

KÖMÜR MADENCİLİĞİ KAYAÇ KÜTLE SINIFLANDIRMASI

M.J. SCOBLE(*)
Y.V.MÜFTÜOĞLU(**)

ÖZET

Bu makalede kömür madenciliğinde karşılaşılan Kömür Çevre Kayaçlarının detaylı bir sınıflandırılması sunulmaktadır. Bu sınıflandırmanın amacı, yerüstü ve yeraltı madenciliğinde jeolojik ve jeoteknik çevreyi tanımlamaya yarayacak bir sistem oluşturmaktadır. Ayrıca kaya kütle kalitesi ve maden işletme tasarımı için bir temel oluşturma amacına da yöneliktir. Bu sınıflandırma, kömür madenciliğinde arazide ve laboratuvarında yapılmış kaya mekaniği araştırmalarına dayanmaktadır.

ABSTRACT

This paper presents a detailed classification of Coal Measures rock units encountered in coal mining. The concept of the classification is to provide a system to define the geological and geotechnical environment of a surface or underground mining operation. It also is aimed to serve as the foundation for the assessment of rock mass quality and subsequent mine design. It originates from laboratory and field rock mechanics research in coal mining.

(*) Ass. Prof., Department of Mining and Metallurgical Engineering McGill University, Montreal-CANADA.

(**) Yar. Doç. Dr., H.C., Zonguldak Mühendislik Fakültesi Maden Müh. Böl., ZONGULDAK.

1. GİRİŞ

Yerüstü ve yeraltında kazı sonucu oluşan yapıların davranışlarının anlaşılabilmesi için, yalnızca basit olarak kayaç isimlerinin değil de kayacın kütle özelliklerinin temel olduğunun, maden mühendislerince anlaşılması çok yakın bir geçmişe dayanmaktadır. Ne yazık ki Kömür Çevre Kayaç Kütleleri yapılarında önemli oranda süreksizlik ve anizotropi göstermektedirler. Bunların araştırma sondaj ve kazılarında dayanarak belirlenmesi bazı güçlüklerle engellendiğinden, geçmişte birçok madencilik projeleri, çevre kayaç kütlelerinin yeterince tanımlanmamasından kaynaklanan birçok beklenmedik sorunlardan olumsuzca etkilenmiştir, önceki kaya mekaniği araştırmalarında yazarların temel hedeflerinden birisi de Kömür Çevre Kayaç Kütlelerinin karakterize edilebilmelerini ilerletecek metodların geliştirilmesi olmuştur. Bunun gibi bir çalışmanın bir kayaç yapısı için optimum kazı tekniği, ortamın kazıyı takiben davranışı ve tahkimat gereksinimi üzerinde daha başarılı tahminlere götüreceği şüphesizdir. Bu makale kayaç kütlelerinin karakterize edilebilmeleri için, bir temel teşkil edecek Kömür Çevre Kayaçlarının bir Mühendislik Sınıflandırmasının geliştirilmesini içermektedir. Ayrıca böyle bir sınıflandırmanın gerek yerüstü ve gerekse yeraltı işletme tasarımına uygulanması da gözden geçirilmektedir.

Kömür Çevre Kayaçlarının Mühendislik Sınıflandırmasının amaçları şunlardır:

- a) Mühendisler, jeologlar ve yöneticiler arasındaki teknik uyumu geliştirmek,
- b) Kayaç kütle davranışlarının anlaşılmasını geliştirmek amacıyla sürekli dokümantasyon ve işletmelerdeki örnek olay araştırmalarının değerlendirilebilmesi için bir temel oluşturmak,
- c) Mühendislik kullanımı için kayaç kütlelerini sayısal olarak değerlendiren sistemler geliştirmek.

Burada sözü edilen sınıflandırma sistemi, yakın geçmişte görülmüş, kayaç kütle kalitesini sayısal ağırlıklı değerlendiren sistemlerden farklıdır (1, 2, 3). Bu tür çalışmalar; tek eksenli basma dayanımı, R, Q, D., süreksizlik ve yatak kalınlıkları ve doğrultuları, süreksizliğin durumu ve yeraltı suyu gibi genellikle kayaç kütle özelliklerine dayanmaktadır. Burada sunulan sınıflandırmada kullanılan yaklaşım aynı değildir. Ayrıca önemle belirtmek gerekir ki bu sistem İngiliz Kömür Madenciliği içindir ve diğer farklı bir kömür madenciliği ortamına doğrudan uygulanması önerilmemektedir. Buna karşın hazırlanmasındaki kullanılmadığı yaklaşım, maden işletme tasarımı için temel olarak görülmektedir. Kömür Çevre Kayaç Kütlelerini oluşturan, sık sık rastlanan kaya ünitelerinin, basit ve pratik olarak, Uluslararası Kaya Mekaniği Kurumu'nun temel jeoteknik tanımlamasına ilişkin önerilerine de (4) uygun olacağı şekilde, yerinde tanımlanmasını sağlamak düşüncesine dayanmaktadır. Kömür Çevre Kayaçları, içinde çoğunlukla tekrarlanan kaya üniteleri olan, karışık bir şekilde yataklanmış kütlelerden oluşmaktadır. Burada kaya üniteleri, detaylı litolojik tanımlamayı gereksindirmeyecek bir şekilde, yerinde sık sık gözlenen, basitleştirilmiş litolojik isimlerle belirtilmektedirler (U 1 den U 10'a kadar). Bu tür bir yaklaşımla sınıflandırmanın jeologlar ve mühendisler arasındaki boşluğu dolduracağı ümit edilmektedir.

