

## Göлтаş Kireçtaşının Kayaç Kalitesi ve Öğütülebilirliğinin Tespiti

H.T.Özkahraman, M. Şirin

S.D.Ü.Maden Müh. Bölümü, İSPARTA

**ÖZET:** Bu çalışmada, Göлтаş Çimento Fabrikası, kireçtaşı ocağından alınan kireçtaşı numuneleri üzerinde mekanik dayanım, jeomekaniik sınıflama deneyleri ile Bond öğütülebilirlik testi yapılmıştır. Bu deneyler sonucunda Göлтаş kireçtaşının sınıflandırması yapılmış ve öğütülebilirliği belirlenmiştir. Ayrıca, Çimento hammaddesinin (farin) öğütülebilirliği de laboratuarda tayin edilmiş, bulunan değer, Göлтаş Çimento Fabrikası'nda öğütme için harcanan enerji sarfiyatı ile karşılaştırılarda kullanılmıştır.

**ABSTRACT:** In this study, Laboratory tests are carried out on samples of Göлтаş limestone taken from Göлтаş cement factory's limestone quarry to determine its strength and geomechanical classification parameters together with grindability tests. As a result of this tests rock quality of Göлтаş limestone and its grindability is determined. In addition, grindability of cement raw material (farin) is also determined in the laboratory. This grindability value is used in comparison with the energy consumption at grinding process in the cement mill.

### 1. GİRİŞ

Göлтаş Çimento Fabrikası'na hammadde sağlayan kireçtaşı ocağından alınan numuneler üzerinde dayanım, fizikomekanik özellik deneyleri yapılmış ve Bond İş indisi tespiti yapılmıştır. Yapılan bu deneylerle Göлтаş kireçtaşının mekanik mukavemeti, kayaç kalite sınıflandırması ve öğütülebilirliği belirlenmiştir.

Ufalama işlemi; malzemenin ocaktan üretilip, öğütme işlemi bitinceye kadar geçirdiği evreleri kapsar. Ufalamanın genel amacı; taşınacak derecede boyut küçültmek, belirli boyutta ve şekilde tane üretmek, mineralleri serbest hale getirmek ve yüzey büyültmektir. Örneğin, çimento üretiminde kullanılacak kireçtaşı tanelerinin ince boyuta indirilmesi sonucunda, yüzey büyütülerek kaisinasyon işleminin kolaylaştırılması sağlanmış olur. Eğer kireçtaşlarından asfalt yol yapımında, kullanılacak micir üretilecekse bunun 15 mm tane iriliğinde ve küresel taneler olması daha çok arzu edilmektedir.

Ufalama işlemlerinde, enerji maliyeti, fazla enerji sarfiyatından dolayı çok yüksek olmaktadır. Maliyeti düşürmek açısından ufalamanın gerektiğinden fazla olmaması, ufalama (kıırma+öğütme) ekipmanlarının uygun seçilmesi ve ekonomiklik açısından optimum şartlarda çalıştırılması gerekmektedir. Bu nedenle tesis dizaynı için ufalanacak malzemenin öğütülebilirliğinin tespiti önem taşımaktadır. Öğütülebilirliğin belirlenmesinde ve tesisin "enerji gereksinimi"nin hesaplanmasında genelde Bond (1961)'un önerdiği yöntem kullanılmaktadır (Demirel ve Öztürk, 1988).

### 2. GÖLTAŞ KİREÇTAŞININ JEO-MEKANİK SINIFLANDIRMASI

Göлтаş kireçtaşlarının dayanım ve fizikomekanik özelliklerinin tespit edilebilmesi için laboratuarda gerekli kaya mekaniği deneyleri yapılmıştır, (Deneyler TS 699 standartlarına uygun olarak yapılmıştır). Deney sonuçları Çizelge'de verilmiştir (TS 699, 1987).

