

MALATYA PROFİLLİT CEVHERİNİN KURU VE YAŞ ÖĞÜTME KOŞULLARINDA
ÖĞÜTÜLEBİLİRLİĞİNİN BİR KİNETİK YÖNTEMLE İNCELENMESİ

INVESTIGATION OF GRINDABILITY OF MALATYA PYROPHYLLITE ORE AT DRY AND WET
GRINDING CONDITIOINS BY A KINETIC METHOD

M. SARIKAYA

İnönü Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Malatya

M. ERDEMOĞLU

İnönü Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Malatya

ÖZET: Bu çalışmada Malatya-Pütürge yöresinde üretilmekte olan profillit cevherinin kesikli öğütme koşullarında öğütülebilirlik özellikleri bir kinetik model kullanılarak araştırılmış ve cevherin ince tane boyları için özgül kırılma hızlarına ait fonksiyonlar hesaplanmıştır. Tane boyu 212 mikrondan küçük taneciklerde kuru ve yaş öğütme koşulları için özgül kırılma hızları sırasıyla $S_j = 2.837 \times 10^{-4} X_j^{1.452}$ ve $S_j = 1.588 \times 10^{-4} X_j^{1.558}$ olarak bulunmuştur.

ABSTRACT: In this research grindability of Malatya-Pütürge pyrophyllite ore was investigated at batch grinding conditions by using a kinetic model and specific rate of breakage functions were calculated for fine size ore particles. For particles less than 212 microns, the specific rates of breakage were found as $S_j = 2.837 \times 10^{-4} X_j^{1.452}$ and $S_j = 1.588 \times 10^{-4} X_j^{1.558}$ for dry and wet grinding conditions, respectively.

1. GİRİŞ

Bir alüminyum silikat minerali olan profillit ($Al_2O_3 \cdot 4SiO_2 \cdot 2H_2O$) başta beyaz çimento olmak üzere sıhhi seramik, refrakter tuğla, boya ve kağıt sanayinde kullanılmaktadır. Profillit, talk gibi yumuşak bir mineral olup talk zenginleştirilmesinde olduğu gibi genellikle sertlik farkına dayalı olarak kırma ve öğütmeyle zenginleştirilir. Hammadde olarak profillit kullanan sanayilerin her biri kendi üretim süreçlerine göre cevherin Al_2O_3 , SiO_2 , K_2O ve Fe_2O_3 içerikleri ile tane boyu dağılım özelliklerine göre tüketim yapmaktadır. Örneğin metalürjide ve çelik sanayinde refrakter tuğla üretimi için kullanılacak profillit cevherinin %14-20 Al_2O_3 içermesi ve -1.5 cm tane boyunda olması gerekirken sıhhi seramik sanayinin istediği profillit cevherinin ise %99'unun 53 μm altında olması gerekmektedir (Cornish, 1983).

Malatya-Pütürge yöresinde 6 milyon ton rezerve sahip ve profillit ile kalsedon minerallerinden oluşan (Cornish, 1983) bir profillit yatağı bulunmaktadır. 1976 yılından günümüze kadar üretilen cevher büyük miktarda çimento sanayi tarafından satın alınmaktadır. Bununla birlikte seramik üretimi gibi diğer sanayi kollarında da pazar payının olabilmesi için cevherin zenginleştirilmiş ve ince öğütülmüş olarak hazırlanması gerekmektedir.

Malatya profillit cevherinin öğütülebilirlik özellikleri şimdiye kadar incelenmemiştir. Bu amaçla, hem öğütme düzen ve yardımcılarının seçimi hem

de enerji harcamalarının hesaplanması bakımından önem taşıyan ve yalnızca kırma-öğütmeyle zenginleştirilebilen profillit cevherinin kuru ve yaş öğütme koşullarında öğütülebilirliği bir kinetik yöntemle incelenmiştir.

