

Bond Öğütülebilirlik İndisi ile Ufalanma Değeri Arasındaki Anlamlı İlişki

T. ÖZKAHRAMAN

S. D U. Maden Mühendisliği Bölümü, İsparta/Türkiye

M. ŞİRİN

S.O. U Fen Bilimleri Enstitüsü, Maden Müh. Anabilim Dalı İsparta/Türkiye .

ÖZET: Günümüzde, malzemeleri öğütmek için gerekli enerji gereksiniminin belirlenmesinde Bond öğütülebilirlik testinden yararlanılmakta, endüstriyel çaptaki öğütme değirmenlerinin tasarımı yapılabilmektedir. Fakat Bond değirmeni ile öğütülebilirlik tayini çok zaman almakta, sabit bir öğütülebilirlik indisi ancak birçok öğütme periyodları sonucunda elde edilmektedir. Bu nedenle daha kısa sürede bir indis tayin etmek amacıyla, ufalanma değerinden yararlanılmıştır. Ufalanma değeri tayininde Tamrock tarafından kayaçların delme hızının tesbitinde kullanılan deney düzeneği kullanılmıştır. Bu düzeneğe dört farklı malzemenin ufalanma değerleri tayin edilmiş ve bu değerlerle Bond öğütülebilirliği arasında anlamlı ve yüksek korelasyon katsayılı ilişkiler bulunmuştur. Bu malzemelerin öğütülebilirlik indisleri standart Bond yöntemiyle belirlenmiştir. Böylece öğütülebilirlik ve Bond iş indisi, kırma testinde ölçülen ufalanma değeri yardımıyla kolayca belirlenebilecektir.

ABSTRACT: Knowledge of grindability characteristics of materials is important in calculating energy requirements at industrial tumbling ball mills. In this aspect, Bond's work index method is the most widely used in the determination of grindability of materials and their energy assessment. But Bond's method to determine grindability is time consuming and a constant value of ore grindability is achieved after several grinding periods. On the contrary, the brittleness test is very simple and friability value is obtained in a comparatively shorter time. The experimental set-up of brittleness test is described by Tamrock is originally designed in assessing rock drilling rate. The friability values of four different materials are obtained and they were in good agreement with the corresponding Bond work index (W_i) and grindability index (G) of the same materials. The relationships obtained between the indexes have higher correlation coefficients. The grindability indexes of these materials are determined by standard Bond method. As a result Bond work index and grindability index can be estimated quite easily from the friability value measured from brittleness test.

1. GİRİŞ

Ekonomik değere haiz endüstriyel hammaddeler tüvenan olarak elde edildikten sonra tane boyutunun tüketim amacına uygun olarak küçültülmesi gerekmektedir. Bu amaçla yapılan tüm boyut küçültme işlemlerine ufalama denilmekte, ve bu terim kırma ve öğütme işlemlerinin tümünü kapsamaktadır (Prasher. 1987). Ufalama işlemlerinde enerji maliyeti fazla enerji sarfiyatından dolayı çok yüksek olmaktadır. Maliyeti düşürmek açısından ufalamanın gerektiğinden fazla olmaması, ufalama ekipmanlarının uygun seçilmesi ve ekonomiklik açısından optimum şartlarda çalıştırılması gerekmektedir. Bu nedenle tesis tasarımı için

ufalanacak malzemenin öğütülebilirliğinin tesbiti önem arz etmektedir.

Sekonder kırıcı ve öğütücülerin seçiminde, ve malzemelerin öğütülebilirliğinin tesbitinde daha çok Bond teorisi kullanılmaktadır (Babu ve Cook. 1973). Bond öğütülebilirlik yöntemiyle, harcanan enerji (kwh/ton) miktarı hesaplanmakta, bulunan bu enerji değeriyle de öğütücü ortam uyum faktörleri çarpılarak endüstriyel boyut için enerji sarfiyatı hesaplanabilmektedir. (Prasher. 1987).

