

**Presentation ID / Sunum No= 29**

**Oral Presentation / Sözlü Sunum**

*ORCID ID: 0000-0002-8579-078X*

## **Kaolen Numunesinin Bilyalı Değirmendeki Kırılma Hızına Silpeps Boyutunun Etkisinin İncelenmesi**

**Dr. Öğr. Üyesi Serhan HANER**

*Afyon Kocatepe Üniversitesi*

### **Özet**

Kaolen, alüminyum hidrosilikat bileşimli bir kil mineralidir. Kaolenin ürüne kattığı viskozite, aşınma direnci, parlaklık gibi özelliklerden dolayı seramik, boya, kağıt, plastik, cam elyaf gibi alanlarda yüksek miktarlarda kullanılmaktadır. Seramik endüstrisine uygun kalitedeki kaolenler öncelikle hammadde hazırlama süreçlerinin temel aşamalarından birisi olan öğütme işlemine tabi tutulmaktadır. Ancak değirmenlerde mikronize tane boyutlarına öğütme işlemi için harcanan enerji ve zaman kaybı ekonomik anlamda önemli bir yer tutmaktadır. Kaolen numunelerine seramik fabrikalarında feldispat ve kuvars kumu gibi özsüz hammaddeler ile birlikte öğütme işlemi uygulanmaktadır. Bu üçlü değirmen bileşeninin belirli bir tane boyutunun altına indirilmesi uzun süreler almaktadır. Bu gibi endüstrilerde kullanılan kaolen numunelerinin, istenilen tane boyutuna optimum sürede getirilmesi için doğru bilya boyutunun seçilmesi oldukça önemlidir. Bu çalışmada kaolen numunesinin kırılma hızı değerlerinin değişimi, üç farklı boyuttaki silpeps kullanılarak incelenmiştir. Bu amaçla, 0.090-0.053 mm aralığında  $4\sqrt{2}$  elek serisine göre üç dar tane boyut fraksiyonu hazırlanmıştır. Hazırlanan bu üç fraksiyondaki kaolen numunesi, 10x10, 20x20 ve 30x30 mm boyutlarındaki silpepsler ile farklı sürelerde öğütülmüştür. Öğütme periyotları sonunda elde edilen tane boyut dağılımlarından özgül kırılma hızı değerleri elde edilmiştir. Öğütme testleri sonucunda, bilya boyutunun artmasına bağlı olarak kırılma hızında artma gözlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Kaolen, Kırılma hızı, İnce öğütme, Ufalama

### **Investigating the Effect of Cylpebs Size of Breakage Rate of Kaolin in the Ball Mill**

#### **Abstract**

Kaolin is a clay mineral with aluminum hydrosilicate composition. It is used in high quantities in areas such as ceramics, paint, paper, plastic, glass fiber due to the properties such as viscosity, abrasion resistance, and brightness that kaolin adds to the product. Kaolins of suitable quality for the ceramic industry are first subjected to grinding, which is one of the basic stages of raw material preparation processes. However, the energy and time lost for grinding to micronized grain sizes in mills have an important place in economic terms. Kaolin samples are grinded together with other raw materials such as feldspar and quartz sand in ceramic factories. It takes a long time to reduce this triple mill component below a certain grain size. It is very important to choose the right ball size in order to bring the kaolin samples used in such industries to the desired grain size in the optimum time. In this study, the variation of the breakage rate values of the kaolin sample was investigated by using three different sizes of

cylpebs. For this purpose, three narrow grain size fractions were prepared according to the  $\sqrt[4]{2}$  sieve series in the range of 0.090-0.053 mm. The kaolin sample in these three fractions was ground with cylpebs of 10x10, 20x20 and 30x30 mm at different times. Specific rate of breakage values were obtained from the particle size distributions obtained at the end of the grinding periods. As a result of the grinding tests, an increase in the breaking rate was observed depending on the increase in ball size.