2. MALZEME VE YÖNTEM

2. 1. Cevher ve Deneysel Koşullar

Deneysel çalışmalarda Malatya-Pütürge profillit ocaklarından sağlanan parça cevher kullanılmıştır. Parça cevher çeneli ve çekiçli kinci ile 425 μm altına denetimli olarak kırılarak öğütme denemeleri için besleme malzemesi hazırlanmıştır.

Kullanılan değirmenin ölçüleri 4> 195x205 mm dir. Öğütme ortamı olarak 25 mm çaplı bilya kullanıldığında değirmenin kritik hızı 102 dev/dak. olup denemelerde bu hızın %75'i bir hızda çalışılmıştır. Her iki öğütme denemeleri için değirmende hacimsel olarak bilya yükleme oranı %20, cevher yükleme oranı %2 ve boşluk doldurma oranı %25'tir. Yaş öğütme denemelerinde kullanılan katı/su oranı ise %15'tir. Her iki koşulda da yaklaşık 170 gr cevher ve 5850 gr bilya kullanılmıştır.

Yaş ve kuru öğütme denemeleri 1, 2, 3, 4, 5, 10 dakika süreler için yapılmış ve her yeni öğütme durumu için ayrı besleme malzemesi kullanılmıştır. Her öğütme sonunda V2 çarpanıyla 38-300 μm arasında hazırlanmış elekler kullanılarak kuru eleme yapılmıştır. Eleme 40-70 dakika süreyle yapılmış;

her 5-10 dakikada elekler temizlenmiştir. Aşın ince delikli eleklerin temizlenmesinde ultrasonik banyo kullanılmıştır.

2. 2. Bulgu Değerlendirmesinde Kullanılan Yöntem

Profillit cevherinin öğütülebilme özelliğinin incelenmesinde matris modele göre daha basit ve daha kullanışlı olan (Laplanche vd., 1987) kümülatif bazlı kinetik model kullanılmıştır. Bu modelde sıradan bir laboratuvar değirmeninde yapılan öğütme denemeleriyle elde edilen sıradan elek çözümlenmesi bulguları kullanılmaktadır. Ayrıca bulgulardan elde edilen sonuçlar hiçbir ölçek büyütme işlemine gerek duyulmadan bir öğütme devresinde kullanılabilir. Model aşağıdaki eşitlikte verilmektedir (Finch ve Ramirez-Castro, 1981).

$$W_{i(t)} = W_{i(0)} \cdot e^{-S_i t} \quad d)$$

Burada,

$W_{i(t)}$: t süre öğütme sonunda i tane boyu üzerinde kalan birikimli malzeme yüzdesi,

$W_{i(0)}$: beslemede i tane boyu üzerinde kalan birikimli malzeme yüzdesi,

S_i : i tane boyunun özgül kırılma hızı, dakika⁻¹,

t : öğütme süresi, dakika.

Modeldeki S_i değerini hesaplayabilmek için her öğütme süresi sonunda elde edilen ürünün birikimli eleküstü yüzdesi değerinin zamanla değişimi izlenmiştir. Buradan hareketle (1) eşitliğinin her iki tarafının doğal logaritması alınmış ve eşitlik,

$$\ln(W_{i(t)}) = \ln(W_{i(0)}) - S_i t \quad (2)$$

biçimine dönüştürülmüştür. Her bir tane boyu için birikimli eleküstü değerlerinin doğal logaritmasıyla öğütme süresi arasında doğrusal regresyon yapılarak S_i değerleri bulunmuştur.

Modele göre S_i ile çok ince tane boyu arasında

$$S_i = aX_i^d \quad (X_i \ll d) \quad (3)$$

biçiminde bir bağıntı bulunmaktadır.

Burada,

a : malzemeye bağlı bir sabit olup 0.5-1.5 arasında değişir,

d : öğütme koşullarına bağlı bir sabit,

X_i : tane boyu

dur. (3) numaralı eşitlik her iki tarafının logaritması alınarak

$$\log(S_i) = \log a + d \log(X_i) \quad (4)$$

biçimine dönüştürülmüş ve doğrusal regresyon kullanılarak cevher ve öğütme koşulları için özgül olan a ve d değerleri belirlenmiştir.