Çizelge 1 — Kömür Çevre Kayaçlarının Sınıflandırması

KAYA ÜNİTE No		U 1	U 2	U 3	U 4	U 5	U 6	U 7	U 8	U 9	U 10
KAYA ÜNİTE TANIMI		MASİF ÇAMURTAŞI	TABAKALI ÇAMURTAŞI	KÜÇÜK YATAKLANMIŞ SİLT TAŞI VE ÇAMURTAŞI	MASİF SİLT TAŞI	TABAKALI SİLT TAŞI	BABNAŞIK İÇİCE YATAKLANMIŞ SİLT TAŞI VE ÇAMURTAŞI	TABAKALI SİLT TAŞI VE KUMTAŞI	MASİF KUMTAŞI	TABAKALI KUMTAŞI	KUMÜR KİLİ
FİZİKSEL ÖZELLİKLER	KURU YOĞUNLUK q/m^3	2.1 ± 0.2	2.1 ± 0.2	2.3 ± 0.2	2.6 ± 0.2	2.6 ± 0.2	2.5 ± 0.2	2.5 ± 0.2	2.4 ± 0.2	2.4 ± 0.2	2.4 ± 0.1
	SUYA DAYANIMLILIK I_{d2} %	< 40	< 80	70 ± 20	75 ± 10	85 ± 10	90 ± 10	90 ± 10	95 ± 5	95 ± 5	40 ± 20
	FOROSİTE a %	12-35	12-35	14-22	8 ± 3	8 ± 3	12 ± 2	12 ± 2	19 ± 3	13 ± 3	12-7-33
	F-DALGA HIZI (YERİNDE) m/s	1150 ± 250	950 ± 250	1250 ± 350	1850 ± 650	1800 ± 400	1600 ± 400	1600 ± 400	1850 ± 650	1600 ± 400	950 ± 250
YATPAK ÖZELLİKLERİ	YATAK KALINLIĞI m	> 0.6	< 0.01	< 2	> 0.6	< 6	< 3	< 1	> 0.6	< 6	< 2
	SÖREKSİZLİKLER ARASI MESAFE m	> 0.4	< 0.6	< 0.4	> 0.6	< 1.0	< 0.6	< 1.0	> 0.6	< 1.0	< 6
	KAYAÇ KALİTE TANIMI (TAYINI) %	> 50	< 50	< 60	70 DEN 100 E	50 DAN 100 E	50 DAN 100 E	50 DAN 100 E	70 DEN 100 E	50 DEN 100 E	< 60
	ÇATLAK FREKANSI m^{-2}	< 10	> 10	> 10	< 4	< 15	< 15	< 15	< 4	< 12	> 8
	BLOK ŞEKLİ	Y.K.Ş. VEYA DEĞİŞKEN	FLAGGY VEYA K.K.Ş.	Y.K.Ş. VEYA FLAGGY	Y.K.Ş. VEYA DEĞİŞKEN	FLAGGY	Y.K.Ş. VEYA FLAGGY	FLAGGY	Y.K.Ş. VEYA KOLON	FLAGGY	DEĞİŞKEN
	BLOK HACMI m^3	> 0.2	< 0.01	< 0.01	> 0.2	< 0.3	< 0.2	< 0.2	> 0.2	< 0.5	< 1
	KAYA DAYANIMI	BASMA DAYANIMI MM/m^2	Suya Doym.	5 ± 2	25 ± 3	45 ± 4	45 ± 4	48 ± 12	48 ± 12	112 ± 65	112 ± 65
Kuru			40 ± 10	50 ± 7	65 ± 7	63 ± 7	64 ± 11	64 ± 11	165 ± 89	165 ± 89	27 ± 7
ÇEKME DAYANIMI		Suya Doym.	0.6 ± 0.2	2 ± 1	4 ± 1	4 ± 1	5 ± 1	5 ± 1	9 ± 5	9 ± 5	0.1 ± 0.01
		Kuru	4 ± 1	6 ± 1	8 ± 1	8 ± 1	7 ± 2	7 ± 2	12 ± 7	12 ± 7	5 ± 0.5
NOKTA YÖKLEME İNDEKSİ I_{p50}		1.4 ± 0.3		1.7 ± 0.2	2.2 ± 0.2	2.2 ± 0.2	2.2 ± 0.3	2.2 ± 0.3	5.6 ± 3.0	5.6 ± 3.0	0.9 ± 0.2
SCHMIDT ÇEKİCİ (N İTİPİ)		20'DEN 40'A		20-40	30-50	30-50	30-50	30-50	30-60	30-60	20-40
SÖREKSİZLİK DAYANIMI	GÜRÖNÜR KOHEZYON N/m^2	< 200		< 200	100-300	100-300	100-300	100-300	100-400	100-400	< 30
	İÇSEL SÜRTÜNME AÇISI Derece	min.	21'DEN 29'A	21-35	30-35	30-35	30-35	30-35	25-37	25-37	6-24
		maks.	27'DEN 35'E	27-35	30-35	30-35	30-35	30-35	32-37	32-37	15-24
	İNDEKS A	Suya Doym.	2.1		2.1	2.4	2.4	2.4	2.4	5.0	5.0
Kuru		2.4		2.4	2.8	2.8	2.8	2.8	5.5	5.5	2.0