Bu çalışmada Bond iş indisinin tesbitinde farklı bir yöntem uygulanmıştır. Bu yöntem değişik fiziko-mekanik özelliklere sahip malzemelerin Bond iş indisleri ile ufalanma değerleri (S_{20}) arasındaki ilişkiye dayanmaktadır. Bu ilişkilerin belirlenmesi

amacıyla dört farklı malzemenin hem öğütülebilirliği hemde ufalanma değeri aşağıda belirtilen yöntemlerle bulunmuştur.

Ufalanma değeri belirli bir kütle (14 kg) belli bir yükseklikten (0.25 m) numunenin üzerine düşürülerek, ufalama prensibine dayanmaktadır (Tamrock, 1984). Bu yöntem değişik cins kayaların delme hızının belirlenmesinde kullanılmaktadır. Yöntemle kolayca ve çabuk sonuç alındığından deney düzeneği Süleyman Demirel Üniversitesi, Kaya Mekaniği Laboratuvarı'nda standart ölçülere sadık kalarak oluşturulmuştur. Bu deney düzeneği ile ufalanma değeri tayini, öğütülebilirlik indisine göre daha kolay ve çabuk bulunabilmektedir. Kurulan ufalanma deney düzeneği ile seçilen dört farklı malzemenin ufalanma değeri tayin edilmiştir. Ayrıca bu dört farklı malzemenin standart bond değirmeninde öğütülebilirlikleride belirlenmiştir.

2. MALZEMELERİN ÖZELLİKLERİ

Bond öğütülebilirlik testi ve ufalanma testinde Göltaş kireçtaşı, ilmen bariti, Seydişehir boksit cevheri ve Muğla leylak mermeri kullanılmıştır. Bu malzemelerin jeolojik oluşumları, fiziksel ve kimyasal özellikleri farklıdır. Çizelge 1'de bu malzemelerin fiziko-mekanik özellikleri ve kimyasal bileşimleri gösterilmiştir.

3. BOND ÖĞÜTÜLEBİLİRLİK STANDART TESTİNDEN ALINAN SONUÇLAR

3.1 Bond Öğütülebilirlik Standart Testi (Bond, 1961)

Elek analizi yapılmış ve % 80'inin geçtiği elek açıklığı bilinen, 6 mesh (3.35 mm)'in altına geçen numuneden yaklaşık 1000 cc alınmıştır. Bu miktar ölçekli kaptan alınarak 700 cc'ye düşürülmüştür.

Seçilen test elek açıklığından (istenilen ürün boyutu) numune geçirilerek elek altı oranı tesbit edilmiştir. Daha sonra Bond değirmenine kuru olarak Bond teorisinde tesbit edilmiş miktar ve çaptaki bilyalarla birlikte şarj edilerek, uygun bir devir sayısında değirmen çalıştırılmıştır. Devir sayısı optik sayaktan okunmuştur. Hassas bir şekilde değirmen boşaltılarak ve bilyalar elenerek öğütülen numune alınmıştır. Öğütülmüş numune test elek açıklığında elenmiş, elek altı miktarı (ürün miktarı) bulunmuştur. Besleme malı içindeki elek altı miktarı ile ürün arasındaki farkın devir sayısına bölümü öğütülebilirlik katsayısını vermektedir. İkinci periyod ve diğer periyodlar için elek üstü ile beraber ürün miktarı kadar 6 mesh'in altındaki numuneden eklenerek değirmene tekrar şarj edilmiştir. Test elek açıklığından geçen ürün miktarı % 28.6'ya karşılık geldiğinde denge durumu oluşmuştur. Diğer bir deyişle, % 28.6'lık ürün miktarı öğütülmesi gerekli miktardır. Denge durumuna ulaşmadan önceki öğütmelerde; öğütülmesi gerekli ürün miktarından besleme içindeki ürün miktarı çıkartılmak ve öğütme katsayısına bölünmek suretiyle devir sayısı bulunmuştur. Denge durumunda öğütülebilirlik katsayısı son üç öğütmede aynı olmalıdır. Bu durumda devreden miktarın ürüne oranı % 250'dir (Bond, 1961). Daha sonra ürünün elek analizi yapılarak % 80'inin geçtiği elek açıklığı belirlenmiştir. Bond formülüyle de iş indisi tesbit edilmiştir.