**Keywords:** Kaolin, Breakage rate, Fine grinding, Comminution

## 1. GİRİŞ

Alüminyum hidrosilikat bileşimine sahip olan kaolen, seramik, kağıt, cam, boya, plastik gibi endüstrilerde ürünlere kattığı birçok özelliklerden dolayı vazgeçilmez bir hammadde olmuştur. Seramik endüstrisine uygun kaliteye sahip kaolenler çoğunlukla sulu olarak değirmenlerde öğütülmektedir. 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 öğütmelerde ise 100-1000 kWh/t civarında enerji tüketilmektedir (Yıldız, 1999). 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.

Seramik sağlık gereçleri fabrikaları tarafından temin edilen hammaddeler genellikle -2 mm altındaki tane boyutlarına sahiptir. Bu sebeple hammaddeler seramik çamuruna katılmadan önce öğütülmektedir. Şimdilerde öğütme işlemi için genellikle alümina bilyalar tercih edilmektedir. Öğütme işlemi ile kaolen, kuvars ve feldispat karışımı 0.060 mm tane boyutunun altında indirilir. Seramik sağlık gereçleri, karo ve sofr seramikleri gibi geleneksel seramik ürünler üreten fabrikalarda orta seviyede öğütme (P80; 0.040 to 0.40 mm) işlemi için bilyalı değirmenler tercih edilmektedir. Öğütme işlemi 0.1 mm tane boyutunun altında olduğundan dolayı kullanılan enerjinin büyük bir kısmı ısı enerjisine dönüşmektedir. Ekonomik açıdan öğütme verimliliğinin azaldığı bu ince tane boyutlarında bilyalı değirmenlerin özgül enerjileri üstel olarak artış göstermektedir.

Araştırmacılar tarafından, -3.35+0.106 mm arasındaki çeşitli tane boyutlarında sınıflandırılmış olan krom, katı fosil yakıt, boksit, kalsit, barit, kolemanit, klinker, amorf silika, kuvars, kireçtaşı, zeolit 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; Erkırelli, 2015; İpek vd., 2005; 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. Seramik endüstrisinin çalışma aralığındaki ultra ince sınıflandırılmış yani -0.090 mm tane boyutu altındaki hammaddelere ait az sayıda öğütme çalışmasına rastlanmıştır.

Öğütücü bilya boyutu, bilyalı değirmenlerde öğütme kapasitesini ve öğütmenin verimini etkileyen önemli bir değişkendir. Bilyalı değirmende bilya boyutu seçimi ile ilgili literatürde bazı çalışmalar vardır. Ayrıca bazı hammaddelere ait kırılma hızı parametrelerinin araştırmaları da mevcuttur (Austin vd., 1976; Bond, 1958; Barani ve Balochi, 2016; Haner, 2020; Yusupov vd., 2003).

Bu çalışmada, farklı boyutlardaki silpepsin kaolen numunesinin kırılma hızına ( $S_i$ ) etkisi araştırılmıştır. Öğütme çalışmalarında kullanılan kaolen, özel bir seramik şirketi tarafından temin edilmiştir. Kaolenin kırılma hızının değişimi 10x10, 20x20 ve 30x30 mm boyutlarındaki silpeps kullanılarak incelenmiştir. Kuru ortamda gerçekleştirilen öğütme deneyleri için değirmendeki bilya doluluk oranı ( $J$ ) 0.35, malzeme doluluk oranında ( $f_c$ ) 0.120 alınmıştır. Bu amaçla, Lynch tarafından temeli oluşturulan ve Austin tarafından geliştirilen kinetik model uygulanmıştır. Kinetik model tabanlı öğütme çalışmaları ile laboratuvar çapında elde edilen değerler, endüstriyel ortamda benzetime uygundur.