Y.K.Ş. — Yarıktık Kırık Saldırak

K.K.Ş. — Kama ya da Kuyruk Beldinde

Sınıflandırma sistemi Çizelge 1'de gösterilmiştir. Tabloda her kaya ünitesi için fiziksel, yapısal ve hem kayanın ve hem de süreksizliklerinin dayanım karakteristik değerleri sunulmuştur. Bu veriler, İngiltere Ulusal Kömür Kurumu Açık İşletme Yönetiminin yardımıyla gerçekleştirilmiş jeoteknik arazi ve laboratuvar çalışmalarından derlenmiştir (5). İngiliz Kömür Çevre Kayaçları içinde yapılacak kaya mühendisliği projeleri için bir temel oluşturma amacını gütmektedir. Gelecekte, kalite veya sayısal ağırlıklı değerlendirmeye dayanan, yerüstü ve yeraltı işletme tasarımı için özgün sınıflandırma sistemlerinin bu temel üzerinde oluşacağı ümit edilmektedir.

2. SINIFLANDIRMA SİSTEMİ

Bir sınıflandırma sistemi, mühendislik kullanımı için basit, öz ve pratik olmalıdır. Elliot ve Strauss tarafından önerilen Kömür Çevre Kayaçlarının Jeolojik sınıflandırması, tane boyutu ile birlikte kuvars ve kil miktarına dayanmaktadır (6). Bu, kum, silt ve çamurtaşlarının yerinde belirlenebilmesi için basit bir metod oluşturmuştur. Bazı jeologlar tarafından, litofasiyeslere dayanan sınıflandırmalar da önerilmiş ise de, bunlar sürekli mühendislik kullanımı için çok karmaşık ve detaylıdır (7, 8). Jeolog arazi çalışmasında, temel verilerin toplanması için sorumludur ve bu işlemin de mühendisler için düzenli ve kolay anlaşılabilir bir forma kayıt edilmesi gerekir. Buradaki mühendislik sınıflandırmasının amacı, karışık jeolojik tanımlardan uzak ve Kömür Çevre Kayaç Kütlelerini oluşturan kaya ünitelerinin, geniş gruplar şeklinde ayrılmasıdır. Bu kaya üniteleri, kaya mühendisliğinin Kömür Çevre Kayaçları içindeki gereksinimlerini tam olarak karşılayabilmek için, kolayca tanınabilme ve oluşum süreklilikleri dikkate alınarak belirlenmiştir.

U1 ve U2 kaya üniteleri çamurtaşlarını içermektedir. Çamurtaşlarından kastedilen % 20 (ağırlıkça) den az ve tane çapı 0.004 mm den büyük kuvars minerallerini içeren killi ünitelerdir. Bunlar koyu griye kadar renk değişimi gösteren ve Spears'in (9) çamurtaşları olarak nitelendirdiği gruba eşdeğerdirler, yalnız kömürkil (seatearths) lerini içermezler. Sınıflandırma tablosu metinde İngilizce olarak verildiğinden, kullanılan kavramların Türkçeleri ile birlikte İngilizce karşılıkları parantez içinde metinde yer almıştır. Çamurtaşlarının (mudstones) iki gruba ayrılması yapısal parametrelere dayanmıştır, örneğin masif ya da laminalı. Masif, yatak kalınlığı fazla olan ve içindeki süreksizlikleri geniş aralıklarla (> 0.6 m) olan kaya ünitelerini; buna karşın laminalı, içindeki tabaka kalınlıkları 0.01 m den küçük olan kaya ünitelerini tanımlar. Şeyller (shales) U 1 ya da U 2 kaya ünitesi altında kırılğan (fissile) çamurtaşı şeklinde görülmektedir. Kırılğanlık (fissility) bir kayanın yataklanma düzlemi boyunca, birbirine yaklaşık olarak paralel yüzeyler halinde yanlmaya yatkınlığıdır. Bazı araştırmacılar kil minerali türünün bir çamurtaşının kırılğan olup olmayacağını belirleyeceği görüşünü savunmuşlardır. Ingram (10) gelişigüzel bir araya getirilmiş çamurtaşlarında, kırılğanlık ve kil minerali türü arasında bir ilişki gözlemediğini belirtmiştir. Bir çamurtaşının kırılğanlığının özellikle kil mineralinin dokusuna bağlı olduğunu bulmuştur. Kırılğanlığın ayrıca organik madde miktarı ve laminasyon ile de ilişkili olduğu anlaşılmıştır. Kırılğanlık gelişmesi, başkalaşmanın süreci ve türüne bağlı olduğundan, bu gelişmenin yüzeydeki kaya mostralarına kıyasla sondaj ka-