$$W_s = 44.5 / [P^{0.23} G^{0.82} \cdot (10/VP - 10/VF \cdot T)] \quad (1)$$

Formül (1)'de;

W_s = İş indisi (kwh/sh.ton)

P = Test elek açıklığı (n)

G = Öğütülebilirlik katsayısı (gr/dev)

P₈₀ = ürünün % 80'inin geçtiği elek açıklığı (u)

F₈₀ = Beslemenin % 80'inin geçtiği elek açıklığı (u)

Çizelge 1. Kullanılan Malzemelerin Fiziko-Mekanik Özellikleri ve Kimyasal Bileşimleri.

| Malzemenin Adı | Kimyasal Bileşimi | Bmm Hacim Ağırlığı (gr/cm ³) | Tek Eksenli Basma Dayanımı (MPa) | Çekme Dayanımı (MPa) | Nöki Yükleme indisi (MPa) |
|----------------|--|--|----------------------------------|----------------------|---------------------------|
| Kireçtaşı | CaO.MgO, SiO ₂ , Fe ₂ O ₃ | 2.67 | 54.95 | 4.62 | 2.82 |
| Bant | BaSO ₄ | 4.40 | 56.88 | 3.25 | 2.60 |
| Boksit | (Al, Si, Fe, Ti, Ca, Mg)O | 2.98 | 90.56 | 5.18 | 4.14 |
| Mermer | CaCO ₃ | 2.65 | 60.2 | 4.90 | 3.92 |

2. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, 16-17 Ekim 1997 hımr Türkiye

3 2 Bond Öğütülebilirlik Test Sonuçları

Goltaş kireçtaşı, ilmen bariti, Seydişehir boksit cevheri ve Muğla leylak mermeri öğütülebilirlik testinde, test elek açıklığı olarak 300 u.'luk elek kullanılmıştır. Beslenen numunenin ve elde edilen ürünlerin % 80'inin geçtiği elek açıklığı belirlenmiş ve buna göre malzemelerin öğütülebilirlikleri ve Bond iş indisleri tayin edilmiştir. Burada sadece Goltaş kireçtaşına ait değerler bir örnek olması bakımından aşağıda verilmiştir;

3 2 1 Goltaş Kireçtaşı Bond Öğütülebilirlik Testi Sonucu

Bu test te 700 ce' lik kireçtaşı numunesi ağırlığı = 1159.31 gr. ;

B (Besleme malzemesindeki 300 u' nun altına geçen malzemenin yüzdesi) = % 15.70;

C (gerekli ürün ağırlığı) = 1159.31 x 0.286 = 331.56- gr dır

Çizelge 2'de öğütme sonucu gösterilmiş, son üç öptme periyodunda öğütme katsayısı sabitleşmiş, 1.11 gr/devir olarak elde edilmiştir. $F_{s0} = 2800$ u ve $P_s = 220$ u olduğu tesbit edilmiştir. Bu verilere göre iş indisi (W) = 22.67 Kwh/sh.ton olarak, Eş.l'den bulunmuştur. Kireçtaşları için bu değer, Babu ve Cook (1973) tarafından 17.33 Kwh/sh.ton olarak belirtilmiştir. Dolayısıyla bulunan iş indisi Goltaş kireçtaşının orta dayanıma sahip olmasından dolayı gerçeğe yakın bir değerdir.

Çizelge 2. Kireçtaşı Bond Öğütülebilirlik Testi

| Devir R | Unun C | Besleme B | C-B | Öğütme Katsayısı G, (C-B)/R |
|---------|--------|-----------|--------|-----------------------------|
| 95 | 282 41 | 182 01 | 100 40 | 106 |
| 271 | 324 44 | 44 34 | 280 10 | 103 |
| 272 | 340 12 | 50 94 | 289 18 | 106 |
| 262 | 349 57 | 53 40 | 296 17 | 1 13 |
| 245 | 367 64 | 54 88 | 312 76 | 128 |
| 242 | 343 85 | 57 72 | 286 13 | 1 18 |
| 235 | 313 90 | 53 98 | 259 92 | 1 11 |
| 254 | 330 61 | 49 28 | 281 33 | 1 11 |
| 252 | 331 26 | 5191 | 279 65 | 1 11 |