Çizelge. Göltaş Kireçtaşının Bazı Jeomekanik Özelliklerine Ait Deney Sonuçları

Orjinal Ağırlık	Birim Hacim Ağırlığı	Kütlece Su Emme	Hacimce Su Emme	Porozite	Sismik Hız	Schnirth Çekici Darbe Sayısı	Tek Eksenli Basma Dayanımı (MPa)	Sürtünme Açısı	Kobelyon	Elastisite Modülü	Poisson Oranı
(g/cm <sup>3</sup> )	(g/cm <sup>3</sup> )	(%)	(%)	(%)	(m/sn)		(MPa)	(°)	(MPa)	(GPa)	
2.68	2.67	0.43	1.15	0.37	V <sub>1</sub> (L)* =6113 V <sub>2</sub> (M)** =6047	56	σ <sub>c</sub> (L) =54.95 σ <sub>c</sub> (M) =44.39	50	10	37.30	0.339

\* Süreksizliklere dik yönde dayanım

\*\*Süreksizliklere paralel yönde dayanım

Ayrıca, Göltaş kireçtaşının yapı malzemesi olabilmesi açısından, TS 699 ile karşılaştırması yapılmıştır. Bu karşılaştırma aşağıda özetlenmiştir.

### 2.1 Yapı Malzemesi Standartları ile Kireçtaşının Fiziksel Özelliklerinin Karşılaştırılması

Göltaş kireçtaşının birim hacim ağırlığı 2.67 gr/cm<sup>3</sup> olup TS 699'da verilen minimum değerden daha yüksektir. Ağırlıkça su emmesi % 0.75 den daha az olup % 0.43 değerindedir. Porozitesi ise standart değerden ancak 1/6'sı kadardır. Bu da Göltaş kireçtaşının gözenekliliğinin çok düşük ve sık bir tekstüre sahip olduğunu göstermektedir. Bu özellik, sismik hız deneyinde de bulunmuş (6047 m/s), kayacın sismik hızı 6000 m/sn'den büyük çıkmıştır. Butun bu sonuçlar dikkate alındığında kayacın yapı malzemesi olarak kullanılabilmesi ve sert kireçtaşı sınıfına girdiği gözlenmektedir. Göltaş kireçtaşının laboratuarda tesbit edilen değerleri, TS 699 standart değerleriyle karşılaştırmalı olarak Çizelge 2'de gösterilmiştir.

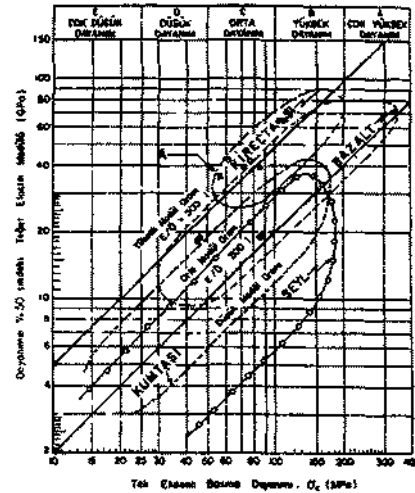
Çizelge 2. Standart değerlerin Göltaş kireçtaşının fiziksel özellikleri ile karşılaştırılması

Deney Adı	TS 699	Göltaş Kireçtaş
Birim Hacim Ağırlığı (gr/cm <sup>3</sup> )	>2.55	2.67
Ağırlıkça Su Emme (%)	<0.75	0.43
Porozite (%)	<2	0.37
Sismik Hız (m/sn)	>5000	6047

### 2.2 Göltaş Kireçtaşının Deere ve Miller Birleştirilmiş Mühendislik Sınıflaması

Deere ve Miller (1966) iki bölümden oluşan sınıflandırmalarında "Birleştirilmiş Mühendislik Sınıflaması" adıyla bir abak oluşturmuşlardır. Bu

sınıflamada laboratuvar testleriyle belirlenen E<sub>i</sub> ve a<sub>c</sub> değerleri bu abağa yerleştirilerek, kayaç sınıflaması yapılır. Şekil 1'de verilen abakta E<sub>i</sub> = 37.30 GPa ve a<sub>c</sub> = 54.95 MPa değerleri dikkate alınarak karşılık gelen A noktası tespit edilmiştir. Göltaş kireçtaşının yüksek modül oranlı E<sub>i</sub> / G<sub>c</sub> > (500:1) olduğu bulunmuştur.



Şekil 1: Deere ve Miller Birleştirilmiş Mühendislik Sınıflaması Abağı

Şekil 1'de görüldüğü üzere A noktası Göltaş kireçtaşının orta dayanıma sahip bir kayaç olduğunu göstermektedir.