Sıradan eleme çözümlenmesi bulgularıyla elde edilen S_i değerleri kullanılarak istenilen tane boyundaki malzemenin değirmen ürününe ne kadar sürede ortaya çıkacağı hesaplanabilmektedir. Bu sürenin değirmen kapasitesini nasıl etkileyeceği ve kullanılacak sınıflandırıcının sahip olacağı performans ve istenilen miktardaki malzemenin ne kadar sürede alınabileceği aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanabilmektedir.

$$M_i = S_i \cdot w_i \cdot W \quad \text{ton.dakika}^{-1} \quad (5)$$

Burada,

M_i : i tane boyundaki malzemenin üründe ortaya çıkma hızı, ton.dakika⁻¹

S_i : Özgül kırılma hızı, dakika⁻¹

w_i : Verilen sürede öğütülen malzemedeki i tane boyunun elekaltı miktarı, %

W : Değirmen beslemesi, ton.

3. BULGULAR

Şekil 1 de kuru Şekil 2 de ise yaş öğütülen cevherin elek çözümlenmesi gösterilmektedir. Şekil 3 te kuru. Şekil 4 te ise yaş öğütülen cevherin incelenen her tane boyu için birikimli eleküstü oranlarının öğütme süresiyle değişimi verilmektedir. Eşitlik (2) kullanılarak hesaplanan her bir tane boyunun S_i değeri ve öğütme koşulunu özgülleştiren a ve d değerleri Çizelge 1 de; S_i değerinin tane boyuyla değişimi ise Şekil 5 te verilmektedir.

4. BULGULARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

Şekil 1 ve Şekil 2 incelendiğinde her bir öğütme süresinde yaş öğütmeye göre kuru öğütmeye daha fazla elekaltı malzeme alındığı görülmektedir. Örneğin 5 dakika öğütme sonunda 38 um altına geçen malzeme miktarı kuru öğütmede %35.387 iken bu değer yaş öğütmede %32.945'tir.

İncelenen her bir tane boyunun eleküstü miktarlarının öğütme süresiyle değişimleri incelendiğinde (Şekil 3 ve 4) eleküstü miktarlarında özellikle -300+212 (im tane boyu için 5. dakikadan sonra azalmanın belirgin bir biçimde yavaşladığı görülmektedir. Başka bir deyişle, bu tane boyundaki malzemenin kırılması birinci dereceden olmayıp ikinci dereceden bir ufalanma göstermektedir. Oysa -212 (im tane boylarının eleküstü miktarları tüm süre öğütmelerde aynı hızda azaltılmaktadır ve

böylece bu tane boylarının birinci dereceden bir kırılmayla ufalandıkları anlaşılmaktadır.

Austin vd. (1984), iri tanelerin verilen bir tane boyundaki malzemeden daha ince tanelerine ufalanmalarının birinci dereceden olmadığını ama başlangıçta yüksek, daha sonra yavaş bir hızla sahip olarak ufalanacaklarını belirtmektedirler. Bunun nedeni taneceklerin bazılarının bilyalar tarafından uygun biçimde yakalanıp kırılmak için çok büyük ve kuvvetli olmalarıdır. Ayrıca beslenen malzemenin en iri tanesinin çapı kullanılan öğütme ortamı çapına yaklaştıkça özgül kırılma hızı değerinde azalma olmasının olağan bir sonuç olduğu belirtilmektedir. Çünkü tanecik/bilya çapı oranı Fe yaklaşırken cevherdeki iri taneler de öğütme ortamı gibi davranmaya başlayacak ve öğütme devresini yan-otojen bir öğütme devresi durumuna getirecektir. Bilyalı öğütme yapmak isterken gerçekte yan-otojen öğütmenin meydana geldiği bu duruma Austin vd. (1984) "doğrudan verimsizlik" tanımını kullanmaktadır.