rot örneklerinde yeterli boyutlara erişmemiş olması bir sorun ortaya çıkarmaktadır (9, 11). Bu nedenle kırılabilirliği, çamurtaşlarının sınıflandırmasında önemli bir etken olarak kullanmak oldukça zordur.

Kömürkili (seatearth) ünitesi (U 10) genellikle çok ince kalınlıklarda bulunmasına karşın varlığı mühendislik açısından önemli olduğundan, ayrı bir kaya ünitesi olarak ele alınmıştır. Kömürkili burada, kil mineralleriyle birlikte ince taneli silt ve çamurtaşlarından oluşan, topraksı dokuya sahip bir malzeme olarak tanımlanabilir. Karakteristik olarak rengi griden kahverengimsi griye kadar değişebilir ve genellikle laminasyon ve tabakalaşma göstermez.

Karakteristik olarak gri renkteki siittaşı üniteleri, içinde tane çapları 0.004 mm den büyük kuvars miktarının % 50 ile % 20 (ağırlık olarak) arasında olan bir kayaç türü olarak tanımlanmaktadır. Siittaşı diğer kaya ünitelerinin yokluğunda bağımsız olarak oluştuğunda, masif ya da tabakalı olmak üzere iki ayrı grupta sınıflandırılmaktadır (U4 ya da U5). Tabakalı ünite masif üniteden daha ince yatak kalınlığı (<0.5m) ve gri/açık gri bantlı yapısı ile ayrılır. Silttaşına zaman zaman çamurtaşıyla iç içe yataklanmış bir durumda da karşılaşıldığından, veri toplama ve değerlendirmesini kolaylaştırmak için ayrı bir kaya ünitesi sunulmuştur (U3 iç içe Yataklanmış Siittaşı ve Çamurtaşı). Siittaşı, benzer şekilde, kompleks bir tarzda kumtaşı ile iç içe yataklanmış olabilir ve bu durum için de U6 (Kompleks İç İçe Yataklanmış Siittaşı ve Kumtaşı) kaya ünitesi önerilmiştir. Bu kaya ünitesi iç içe lamina olmuş, değişik oranlarda bulunan kum ve silttaşlarından ibarettir; siittaşı genellikle daha fazladır. Çapraz tabakalanmanın değişik türleri (dalgalı, şeritli veya mercekli yataklanma) gözlenebilir. Siittaşı ve kumtaşlarının basit olarak tabakalar halinde birbiri üstüne dizilmesi halinde bu kaya ünitesi için U7 (Tabakalı Siittaşı ve Kumtaşı) önerilmiştir.

Kumtaşı, yapısında tane çapları 0.004 mm den büyük kuvars miktarı % 50 (ağırlıkça) nin üzerinde ve beyaza yakın ya da sarı renkte bir kaya olarak tanımlanmaktadır. Yapısal olarak masif ya da tabakalı iki üniteye, U8 (Masif Kumtaşı) ve U9 (Tabakalı Kumtaşı) a ayrılmıştır. Kömürün sınıflandırmaya dahil edilmeyişinin nedeni, tasarım safhasında üzerindeki ara kesme ve örtü tabakasına oranla çok daha detaylı olarak incelenmesidir. Onun da sınıflandırmaya alınması, çeşitli kömür türlerini kapsayacak bir düzenleme ile kaya ünite sayısında gereksiz bir artışa neden olacaktır. Buna karşın kömürün özelliklerinin jeoteknik olarak önemli olabileceği durumlarla da karşılaşılabileceği unutulmamalıdır.

3. KAYA ÜNİTELERİNİN ÖZELLİKLERİ

Sınıflandırmada sunulan kaya ünite özellikleri, fiziksel, yapısal, kaya malzemesi ve süreksizlik dayanımı şeklinde dört sınıfta gruplandırılmıştır. Bu özellikleri tanımlamak için kullanılan laboratuvar ve arazi deneyleri, Uluslararası Kaya Mekaniği Kurumunun önerdiği metodlara (4) uygun olarak yürütülmüştür. Tablodaki değerler genelde, kayaların kazıyla açığa çıkarılması ve bunu takiben başkalaşma olaylarının etkilerini içermemektedirler. Verilen değerler başkalaşma uğramamış kaya üniteleri için ya karakteristik sınıf ya da ortalama değerler olmaktadır.