Yüksek elastisite modülüne (E<sub>i</sub> = a<sub>c</sub>/e) sahip kayaçlar basıncı altında az deforme olmaktadır. Göltaş kireçtaşı da bu kategoriye girmektedir. Göltaş kireçtaşının deформasyon deney sonucuna göre elastisite modülü 37.30 GPa bulunmuştur.

### 2.3 JRM R Sistemi Sınıflandırması (Bieniawski 1973)

Göлтаş kireçtaşı formasyonunun RMR sınıflaması yapılmış, Çizelge 3'de gösterilmiştir.

Çizelge 3. RMR Sistemi Sınıflandırma Tablosu

Sınıflama Parametreleri	Değeri veya Tanımı	Puan
1. Tek Eksenli Basma Dayanımı, MPa	54.95	6
2. Kayaç Kalite Tanımı (RQD)	95	19
3. Süreksizlik Aralığı (m)	0.6-2	15
4. Süreksizlik Durumu	Az kaba yüzeyler, aynılma < 1mm, sert eklem yüzeyleri	20
5. Yeraltı Suyu	Tamamen kuru	15
<b>TOPLAM PUAN</b>		<b>75</b>

RMR sistemine göre 80-61 dereceleri arasında olan kayaçlar II. sınıf kayaçlardır. Buna göre Göлтаş kireçtaşları n. sınıf (iyi kayaç) sınıfına girmektedir.

### 3. GÖLTAŞ KİREÇTAŞININ ÖĞÜTÜLEBİLİRLİĞİ

Kireçtaşlarının öğütülebilirliğinin tespitinde farklı metotlar uygulanmaktadır. Fakat işletmelerde kırıcı ve öğütücü seçiminde bilyalı ve çubuklu değirmenlerin enerji ihtiyaçlarının tespitinde Bond öğütülebilirlik testinden daha fazla yararlanılmaktadır (Köse ve Koç, 1990).

Bu çalışmada, Göлтаş kireçtaşının öğütülebilirliğinin tespitinde de Bond öğütülebilirlik testinden yararlanılmıştır. Yapılan öğütme testinin sonucunu kontrol amacıyla referans malzeme olarak Göлтаş Çimento Fabrikası çimento hammaddesi (farin) kullanılmıştır. Bu çimento hammaddesinin bileşenleri;

Kalker %55-65, Mam %35-45, Demir cevheri %2-3' den oluşmaktadır. Hammaddeler döner fırına girmeden önce öğütülmektedir. Bu öğütülmüş hammaddeye farin adı verilmektedir.

#### 3.1 Çimento Hammaddesinin Bond Öğütülebilirlik Testi

Göлтаş Çimento Fabrikası çimento hammaddesinin 106 /i test elek açıklığında Bond test sonuçları aşağıdaki gibidir.

Wo: (700 cc'lik çimento hammaddesi numunesinin ağırlığı) = 1218.78 g.

B : (Besleme malzemesindeki 106 |x'nun altına geçen malzemenin yüzdesi) = % 10.37  
C : (Gerekli ürün ağırlığı) = 1218.8x0.286=348.57 g.

Çizelge 4. Çimento Hammaddesi Bond Öğütülebilirlik Testi

Devir R	Ürün C	Besleme B	C-B	Öğütme Katsayısı G=(C-B)/R
90	259.51	126.39	133.12	1.45
222	255.97	26.91	229.06	1.03
313	302.65	26.54	276.11	0.88
360	320.68	31.39	289.29	0.80
394	366.01	33.26	332.75	0.85
365	347.90	37.95	309.95	0.85
367	349.60	36.08	313.52	0.85

Test sonucunda çimento hammaddesinin öğütme katsayısı (G), 0.85 gr/devir bulunmuştur. Beslemenin % 80' nin geçtiği elek açıklığı 2.85 mm., ürünün % 80' nin geçtiği elek açıklığı 70 JJ, tesbit edilmiştir. Bu sonuçlar neticesinde Bond iş indisi:

$$W_i = 44.5 / \sqrt[5]{G} \cdot 10 \cdot \frac{10}{D} \quad (D)$$

W<sub>i</sub> = 17.26 kwh/st, bulunmuştur.