Profillit cevherinin öğütülmesiyle elde edilen bulgulara göre denemelerde kullanılan beslemedeki en iri tanenin çapı ile bilya çapı arasındaki oran 0.017 dir. Bu değer doğrudan verimsizliğe yol açması için çok küçük olacağı düşünülse de cevherin yumuşak profillit ve sert kalsedondan meydana geldiği göz önüne alınırsa her tane boyundaki profillitin öğütme sırasında her sürede aynı hızda ufalanabileceği; kalsedonun ise 5. dakikadan sonra yavaş ufalanarak bir öğütme ortamı gibi davranabileceği düşünülebilecektir. Böylece her iki öğütme koşulunda da cevherdeki sert kalsedon, değirmende ortam yüklenme oranını artıracaktır. Ancak 5. dakikadan sonra -212 (im tanelerin kırılma hızlarında azalma olmadığı gibi herhangi olağandışı bir artışın da gözlenmemesi kalsedonun profillit ufalanmasında bir etkisinin olmadığını göstermektedir.

Buradan hareketle -212 lım tane boylarına kuru ve yaş öğütme için profillit cevherinin özgül kırılma hızı eşitlik (3) gereğince Çizelge 1'de verilen a ve a değerlerine göre,

$$S_{1(kuru)} = 2.837 \times 10^{-4} X_i^{1.452} \quad X_i \leq 212 \mu\text{m} \quad (6)$$

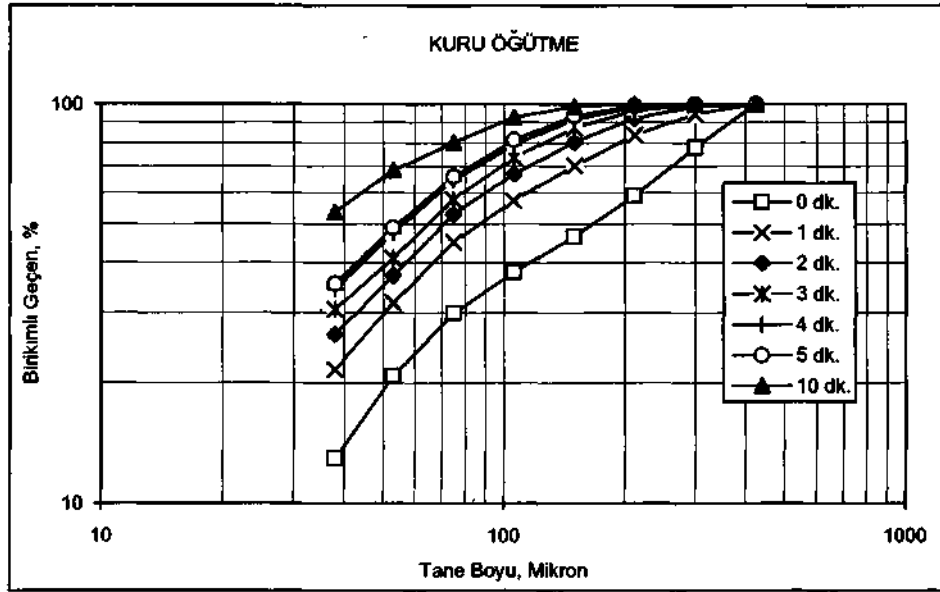
$$S_{1(yaş)} = 1.588 \times 10^{-4} X_i^{1.558} \quad X_i \leq 212 \mu\text{m} \quad (7)$$

olacaktır. (6) ve (7) eşitlikleri kullanılarak verilen bir öğütme ortamında herhangi bir tane boyundaki malzemenin özgül kırılma hızı; (5) eşitliği kullanılarak da bu tane boyundaki malzemenin birim zamandaki miktan hesaplanabilir.