## 2. MALZEME VE METOT

Öğütme çalışmalarında kullanılan kaolen, özel bir seramik şirketten temin edilmiştir. Kaolen numunesine ait kimyasal analiz değerleri Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Kaolen Numunesinin Kimyasal Analiz Sonucu

| SiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | K <sub>2</sub> O | Na <sub>2</sub> O | CaO  | MgO  | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | TiO <sub>2</sub> | SO <sub>3</sub> | *K.K |
|------------------|--------------------------------|------------------|-------------------|------|------|--------------------------------|------------------|-----------------|------|
| 65.23            | 24.16                          | 0.05             | 0.07              | 0.11 | 0.03 | 0.41                           | 0.15             | 0.21            | 9.58 |

## \*K.K. Kızdırma Kaybı

Bu çalışmada, kaolen numunesinin üç dar tane boyut fraksiyonundaki özgül kırılma hızı değerleri ( $S_i$ ) belirlenmiştir. Bunun için kaolen numunesi  $4\sqrt{2}$  elek serisine göre  $-0.090+0.075$ ,  $-0.075+0.063$ ,  $-0.063+0.053$  mm tane boyut aralıklarında hazırlanmıştır. Deneysel çalışmalarda  $150 \times 150$  mm (çapxuzunluk) ölçüsüne sahip ve çelik malzemeden üretilmiş laboratuvar boyutlu bir bilyalı değirmen kullanılmıştır. Bilyalı değirmen içerisinde tercih edilen öğütücü ortam ise  $10 \times 10$ ,  $20 \times 20$  ve  $30 \times 30$  mm çapındaki silpepler olmuştur.  $4\sqrt{2}$  elek serisine göre hazırlanmış olan her bir dar tane boyut aralığı, kırılma fonksiyonlarının belirlenmesi için kesikli olarak öğütülmüştür. Her bir öğütme periyodu (1, 2, 4, 8, 16, 32 ve 64 dakika) sonrası değirmen içerisindeki kaolen numunesinin tamamı boşaltılmış ve tane boyutu ölçümünün yapılabilmesi için bir miktar temsili örnek alınmıştır. Tane boyut dağılımlarının tespiti amacıyla Malvern Hydro 2000G marka ve model cihaz kullanılmıştır. Zamana karşılık her bir öğütme periyodu sonucu en üst tane boyutu aralığında kalan malzeme fraksiyonlarının öğütme sürelerine karşı yarı logaritmik grafikleri çizilmiştir. Birinci derece kırılma bölgesi, bu grafiğin doğrusal bir şekilde azaldığı bölge ile temsil edilmektedir. Birinci derece kırılma bölgesindeki doğrunun eğimi bize malzemenin o tane boyut aralığındaki özgül kırılma hızını vermektedir. Özgül kırılma hızına ait formül Eşitlik 1’de görülmektedir.

$$S_i = a(x_i/1 \text{ mm})^\alpha Q_i \quad (1)$$

Eşitlik 1’de verilen “a” sembolü, model parametresidir. Bu parametre, hammadde ve öğütme şartlarına bağlıdır. “ $x_i$ ”, i fraksiyonundaki üst boyutu (mm) sembolize etmektedir.  $Q_i$  düzeltme faktörüdür ve küçük boyutlu taneler için 1 olarak alınır.  $\alpha$  değeri pozitif bir sayıdır ve malzeme özelliklerine bağlı olarak 0.5 ile 1.5 arasında değişir (Austin vd., 1984).

Deneysel çalışmalarda bilyalı değirmenin dönüş hızı olarak, değirmenin kritik hız değerinin %75’i tercih edilmiştir. Değirmen dönüş hızı Eşitlik 2 kullanılarak hesaplanmıştır. Eşitlik 3 ve 4 ile sırasıyla değirmene beslenecek malzeme miktarları ( $f_c$ ) ve değirmenin boşluk doldurma oranları ( $U$ ) bulunmuştur.

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

(2) Eşitlik 2’de, D değirmen çapını (m), d ise bilya çapını (m) temsil etmektedir.