3.1. Fiziksel Özellikler

Yoğunluk (density) ve porozite (porosity) değerleri sondajlardan elde edilmiş karat ya da işletmelerden sağlanan blok numuneleri üzerinde yapılmış deneylerden bulunmuştur. Bu değerler su ile doyurma ve sürgülü kompas teknikleriyle belirlenmiştir. Su ile doymaya dayanan porozite testleri, içerdikleri kil mineralleri nedeniyle çamurtaşı ve kömürkili için uygun bir metod olarak görülmemektedir. Suyu doymayı takiben bu kil minerallerinin şişip, dağılabilmeğe meyilli olabileceğinden ötürü nisbeten yüksek porozite değerleri elde edilebilir, bu da birbiriyle irtibatlı boşlukların mevcudiyeti şeklinde yorumlanmamalıdır. Tabloda sunulan **yoğunluk** değerleri kuru yoğunluk değerleridir. Verilen P- Dalga hızları (baskı dalgaları), üretim durumunda olan açık işletme ocaklarında, basamaklar üzerinde ölçülmüştür. 50 ile 60 m uzunluğundaki doğrultular üzerinde tek kanallı sismograf ile saptanmıştır. Son olarak kayaçların suya dayanımlılık deney (slake durability) sonuçları da tabloda sunulmuştur.

3.2. Yapısal özellikler

Bu özellikler, sondajlardan elde edilen katotlardan ve kömür açık işletmelerinde kayaç basamakları üzerinde yapılan gözlemler sonucu elde edilmişlerdir. Burada yatak kalınlığı (bedding spacing), o kaya ünitesini oluşturan yatakların ortalama kalınlığı olmakta ve tüm kaya ünitesini tek bir tabaka şeklinde gören yaklaşımdan (4) farklıdır. Tablo - 1 'de U3, U6 ve U10 için verilen yatak kalınlıkları bu tür kaya üniteleri için daha anlamlı ve uygun olan toplam yatak kalınlık değerleridir. Süreksizlikler arası mesafe (joint spacing), süreksizlik düzlemine dik olarak uzatılmış bir doğru boyunca, birbirine paralel süreksizlikler arasındaki ortalama mesafe olarak görülmektedir. Kömür Çevre Kayaçları içindeki ana süreksizlik sistemlerinin, genellikle $\pm 10^\circ$ lik bir sapma ile yatak düzlemine dik olarak oluştuğu sık sık gözlenmiştir. Süreksizlik uzunluklarının süreksizlikler arası mesafe ile ilişkili olduğu görülmektedir. Geniş aralıklarla yer alan süreksizliklerin boyları diğer kısa aralıklı olanlara oranla daha uzundur. İngiltere'deki tüm kömür açık işletmelerinde gözlemlerde bulunan Cobb (12), "yatak kalınlığı - süreksizlikler arası mesafe" oranının "1 ile 1/3" arasında değiştiğini belirtmektedir. R.Q.D. (Rock Quality Designation) kaya kalite tayini, boyları 0.1 m yi aşan karotların toplam uzunluklarının, toplam karot uzunluğuna göre yüzdesi şeklinde tanımlanabilir. Çatlak frekansı (Fracture Frequency) da 1 m uzunluğundaki sondaj karotu üzerinde yeralan çatlakların sayısı olarak belirlenmektedir. Yazarlar loğlama sırasında, R.Q.D. ye kıyasla daha bağımsız ve daha az sübjektif olan çatlak frekansının kullanılmasını desteklemektedirler. Kömür Çevre Kayaç Kütlelerinin, yatak yüzeyleri ile süreksizlik düzlemlerinin kesişiminden oluşan bloklardan oluştuğu şeklinde nitelendirilebilir. Bu blokların şekillerinin ve boyut dağılımlarının kaya kütlelerinin mekanik davranışları üzerinde hayli etkin olduğu sanılmaktadır. Blokların şekillerini tanımlamada kutlanılan terimler aşağıda verilmiştir:

Blocky	: yaklaşık küp şeklinde
Flaky	: kama ya da kıymık şeklinde
Flaggy	: Jeoloji'de 10 mm den 100 mm ye kadar kalınlığı olan tabaka.

- Columnar : bir boyut diğer iki boyuta oranla daha küçük ve yüzeyler paralel (örneğin sütun veya levha)
Irregular : değişken, düzensiz şekilli.