Buna göre: Goltaş kireçtaşının öğütülebilirliği 1.11 gr/dev, Bond iş indisi 22.67 kwh/sh.ton ' dur. Diğer malzemelerin ise:

- ilmen baritinin öğütülebilirliği 6.19 gr/dev, Bond iş indisi 5.30 kwh/sh.ton;

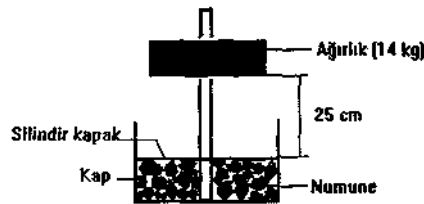
- Seydişehir boksit cevherinin öğütülebilirliği 0.95 gr/dev, Bond iş indisi 25.66 kwh/sh.ton;
 - Muğla leylak mermerinin öğütülebilirliği 2.98 gr/dev, Bond iş indisi 10.69 kwh/sh.ton.
- bulunmuştur. Bu değerler Çizelge 3'de de gösterilmiştir

4. UFALANMA DEĞERİ TAYİNİ (Tam rock , 1984)

Malzemelerin darbe enerjisi ile ufalanmasını tesbit amacıyla yapılan ufalanma değeri test düzeneği (Tamrock, 1984) tarafından açıklanmıştır ve Şekil 1' de gösterilmiştir.

Çizelge3. G,W, ve S₂₀ Değerlerinin Karşılaştırılması

| Malzemenin Adı | G (gr/dev) | W, kwh/sh.ton | S ₂₀ (%) |
|--------------------|------------|---------------|---------------------|
| Seydişehir Boksiti | 0 95 | 25 66 | 34 50 |
| Goltaş Kireçtaşı | 1 11 | 22 67 | 54 00 |
| MuğlaLeylakMer | 2 98 | 10 69 | 124 30 |
| Ilmen Bantı | 6 19 | 5 30 | 288 90 |



Şekil 1 Ufalanma değeri test düzeneği

Şekil 1'de görüldüğü üzere 14 kg. ağırlığındaki cisim sürtünmesiz olarak 500 gr. ağırlığa sahip -16 mm + 11.2 mm elek aralığındaki numunenin üzerine düşürülmektedir. Böylece her düşüşe karşılık gelen enerji $14 \text{ kg} \times 0,25 \text{ m} \times 9,81 \text{ m/sn}^2 = 34,3 \text{ joule}$ olmaktadır. Ağırlık 20 kez düşürülmüş, ufalanan numune 11,2 mm elek açıklığından elenmiş ve elek altı miktarı tartılarak bulunmuştur. Elek altına geçen miktarın numune miktarına (500 gr) oranı ufalanma değerini yüzde olarak vermektedir.

$S_{20} = \text{Ufalanma miktar (gr)} / \text{Toplam numune miktar (gr)} \times 100, \%$

4.1. Ufalanma indisi Test Sonuçları;

Yapılan testlere göre bulunan ufalanma indisi değerleri;

- Göltaş kireçtaşı. $S_{20} = \% 54$.
- ilmen bariti, $S_{20} = \% 289$,
- Seydişehir boksit cevheri. $S_{20} = \% 34.5$
- Muğla levlak mermeri. $S_{20} = \% 124.3$

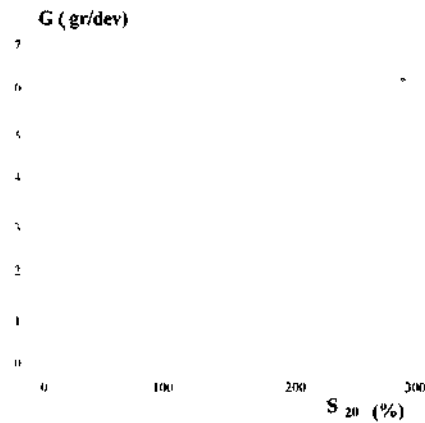
bulunmuştur. Bû değerler Çizelge 3'de gösterilmiştir.