$$f_c = \frac{\text{Malzeme Miktarı/Malzeme Yoğunluğu}}{\text{Değirmen Hacmi}} * \left(\frac{1}{0.6}\right) \quad (3)$$

$$U = \frac{f_c}{0.4 * J} \quad (4)$$

Öğütme çalışmalarında kullanılan bilyalı değirmenin özellikleri ile deneysel koşullar Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2. Bilyalı Değirmenin Özellikleri ve Deneysel Koşullar

|          |                                |                     |
|----------|--------------------------------|---------------------|
| Değirmen | İç çap, mm                     | 150                 |
|          | İç uzunluk, mm                 | 150                 |
|          | Hacim, cm <sup>3</sup>         | ~2650               |
|          | Çalışma hızı, $N_k=75\%$ , rpm | ~(85–88-92)         |
| Bilya    | Malzeme                        | Çelik silpeps       |
|          | Çapxuzunluk, d, mm             | 10x10, 20x20, 30x30 |

|         |   |       |
|---------|---|-------|
|         | Özgül ağırlık, $g/cm^3$                   | 6.75  |
|         | Doluluk oranı, $J$                        | 0.35  |
| Malzeme | Gerçek yoğunluk, $g/cm^3$                 | 2.58  |
|         | Malzeme yükü, $f_c$                       | 0.120 |
|         | $f_c$ 'ye göre boşluk doldurma oranı, $U$ | 1.00  |

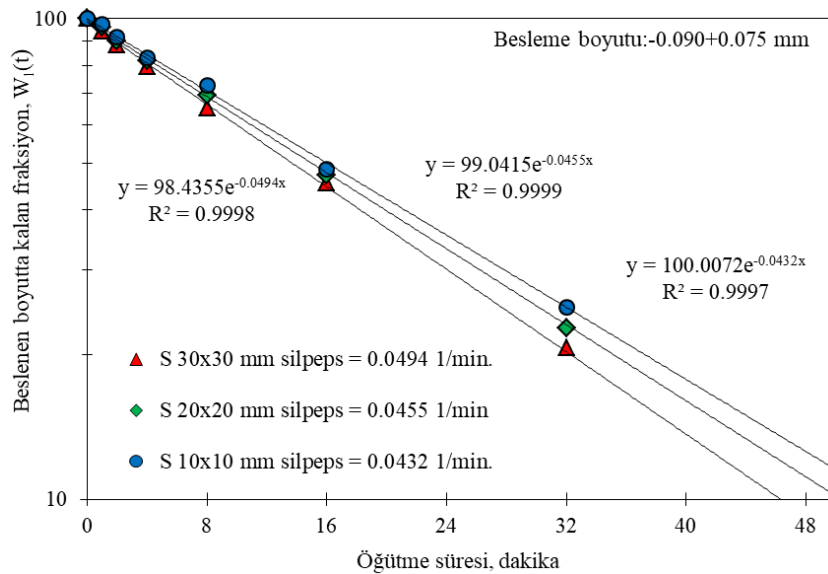
### 3. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Üç ayrı tane boyut fraksiyonundaki kaolen numunesi, üç farklı boyuttaki silpeps kullanılarak, lineer olarak artan öğütme sürelerinde öğütülmüştür. Her bir öğütme periyodu sonunda, en üst tane boyutu aralığında kalan malzeme fraksiyonlarının, öğütme sürelerine karşı grafikleri çizilmiştir. 0.35 bilya doluluk miktarı için elde edilen birinci derece kırılma doğrularının grafikleri Şekil 1, 2 ve 3'de verilmiştir. Birinci derece kırılma bölgesi, bu grafiğin doğrusal bir şekilde azaldığı bölge ile temsil edilmektedir. Birinci derece kırılma bölgesindeki doğrunun eğimi, malzemenin tane boyut aralığına bağlı özgül kırılma hızını vermektedir.