3.3. Kaya Dayanım Özellikleri

Bunlar, tek eksenli basma dayanımı (compressive strength), Brazilian metodu ile çekme dayanımı (tensile strength), nokta yükleme dayanımı (point load strength) ve Schmidt çekici indeks numarası (Schmidt hammer index number) deneyleri ile saptanmıştır. Bunlardan ilk iki test numunenin hem kuru (dry) hem de suya doymuş (saturated) durumlardaki değerlerini, nokta yükleme deney sonuçları da yalnız kuru numune değerlerini içermektedirler. Nokta yükleme indeks değerleri, karot üzerinde yanlamasına yani çapsal olarak yapılmış deneylerden sağlanmıştır. Kırılgan ve laminalı kayaların deneylerinde eksenel metod daha uygun olmaktadır ve bu durum için anizotropi indeksinin kullanılması gerekir (14). Schmidt çekici değerleri kaya kütle yüzeylerinde tekrarlı vuruş tekniği (13) ile belirlenmiştir. Bu tekniğin kullanımı sürekli ve tekrarlanabilir değerler verebilmesi nedeniyle desteklenmektedir. Burada kullanılan N-Tip Schmidt çekici, kayadaki parçalanma nedeniyle, zayıf ve kırılgan kaya üniteleri (U1, U2 ve U11) için önerilmemektedir. Çizelgeye ilave edilebilecek diğer bir dayanım indeks testi de iğne uçlu delici (NCB Cone Indenter) olmaktadır. Cepte taşınabilen ve kullanımı kolay olan bu aletle Kömür Çevre Kayaçlarında saptanan sertlik değerleri, tek eksenli basma dayanımı (15) ve galeri açma makinası performansı arasında (16) iyi bir korelasyon gözlenmiştir.

3.4. Süreksizlik Dayanımı

Sınıflandırmada süreksizlik dayanımı değerleri iki ayrı türde sunulmuştur. Birincisinde Coulomb'un klasik doğrusal kırılma kriteri ile,

$$T = C + a_n \tan \langle j \rangle$$

T = kayma dayanımı
C = kohezyon
 a_n – kayma düzlemine etkiyen normal gerilme
 θ = içsel sürtünme açısı

İkincisinde ise eğrisel kırılma (curvilinear failure) kriteri ile,

$$T = A a^B$$

T = kayma dayanımı (k N/m²)
 a_n = kayma düzlemine etkiyen normal gerilme (kN/m²)
A ve B katsayılar olup, Tablo Vde A'nın değeri
B = 0.8 varsayılarak verilmiştir.

Bu basit üssel eşitlik, çok fonksiyonlu bir kayma deney kutusunda, doğal süreksizlikler üzerinde yapılan geniş kapsamlı deneyler sonucunda geliştirilmiştir (17). Bu araştırmalar sonucu Coulomb tarafından öne sürülen doğrusal kırılma kriteri gerçekte oluş-

mamakta ve açık işletmelerde Kömür Çevre Kayaçları içindeki şevlerde görülen düşük normal gerilmelerde kohezyon değerinin önemli oranda sifra yaklaştığı ileri sürülmektedir. İçsel sürtünme açısı (friction angle) tabloda minimum (basic) ve maksimum (peak) değerler şeklinde iki grupta sunulmuştur.

4. SINIFLANDIRMA SİSTEMİNİN KULLANIMI

Sınıflandırma sisteminin, işletmelerde kayaç kütlelerinin karakterize edilmelerinde uygun bir yöntem oluşturacağı beklenmektedir. Açık işletmelerde, şev tasarımlarıyla birlikte oluşan şev dengesizliği durumlarının irdelenmesinde yararlı olacaktır. Bir şevin stabilite değerlendirmesini yapabilmek için bazı faktörlerin de dikkate alınması gerekir (18); jeolojik yapı (yataklarına eğim ve doğrultusu, fayların durum ve lokasyonları ve fayla ilişkili deformasyon özellikler, süreksizliklerin eğim ve doğrultuları), yeraltı suyu, ayakta durma süresi, terk edilmiş yeraltı maden boşlukları ve madencilik yaklaşımı (düşünülen şev profilleri). Sınıflandırma tablosu, şev stabilitesini etkilediği gözlenen formasyonlar arası kayma zonlarını (19, 20) içermemektedir. Sondaj verilerine dayanarak işletme şev tasarımı için bir Stabilite İndeksi geliştirme amacıyla araştırmalar devam etmektedir. Belirli bir bölge için Stabilite İndeks değerlerini hesaplayabilmek için, yukarıda sözü edilen yapısal, hidrojeolojik ve madencilik faktörlerinin etkilerinin yanısıra kayaç kütle kalitesinin de dikkate alınması gerekir ki, bu da sınıflandırma sisteminden yararlanılarak belirlenebilir. İşletme sahası olarak düşünülen bir yerin Stabilite İndeks kontur planı, başlangıçtaki Stabilite değerlendirmesinde ve işletme tasarımında çok yararlı olacağı düşünülmektedir. Bu tür bir çalışma yeniden detaylı jeoteknik araştırmaları gerektirecek ve işletmede stabilite yönünden üretim sırasında sürekli gözlenmesi gereken kritik yerlerin açığa çıkmasını sağlayacaktır.