5. BOND ÖĞÜTÜLEBİLİRLİK İNDİSİ (G), İŞ İNDİSİ (W,) VE UFALANMA DEĞERİ (S_M) ARASINDAKİ İLİŞKİ

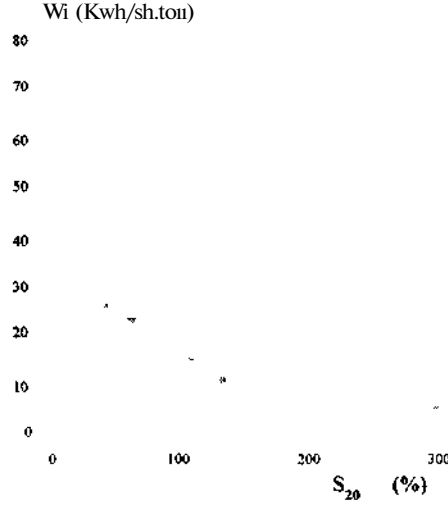
Çizelge 3.'de G, W, ve S₂₀ değerleri karşılaştırılmış ve bu değerler arasındaki ilişki de Şekil 2 ve 3' de gösterilmiştir.

6. SONUÇ

işletmelerde kırıcıların ve öğütücülerin seçiminde, bilyah ve çubuklu değirmenlerin enerji gereksinmelerinin tesbitinde. Bond öğütülebilirlik testi yaygın olarak kullanılmakta ve iyi netice vermektedir (Prasher, 1987). Fakat bu test ile sabit bir öğütülebilirlik katsayısı, ancak uzun süreli öğütme



Şekil 2 G ile S₂₀ arasındaki ilişki.



Şekil 3. Wi ile S₂₀ arasındaki ilişki

periyodları sonucunda elde edilmektedir. Bu amaçla çok kısa sürede ve basit bir deney düzeneği ile farklı özellikteki malzemeler içinde geçerli olabilecek bir öğütülebilirlik indisi tesbiti önem arz etmektedir. Bu nedenle düşünülen ufalama deney düzeneği ile ufalama değeri çok çabuk tayin edilebilmektedir. Ayrıca deney testi sonuçlarının karşılaştırılmasında ufalanma değeri ile öğütülebilirlik indisi ve Bond iş indisi arasında, korelasyon katsayısı yüksek anlamlı bir ilişkinin varlığında ortaya çıkmıştır. Şekil 2 ve 3'de bu ilişkilerin grafiği gösterilmiştir. Bu ilişkilerden öğütülebilirlik indisi (G) ile ufalanma değeri (S₂₀) arasındaki ilişkinin, doğrusal bir ilişki olduğu ve korelasyon katsayısının çok yüksek olduğu (0.99) belirlenmiştir (Eş.2);

$$G = 0.171 + 0.021(S_{20}) \quad (2)$$

Bulunan diğer anlamlı bir ilişki de Bond iş indisi (W,) ile ufalanma indisi arasındaki ilişkidir (Eş.3). Bu ilişkinin korelasyon katsayısı 0.97'dir.

$$W_i = 61.839 - 23.390(\log S_{20}) \quad (3)$$

Sonuçta ufalanma değeri kolayca bulunan malzemelerin Bond iş indisi bulunabilecek ve öğütücü ortam uyum faktörleri yardımıyla da endüstriyel boyuta uyarlanması sağlanmış olacaktır.

2. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, 16-17 hım 1997 izmir Turhıe

Ancak öğütmede 300 um elek kullanıldığından sonuçlar sadece kaba öğütmeler için kullanılabilir

KAYNAKLAR

Babu S.P., Cook D.S.,1973, "*Breaking, Crushing and Grinding*", SME Mining Engineering Handbook. Volume 2, AIMMPE, Inc., New York.

Bond F. 1961, "*Crushing and Grinding Calculations*". British Chemical Engineering.,6, 378-385.543-548.

Prasher C.L.. 1987, "*Crushing and Grinding Procès Handbook**", John Wiley & Sons Ltd., New York. 474pp

Tamrock. 1984, "*Handbook on Surface Drilling and Blasting*", Painofaktorit. Finland. 308 pp.