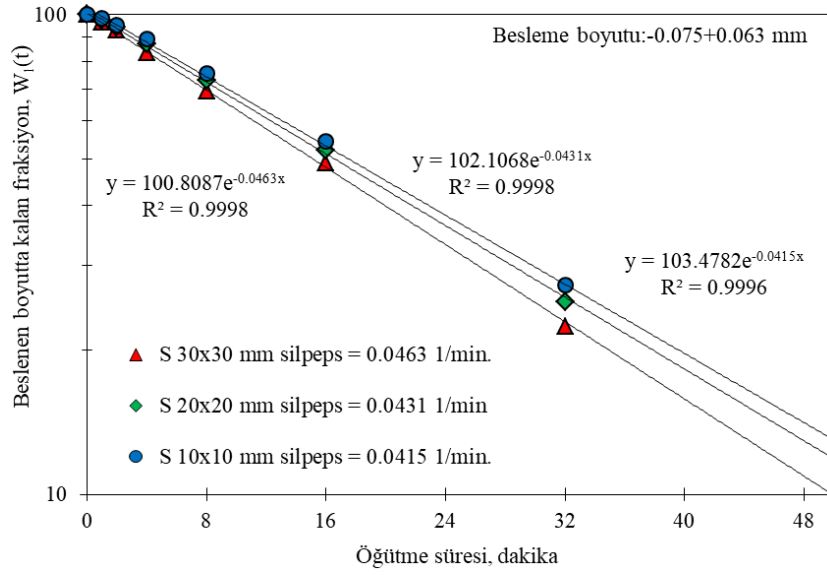
Şekil 1, 2 ve 3'de genel olarak bilya boyutunun artmasına bağlı olarak özgül kırılma hızlarının da arttığı görülmüştür. Ayrıca Şekil 1, 2 ve 3'de yer alan grafikler tane boyutuna bağlı olarak değerlendirildiğinde, düşük tane boyutu aralıklarında daha düşük kırılma hızlarının elde edildiği görülmüştür.

Austin vd. 1984, bilya çapının küçülmesi ile (değirmenin birim hacmindeki bilya sayısı  $1/d^3$  ile orantılı olarak arttığından), birim zamandaki bilyaların birbiri ile çarpışma hızının arttığını ve ince tane boyutundaki malzemenin, küçük boyutlardaki bilyalardan oluşan öğütücü ortam kullanılarak öğütülmesinin daha etkili olduğunu açıklamıştır. Ancak belirtilen çalışmada, 30x40 mesh boyutundaki hammaddenin özgül kırılma hızı, 20-50 mm aralığındaki bilyalar kullanılarak belirlenmiştir. Bu çalışmada koşullar farklıdır.  $\sqrt[4]{2}$  elek serisine göre üç dar tane boyut aralığındaki (-0.090+0.053 mm) hammadde kullanılmıştır. Ayrıca bu çalışmada öğütme işlemi silpeps ile yapılmıştır. Bilindiği üzere silpepslerin bilyalara göre önemli bir avantajı bilyalar birbirleriyle tek noktadan temas sağlarken silpepslerin yüzeysel, çizgisel ve nokta teması sağlamalarıdır. Böylece, son ürün daha dar bir granülometrik dağılıma sahip olmaktadır. Ayrıca tek tane boyutundan oluşan bilyaların öğütme esnasında oluşturduğu boşluk miktarı, geometrik şekli sebebiyle silpepslerde çok daha düşük seviyelerde olmaktadır.

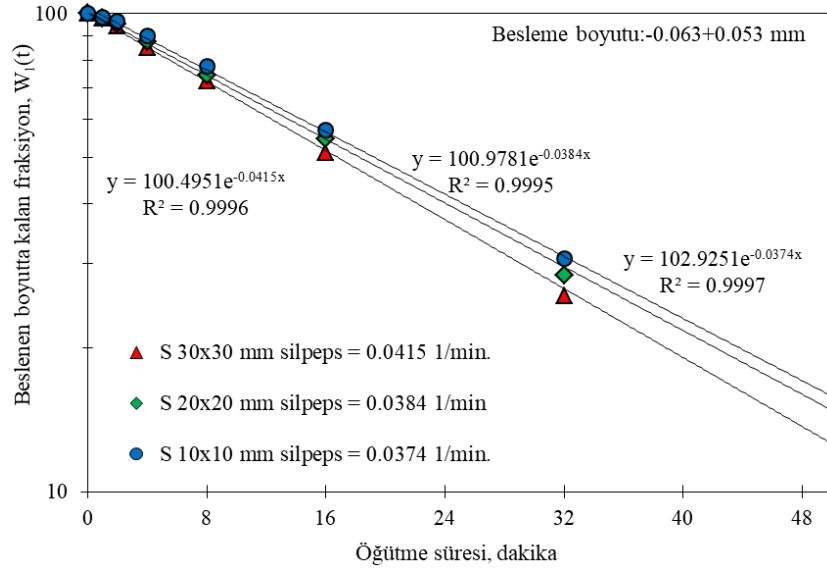
Şekil 1. Kaolenin -0.090+0.075 mm Tane Boyut Aralığı için Birinci Derece Kırılma Doğruları