Formül 1'de;

W<sub>i</sub> : İş indisi (kwh/st)

P : Test elek açıklığı (106 u)

G : Öğütülebilirlik katsayısı (0.85 gr/devir)

P<sub>80</sub> : Ürünün % 80' nin geçtiği elek açıklığı (70 u)

F<sub>80</sub> : Beslemenin % 80'nin geçtiği elek açıklığı (2850u)

Bulunan iş indisi değerinin Göлтаş Çimento Fabrikası'nda kullanılmakta olan bilyalı değirmene uyarlanması için aşağıdaki faktörlerle çarpılması gerekmektedir. Bond (1961), Prasher (1987) ve Babu ile Cook (1973)'ün önerdikleri faktör değerlerinin kullanılmasıyla aşağıdaki sonuçlar bulunmuştur:

F<sub>1</sub> (Kuru öğütme faktörü) = 1.3

F<sub>2</sub> (Açık devre bilyalı öğütme faktörü) = 1.1

F<sub>3</sub> (Çap etkinlik faktörü) = 0.914

F<sub>4</sub> (Besleme malzemesinin normal boyuttan büyük olma faktörü), Buda;

$$F_4 = \frac{R_r + (W_r - 7) \times \frac{(F - F_o)}{F_o}}{R_r}$$

$$R_r = \frac{F}{P} (\text{ufalama oranı}) = \frac{25000}{90} = 278 \quad (2)$$

$$F_o = 4000 \times \sqrt{\frac{13}{W_1}} = 4000 \times \sqrt{\frac{13}{17.26}} = 3471.45$$

Sonuçta  $F_4 = 1.23$  olarak hesaplanmıştır.

Formül 2'de, F= Beslemenin %~ 80 ilin geçtiği elek açıklığı (25000u), P Ürünün %80'ninin geçtiği elek açıklığı olup (90u.) dir.

Yukarıda F değerlerinden birim ton için harcanan enerji;

$$E = W_1 \left[ \frac{10}{\sqrt{P_{80}}} - \frac{10}{\sqrt{F_{80}}} \right] \sum_{i=1}^n F_i$$

$$E = 17.26 \left[ \frac{10}{\sqrt{90}} - \frac{10}{\sqrt{25000}} \right] \times 1.6076$$

$E = 27.5 \text{ Kwh/st} / 0.907 = 30.3 \text{ Kwh/ton}$  bulunur.

Göлтаş Çimento fabrikasının bilyah değirmeni kapalı devre ve hava süpürmeli olup boyutları ;  
Çap : 4.2 m, Boy : 10.5 m., Motor gücü : 2750 kw.  
Değirmen tek kompartımanlıdır. Bilya Şarjı aşağıdaki gibidir;

90 mm	30 TON
80 mm	25 TON
70 mm	20 TON
60 mm	18 TON
50 mm	22 TON
40 mm	32 TON
30 mm	22 TON
TOPLAM	169 TON

Göлтаş " Çimento fabrikasında kullanılan bilyah değirmende harcanan enerji ise 30.5 kwh/ton'dır Bu değer 1997 yılında Göлтаş istatistiğinden alınmıştır. Bu değer ile Bond testinden elde edilen enerji sarfiyatı karşılaştırıldığında beher ton için harcanan enerji sarfiyatı hemen hemen aynıdır (Göлтаş farin değirmen enerji sarfiyatına göre aralarında %1'den az bir fark vardır). Bu farkın ortama etki eden çok sayıda faktörden kaynaklandığı sanılmaktadır.

Bulunan değerler kabul edilebilir sınırlar içinde olup endüstrideki değirmen değeri ile uyum içindedir.

### 3.2 Göлтаş Kireçtaşı Bond Öğütülebilirlik Testi

Bu testte kireçtaşı için test elek açıklığı 300µ kullanılmıştır.

$W_0$ : 1159.31g.

B : %15.70

C :  $1159.31 \times 0.286 = 331.56 \text{ g.}$

Çizelge 5'de öğütme sonucu gösterilmiş, son üç öğütme periyodunda öğütme katsayısı sabitleşmiş, 1.11 gr/devir olarak elde edilmiştir.  $F_{80} = 2800\mu$  ve  $P_{80} = 220X$  olduğu tespit edilmiştir. Bu verilere göre Formül 1'den "İş indisi (W<sub>1</sub>) = 22.7 kwh/st" bul nmuştur. Literatürde ise iş indisi değerlerini Babu ve Cook (1973) ile Bond (1961) kireçtaşı için 17.3 kwh/ton, çimento hammaddesi için ise 14 kwh/ton olarak verilmiştir. Dolayısıyla bulunan bu yüksek iş indisi değerlerinin Göлтаş kireçtaşının sıkı dokulu ve nispeten az gözenekli olmasından dolayı kaynaklandığı söylenebilir..