Sınıflandırma sistemi, kömür açık işletmelerinde kullanılan kazı araçlarının performanslarının kayaç özelliklerinden nasıl etkilendiğinin araştırılmasında çok yararlı olmuştur. İngiliz Kömür Kurumu'nun kömür açık işletmelerinde yapılan incelemelerde çamurtaşı ve kömürkili ünitelerinin dekapajında önemli bir güçlük karşılaşmadığı görülmüştür. Bu kayaçların dekapajı, dragline'lar (genellikle hiç bir hazırlık gerektirmeden), skrapper'ler (ripping genellikle gerekli) ya da kepçeli ekskavatörler ile yapılmaktadır. Ripping ince tabakalı ve sık aralıklarla oluşmuş süreksizlikler içeren kaya ünitelerinde (U2, U3,U5,U6,U7,U9,U10) patlayıcı madde kutlanarak gevşetme işlemine karşı bir alternatif olarak görülebilir. Tabaka kalınlığı ve kaya dayanımı sondaj karotlarından veya sondaj kuyularında "wire-line logging" tekniğinden (21) yararlanarak belirlenebilir. Bu veriler, arazide kayaç içinde yüzeysel sismik refraksiyon veya sondaj kuyuları arası (crosshole surveys) yapılan ölçmeler ile belirlenmiş baskı dalga hızları ile kazılabilirlik ve dekapaj makinaları seçimi için gerekli temeli oluşturacaktır. Kömür Çevre Kayaçları için 1500 m/s kritik bir değer olarak görülmektedir. Bu değer aşılması durumunda, orta büyüklükte bir kepçeli hidrolik ekskavatör, örneğin 4 m³ kepçeli Caterpillar 245 ile patlayıcı madde kullanmadan kazı çok zor olmaktadır. Bu durumlarda patlayıcı madde ile gevşetme gereksinimi, güçlü ve büyük kepçeli hidrolik ekskavatörler kullanılarak (örneğin Demag 241 ve Poclain 1000) sakınılabilmektedir. Sismik dalga hızı birçok araştırmacılar tarafından kayaların yığılım, başkalamış ve çatlaklılık dereceleri ile korelasyonun-

da yaygın olarak kullanılmıştır. Sismik hız oranı indeksi de R.Q.D. ve süreksizlik dağılımı ile korelasyonda kullanılmıştır (22,23,24).

Kömür Çevre Kayaçları için galeri açma makinası dizaynı ve performans tahmininde dört adet parametrenin birinci derecede önemli olduğu anlaşılmıştır. Bunlar, tek eksenli basma dayanımı, aşındırıcılık, yeraltı suyu ve kaya kütleindeki süreksizliklerin durum ve dağılım aralıklarıdır (25). Zayıf çamurtaşlarının kazılabilirlikleri, sağlam kum taşı ve siltaşı ünitelerine kıyasla bir güçlük arz etmemektedir, örneğin keski kırılması, aşırı uç aşınması gibi. Sağlam kumtaşı ve siltaşı ünitelerinin mekanize kazılabilimleri, ancak darbeli kazıcılar (impact rippers) ya da diskli veya makaralı kesicilerle donatılmış galeri açma makinaları ile mümkün olmaktadır. Kaya aşındırıcılığı genellikle kuvars miktarına bağlanmaktadır. Birtakım araştırmacılar, bazı Kömür Çevre Kayaçları için kuvars miktarı ile tek eksenli basma dayanımı arasında doğrusal bir ilişki bulmuşlardır (26, 27). Fakat yine de kayanın aşındırıcılığının belirlenmesinde yalnızca kuvars miktarı yeterli olmayabilir. Kayanın çimentolaşma derecesinin de dikkate alınmasının gerektiği önerilmiştir (16).

Kömür Çevre Kay açlarında patlatma işlemlerinde, delik sayısı ve patlayıcı madde miktarını belirlemek için, kayaç litolojisine bağlı olarak patlatma indeksini belirlemek artık alışla gelmiş bir uygulamadır (28). Tek eksenli basma dayanımı ve R.Q.D. ya da çatlaklar arası mesafe aralarındaki ilişkiye dayanarak kazının mekanize mi yoksa delme-patlatma şeklinde mi ayrılmasının da saptanabileceği önerilmiştir (29, 14).

Yeraltında açılacak boşlukların şekil ve tahkimatının tasarımında, kaya kütlelerinin mekanik ve yapısal özellikleri hakkında verilere sahip olmak çok önemlidir. Yeraltında kazı sonucu oluşan gerilmelerin karşısında, kaya davranışının bilinmesi çok önemlidir. Bu tür kazıların ve onların tahkimatının tasarımı kaya ve içindeki süreksizliklerin dayanımına ve yapısal özelliklerinin (yatak kalınlığı, süreksizliklerin dağılımı, eğim ve doğrultuları) yanı sıra yeraltı suyu koşullarına bağlıdır. Tasarım için gerekli veriler büyük bir çoğunlukla sondaj karotlarından elde edilmektedir. Eğer bu karotlar, etkin bir sınıflandırma sistemine göre değerlendirildiğinde, bir işletmedeki örnek bir durum çalışmasından sağlanan deneyim birikimi, diğer işletmelerdeki durumlar için de kullanılabilir. Bu da sınıflandırma sisteminin kazı boşluklarının tahkimat sınıflandırma sistemi haline dönüşmesi amacıyla diğer kayaç kütlelerinin olası davranışlarının tahmininde yardımcı olacaktır. Terzaghi'nin orijinal tünel tahkimat sınıflandırma sistemi (30), 1946 'dan bu yana, çoğunlukla inşaat mühendisliğinde tünel tasarımında yaygın bir şekilde kullanılmıştır. Ancak son yıllarda, araştırmacılar, genel kazı tahkimat dizaynı için daha fazla sayısal verilere dayanan sistemler geliştirmeye girişmişlerdir (1,2,31,32,33).