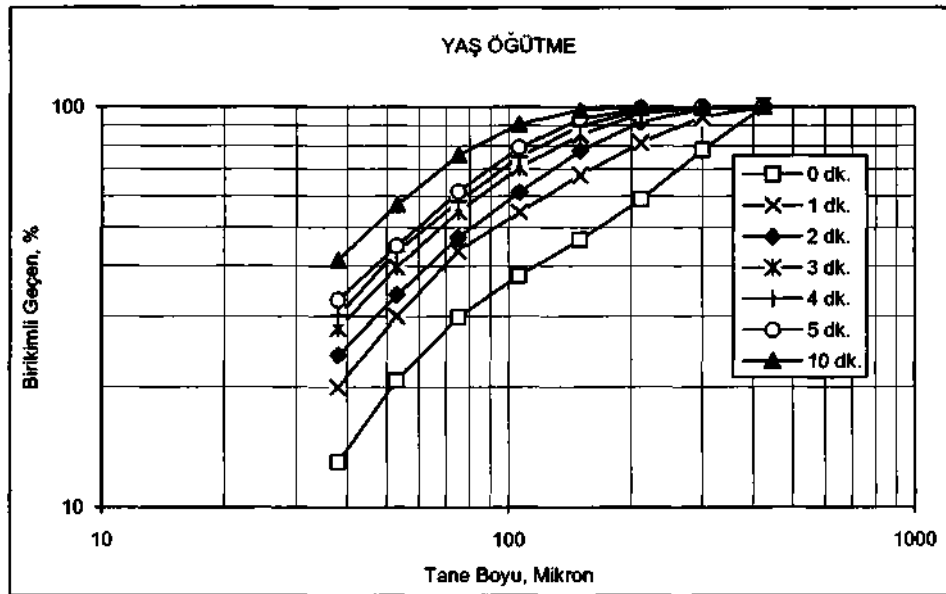
-212 lira tane boyundaki malzemelerin 10 dakikadan sonraki kırılma hızlarının incelenmemesinin nedeni aşın sürelerdeki öğütmenin profillit yapısını değiştirdiğini gösteren çalışmaların bulunmasıdır. Sanchez-Soto vd. (1994), yaş ya da kuru 30 dakikalık öğütmeden sonra profillitin özgül Infrared (İR) çizgilerinde kaybolmalar meydana geldiğini; mineraldeki bazı bağların zayıf hidroksil gruplara ve SiO₄ dörtyüzlülerinin de amorf silikaya dönüştüğünü bulmuşlardır. Perez-Rodriguez vd.(1988) ise öğütme başlannda profillit yapısındaki tabakaların ayrılması, kayması ve süzülmesi sonucu tane boyunda hızlı bir azalmanın olduğunu; 30-32 dakikadan sonra özgül yüzey alanında düşüşler meydana geldiğini; mineralin özgül XRD piklerinin kaybolmaya başladığını saptamışlardır.

Çizelge 1. Kuru ve yaş öğütme koşulları için profillit cevherinin a ve a değerleri ile her bir tane boyunun S, değerleri.