## 4. SONUÇ

Göлтаş Kireçtaşı'nın TS 699'a göre doğal yapıtaşı standardına uygun olduğu saptanmıştır. Deere ve Miller kaya sınıflamasına göre orta dayanımlı, fakat yüksek modül oranına sahip olduğu belirlenmiştir. Bundan da bu kireçtaşlarının kırılması esasında fazla deforme olmayacağı anlaşılmaktadır. Bu nedenle ocakta patlatma ile kırılmasına rağmen, atım kütesinden alınan malzemenin öğütülmesi esnasında yüksek öğütme enerjisi gerekmektedir. RMR kayaç sınıflandırma sistemine göre ikinci sınıf (iyi kayaç) grubuna girdiği tespit edilmiştir. Göлтаş kireçtaşının öğütülebilirliği, "Bond öğütülebilirlik" testi ile belirlenmiştir. Kireçtaşı için bulunan öğütülebilirlik katsayısından iş indisi 22.7 Kwh/ton olarak hesaplanmıştır. Kireçtaşları için bu değer Babu ve Cook (1973) tarafından literatürde 17.3 Kwh/st olarak verilmiş olduğundan, Göлтаş kireçtaşının diğer kireçtaşlarına göre %31 nispetinde daha zor öğütülebileceği söylenebilir. Diğer taraftan çimento fabrikasında farin değirmenlerinin gerçek verilerinden hesaplanmış fiili enerji sarfiyatının, laboratuvar ölçekte bulunan öğütülebilirlik değeriyle uyum içinde olduğu tespit edilmiştir. Bu çalışma neticesinde, laboratuvar öğütülebilirlik testinin, gerçek tesislerin projelendirilmesinde kullanılabileceği ortaya çıkmıştır. Öğütülebilirlik ile kireçtaşının

sınıflandırması arasında mantıklı bir ilişki olmasına rağmen, gerek kayacın litolojisini teşkil eden parametrelerin çokluğu gerekse öğütülebilirliği etkileyen faktörlerin çok değişken olması nedeniyle matematiksel bir ilişki belirlenmemiştir

Prasher, C.L. 1987. *Crushing and Grinding Process Handbook*, Consultant to Chemical and Mechanical Engineering Industry. Linora Technical Associates John Wiley & Sons Limited Chichester. New York. Brisbane Toronto Singapore.

Çizelge 5. Kireçtaşı Bond Öğütülebilirlik Testi

Devir (R)	Ürün (C)	Besleme (B)	C-B	Öğütme Katsayısı $G=(C-B)/R$
95	282.41	182.01	100.40	1.06
271	324.44	44.34	280.10	1.03
272	340.12	50.94	289.18	1.06
262	349.57	53.40	296.17	1.13
245	367.64	54.88	312.76	1.28
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	51.91	279.65	1.11

Türk Standartları, TS 699. 1987. *Tabii Yapı Taşları Muayene ve Deney Metodları*, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

## 5. KAYNAKLAR

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

Bieniawski, Z.T., 1973. *Engineering Classification of Jointed Rock Masses*, Transactions of S. African Institution of Civil Engineers, V.15, No.12, pp.335-344.

Bond, F.C., 1961. *Crushing and Grinding Calculations*, Allis-Chalmers, Milwaukee, pp. 13-14.

Deere, D.U., Miller, R.P. 1966. *Engineering Classification and Index Properties for intact Rock*, Tech. Rept. No. AFWL-TR-65-116, Air Force Weapons Lab., Kirtland Air Force Base, New Mexico, USA.

Demirel, H., Oztürk H. 1988. *Grindability Determination of Cement Raw Materials*, II. International Mineral Processing Symposium., İzmir, Turkey

Köse, M., Koç M. 1990. *A Simplified Method of Determining The Bond Work Index*, MTA Technology Department, Ankara, TURKEY.