Şekil 2. Kaolenin -0.075+0.063 mm Tane Boyut Aralığı için Birinci Derece Kırılma Doğruları

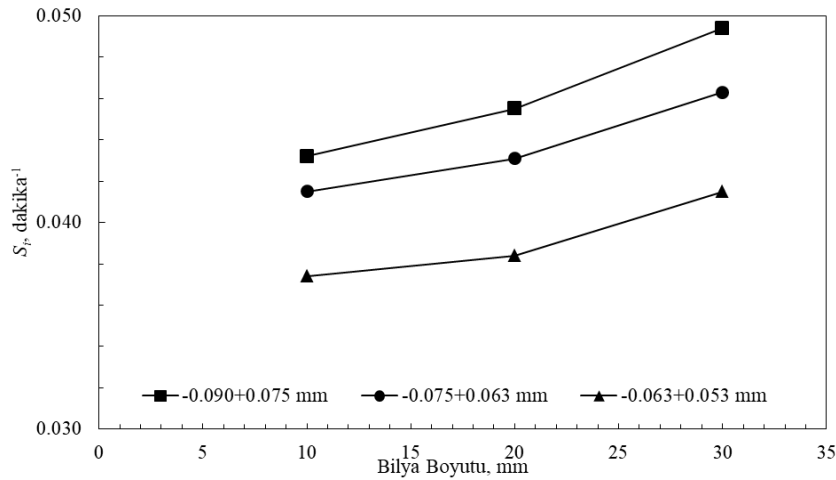


Şekil 3. Kaolenin -0.063+0.053 mm Tane Boyut Aralığı için Birinci Derece Kırılma Doğruları



Bu çalışmada, çok ince tane boyut aralıklarında çalışılmış olmasından dolayı, öğütme zorlaşmıştır. Şekil 4’de küçük boyutlu silpepslerin tanelerin üzerine aktarmış olduğu öğütme enerjisi yetersiz kaldığından dolayı kırılma hızları düşmeye başladığı görülmektedir. Bilya boyutu büyüdükçe kırılma hızında artış gerçekleşmiştir.

Şekil 4. Birinci Derece Kırılma Hızı ile Bilya Çapının Değişimi



#### 4. SONUÇ

Kaolen numunesinin 10x10, 20x20 ve 30x30 mm boyutlu silpeps için kuru ortamda yapılan deneylerde hazırlanan tek tane boyut fraksiyonundaki malzemeler lineer olarak artan öğütme sürelerinde öğütülmüşlerdir. Zamana karşılık her bir öğütme sonucu en üst tane boyutu aralığında kalan malzeme fraksiyonlarının öğütme sürelerine karşı yarı logaritmik grafikleri çizilmiştir. Birinci derece kırılma bölgesi, bu grafiğin doğrusal bir şekilde azaldığı bölge ile temsil edilmektedir. Üç dar besleme tane boyut fraksiyonundaki kaolen numunesinin, 10x10, 20x20 ve 30x30 mm boyutlu silpeps ile yapılan öğütme işlemi sonucunda, gerçekleşen kırılmanın, birinci derece kırılma kinetiğine uygun olduğu görülmüştür.

Bu çalışmada, büyük boyutlu silpepslerin kaolen numunesinin öğütülmesinde daha etkin bir rol oynadığı ve kaolen taneleri üzerindeki çarpma ve aşındırma etkisinin yüksek olduğu görülmüştür. Kaolen taneleri üzerine öğütme için aktarılan enerji, silpeps boyutunun büyümesi ile artmıştır. Farklı silpeps boyutlarında yapılan bu çalışmada, en etkili kırılmanın d=30x30 mm boyutundaki silpeps ile sağlandığı görülmüştür.