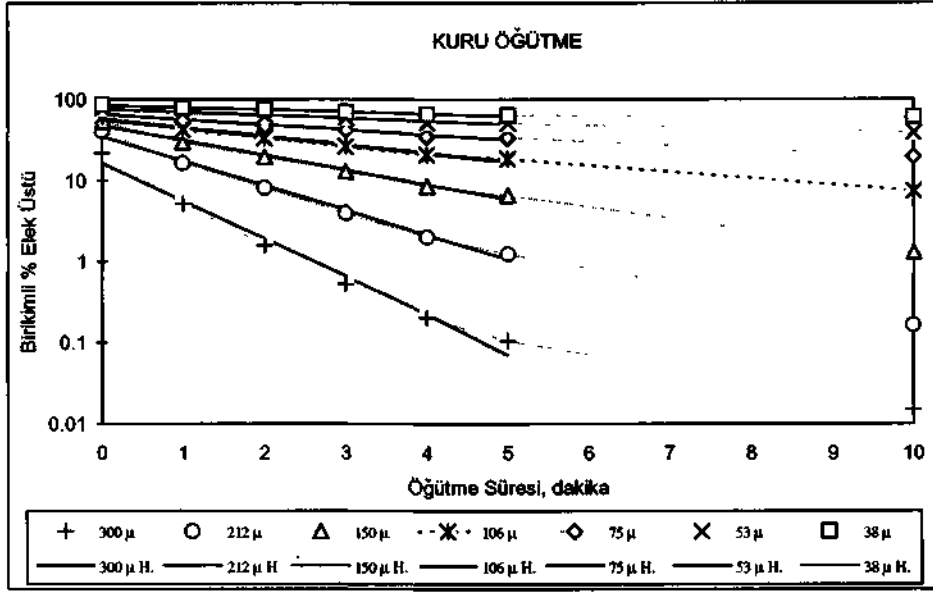
Tane Boyu, um	Kuru Öğütme	Yaş Öğütme
	"Özgül Kırılma Hızı, dakika"	
212	0.676	0.670
150	0.409	0.391
106	0.247	0.227
75	0.149	0.133
53	0.090	0.077
38	0.056	0.046
a(x10⁻⁴)	2.837	1.588
α	1.452	1.558



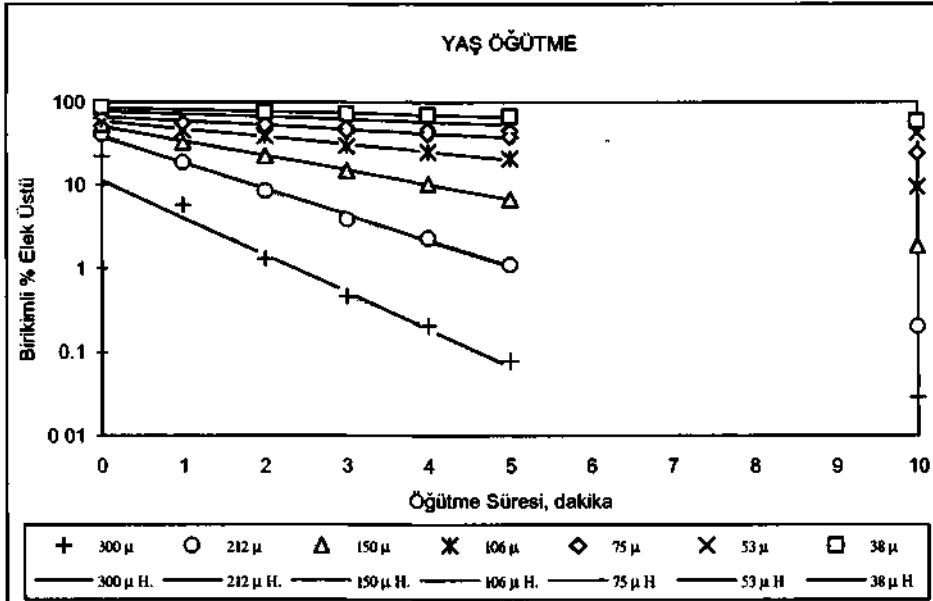
Şekil 1. Çeşitli sürelerde kuru öğütülmüş cevherin tane boyu dağılımları.



