinetic breakage parameters of clinker and limestone. Cement and Concrete Research, 34, 1365–1371.
- Deniz, V., Sütçü, N. (2004). Doğal amorf silikanın kinetik öğütme parametrelerine hacimsel bilya ve malzeme doluluk oranlarının etkisi. 5. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu (s. 13-14). İzmir.
- Deniz, V. (2012). The effects of ball filling and ball diameter on kinetic breakage parameters of barite powder. Advanced Powder Technology, 23, 640-646.
- Deniz, V. (2016). An investigation on the effects of the ball filling on the breakage parameters of natural amorphous silica. Advanced Powder Technology, 27, 1272-1279.
- Erkırelli, F. (2015). Linyit ve taşkömürlerinin bilyalı değirmenle öğütme parametrelerinin karşılaştırılması. Doktora Tezi, Cumhuriyet Üniversitesi, Sivas.
- Haner, S. (2017). An investigation of grinding characteristics of Na-feldspar by means of the kinetic model parameters. Sigma Journal of Engineering and Natural Sciences, 35, 275-282.
- Haner, S. (2018a). Kaolenin kırılma parametrelerine malzeme doluluk oranının etkisi. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 24, 1304-1307.
- Haner, S. (2018b). Silis kumunun kırılma parametrelerinde bilya türünün etkisinin araştırılması. Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 5, 1-7.
- İpek, H., Üçbaş, Y., Yekeler, M., Hoşten, Ç. (2005). Dry grinding kinetics of binary mixtures of ceramic raw materials by Bond milling. Ceramics International, 31, 1065-1071.

- İpek, H., Göktepe, F. (2011). Determination of grindability characteristics of zeolite. *Physicochemical Problems of Mineral Processing*, 47, 183-192.
- Özgür, I., Bozkurt, V., İpek, H. (2004). Boşluk doldurma oranının kolemanitin öğütme kinetiği üzerine etkisi. 5. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, İzmir.
- Özkan, A., Yekeler, M. (2001). Palp reolojisinin öğütme işlemine etkisi ve kontrolü. *Madencilik*, 40, 40-47.
- Özkan, A., Yekeler, M. (2003). Fine dry grinding of zeolite in a laboratory ball mill. *Particle & Particle Systems Characterization*, 20, 276-282.
- Özkan, A., Düzyol, S., Uçbeyiay, H., Ağaçayak, T. (2006). Krom cevherinin kuru ve yaş öğütme kinetiği ve pülp yoğunluğunun etkisi. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 12, 73-78.
- Özkan, A., Yekeler, M., Çalkaya, M. (2009). 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.
- Prasher, C.L. (1987). *Crushing and grinding process handbook*. Great Britain, John Wiley & Sons Ltd.
- Samanlı, S. (2008). Zonguldak-Çatalağzı termik santrali katı fosil yakıtı öğütme kinetiğinin araştırılması. Doktora Tezi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Zonguldak.
- Teke, E. (1998). Kalsit ve baritin ince öğütme kinetiğinin analizi. Doktora Tezi, Cumhuriyet Üniversitesi, Sivas.
- Umucu, Y., Haner, S., Tunay, T. (2015). 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, 205-211.
- Yekeler, M. (1995). Bilyalı değirmenle kuvarsın yaş öğütülme kinetiği. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, İzmir.