Sonuç olarak, literatür incelendiğinde, endüstrinin çeşitli kollarında kullanılan bazı bölgelere ait hammaddelerin kırılma hızı verileri bulunmamaktadır. Herhangi bir bölgeye ait hammaddenin kırılma hızı değerleri, hammaddenin içerdiği mineral oranı, kristal yapısı, safsızlıklar, çatlaklar vb. gibi özelliklerden etkilenmektedir. Bu ve benzeri nedenlerden dolayı hammadde hazırlama tesislerinin öğütme işlemi için tükettiği enerjiyi azaltabilmesi için öğütme kinetiklerini göz önünde bulundurması gerekir.

#### 5. KAYNAKÇA

ARAS, A. (2009). Bazı Kayaçların Mekanik Özellikleri ile Öğütülebilirliğinin İlişkilendirilmesi, Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi, Konya.

AUSTIN, L.G., SHOJI, K. ve LUCKIE, P.T. (1976). The Effect of Ball Size on Mill Performance. Powder Technology, 14 (1): 71-79.

AUSTIN, L.G., KLIMPEL R.R. ve LUCKIE, P.T. (1984), Process Engineering of Size Reduction: Ball Milling, American Institute of Mining Metallurgical and Petroleum Engineers Inc., New York, United States of America.

BOND, F.C. (1958). Grinding Ball Size Selection. Trans. AIME, 592-595.

BARANI, K. ve BALOCHI, H. (2016). A Comparative Study on the Effect of Using Conventional and High Pressure Grinding Rolls Crushing on the Ball Mill Grinding Kinetics of an Iron Ore, Physicochemical Problems of Mineral Processing, 52 (2): 920-931.

DENİZ, V. (2004). The Effect of Mill Speed on Kinetic Breakage Parameters of Clinker and Limestone, Cement and Concrete Research, 34: 1365-1371.

ERKIRELLİ, F. (2015). Linyit ve Taşkömürlerinin Bilyalı Değirmenle Öğütme Parametrelerinin Karşılaştırılması. Doktora Tezi, Cumhuriyet Üniversitesi, Sivas.

HANER, S. (2020). The Effects of Ball Size on the Determination of Breakage Parameters of Nepheline Syenite. *Journal of Mining Science*, 56 (5): 848-856.

İPEK, H., ÜÇBAŞ, Y., YEKELER, M. ve HOŞTEN, Ç. (2005). Dry Grinding Kinetics of Binary Mixtures of Ceramic Raw Materials by Bond Milling, *Ceramics International*, 31: 1065-1071.

ÖZKAN, A., DÜZYOL, S., UÇBEYİAY, H. ve AĞAÇAYAK, T. (2006). Krom Cevherinin Kuru ve Yaş Öğütme Kinetiği ve Pülp Yoğunluğunun Etkisi, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 12 (1): 73-78.

ÖZKAN, A., YEKELER, M. ve 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.

SAMANLI, S. (2008). Zonguldak-Çatalağzı Termik Santrali Katı Fosil Yakıtı Öğütme Kinetiğinin Araştırılması. Doktora Tezi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Zonguldak.

TEKE, E. (1998). Kalsit ve Baritin İnce Öğütme Kinetiğinin Analizi. Doktora Tezi, Cumhuriyet Üniversitesi, Sivas.

YEKELER, M. (1995). Bilyalı Değirmenle Kuvarsın Yaş Öğütülme Kinetiği, *Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu*, 21-22 Nisan, İzmir, Türkiye.

YILDIZ, N. (1999). Öğütme: Teorisi, Uygulaması Değirmenler ve Sınıflandırıcılar, TMMOB Maden Mühendisleri Odası Yayınları, Ankara.

YUSUPOV, T.S., KIRILLOVA, E.A. ve DENISOY, G.A. (2003). Dressing of Quartz-Feldspar Ores on the Basis of Selective Grinding and Mechanical Activation. *Journal of Mining Science*, 39: 174-177.