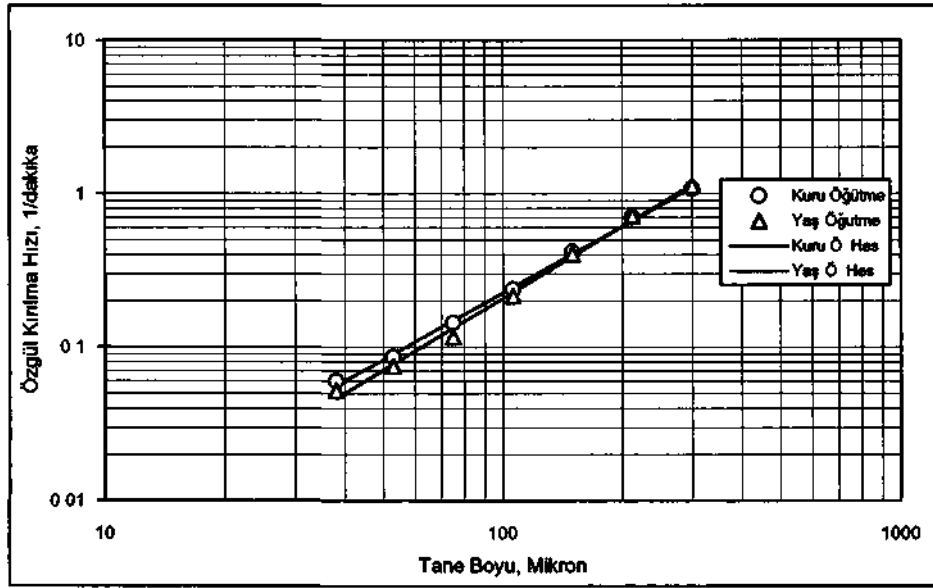
Şekil 2. Çeşitli sürelerde yaş öğütülmüş cevherin tane boyu dağılımları.



Şekil 3. Kuru öğütmeyle alınan ürünlerin birikimli eleküstü miktarlarının öğütme süresiyle değişimi.



Şekil 4. Yaş öğütmeyle alınan ürünlerin birikimli eleküstü miktarlarının öğütme süresiyle değişimi.



Şekil 5. Özgül kırılma hızının tane boyuyla değişimi.

5. SONUÇLAR

I. Profillit cevherinin ince tane boylarına öğütülmesinde kuru öğütme daha hızlı bir ufalanma sağlamaktadır.

II. İnce tane boylarına öğütmede 5 dakikadan fazla öğütme yapılması devreden yük miktarını artıracaktır.

III. Kuru ve yaş öğütme için profillit cevherinin özgül kırılma hızı fonksiyonları

$$S_1(\text{kuru}) = 2.837 \times 10^{-4} X_1^{1.452} \quad X_1 \leq 212 \mu\text{m}$$

$$S_1(\text{yaş}) = 1.588 \times 10^{-4} X_1^{1.558} \quad X_1 \leq 212 \mu\text{m}$$

olarak bulunmuştur.

IV. Profillit cevherinin 212 um altındaki tane boylarına öğütülmesinin incelenmesinde kullanılan kinetik model, laboratuvarında yapılan öğütme işlemini iyi bir şekilde temsil etmektedir.

6. KAYNAKLAR

- Austin, L.G., Klimpel, R.R. ve Luckie, P.T. 1984. *Process Engineering of Size Reduction: Ball Milling*. AIME Publication, NewYork, 171.
- Cornish, B.E. 1983. "Pyrophyllite". *Industrial Minerals and Rocks, 5' Ed. Editor: J.J.Lefond*. AIME Publication, NewYork, 1085-1108.
- Finch, J.A. ve Ramirez-Castro, J. 1981. Modelling Mineral Size Reduction in the Closed-Circuit Ball Mill at the Pine Point Mines Concentrator. *International J. of Mineral Processing*, 8:61-78.
- Laplante, A.R., Finch, J.A. ve delVillar, R. 1987. Simplification of Grinding Equation for Plant Simulation. *Transactions IMM*, 96:008-112.
- Perez-Rodriguez, J.L., Madrid Sanchez Del Villar, L. ve Sanchez-Soto, P.J. 1988. Effect of Dry Grinding on Pyrophyllite. *Clay Minerals*, 23:399-410.
- Sanchez-Soto, P.J., Justo, A. ve Perez-Rodriguez, J.L. 1994. Structural Alteration of Pyrophyllite by Dry Grinding as Studied by IR Spectroscopy. *Journal of Materials Science Letters*, 13:915-918