Gelişen tahkimat sınıflandırma sistemlerinin içerdiği temel parametreler şunlardır; kayanın dayanımı, başkalaşımı, R.Q.D., süreksizliklerin dağılımı, doğrultuları.yüzey pürüzlülük dereceleri, dolgu maddesi, başkalaşım derecesi ve dayanımı, yeraltı suyu miktarı ve basıncı. Bu tür çalışmalarda ortak amaç, tüneller için tahkimat ve diğer dizayn kriterlerinin saptanabilmeleri için, kayaç kütlelerinde kalite belirlemeye yarayan parametreler geliştirmek olmuştur. Bu tür yaklaşım İngiltere'de yeraltı kömür ma-

denciliğinde henüz yaygın bir uygulama ajanı bulamamıştır. İngiltere'deki kömür madenciliğinde galeri, tavan ve taban yollarının sürülmesinde karşılaşılan sorunlar şu faktörlerden etkilenecektir; derinlik, geometrik şekil ve boyutlar, çevredeki topuklar, kazı tekniği ve ilerleme hızı, üretim metodu (dönümlü ya da ilerlemeli) ve yakın çevredeki madencilik işlerinin yan etkileri, jeoteknik çevre ile birlikte bu parametreleri değerlendirerek geliştirilmiş tahkimat ve göçebilirlik sınıflandırma sistemleri, tahkimat tasarımı ile görevli mühendislere yardımcı olacaktır. Kömür Çevre Kayaçları içinde tavan ve taban için jeoteknik çevrenin tanımını zorlaştıran karmaşık özellikler (merceksi birikimler, intrüzyonlar, kanal yapıları ve farklı sıkışmalar) litoloji ve yapıdaki önemli değişiklikler ile açıklanabilir. Bu tür yapıların gelişimi çok küçük bir çevre içinde sınırlanmış olabilir ve çok sık aralıklı sondajlarla bile tanınmaları oldukça zor olduğundan tavan ve taban stabilités» üzerine etkili ana faktörlerdir.

5. SONUÇ

Kömür Çevre Kayaç üniteleri için basit ve öz bir sınıflandırma sistemi sunulmuştur. Bu sınıflandırma, İngiliz kömür madenciliğinde sık rastlanan kaya ünitelerinin mühendislik tanımının yapılmasını olası kılmıştır. Sınıflandırma sisteminin amacı zemin kontrolü ve kazı mühendisliği için, kaya kalitesini sayısal veriler ile değerlendiren metodların gelişmesinde başlangıç adımını oluşturmaktır.

KAYNAKLAR

1. BIENIAWSKI Z.T., Rock mass classifications in rock engineering. Proc. Symp. on Exploration for Rock Engineering, Johannesburg, 97-106 (1976).
2. BARTON N., Estimation of support requirements for underground excavations. Proc. 16th U.S. Symp. Rock Mechanics, Minnesota, 99-113 (1975).
3. LAUBSCHER D.H., Geomechanics classification of jointed rock masses - mining applications. Trans. Inst. Min. Metall., 86, A1-8 (1977).
4. INTERNATIONAL SOCIETY OF ROCK MECHANICS, Commission on Testing Methods. ISRM Suggested Methods in Rock Characterization Testing and Monitoring. Ed. by E.T. Brown (1981).
5. MUFTUOĞLU Y.V., A study of factors affecting diggability In British surface coal mines. Ph. D. Thesis, University of Nottingham (1983).
6. ELLIOT R.E. and STRAUSS P.G., A classification of Coal Measures rocks based on quartz content. 6 th Int. Cong. Strat. Carb., Sheffield, II, 715-724 (1970).
7. ELLIOT R.E., Facies, sedimentation, successions and cyclothems In productive Coal Measures in the East Midlands, Great Britain. Mercian Geologist, 2(4), 351-372 (1967-68).
8. FATONA O.F., Sedimentology of the Lower and Middle Coal Measures in the Nottinghamshire and Derbyshire Coalfield, Ph. D. Thesis, Imperial College (1980).
9. SPEARS D.A., Towards a classification of shales. J. Geol. Soc. London, 137, 125-129 (1980).
10. INGRAM R.L., Fissility of mudrocks. Bull. Geol. Soc. America, 64, 869-878 (1953).
11. LUNDEGARD P.D. and SAMUELS N.D., Field classification of fine-grained sedimentary rocks. J. Sedimentary Petrology, 50 (3), 781 - 786 (1980).
12. COBB O., Slope stability4n British surface coal mines. Ph. D. Thesis, University of Nottingham (1981).
13. POOLE R.W. and FARMER I.W., Consistency and repeatability of Schmidt hammer rebound data during field testing. Int. J. Rock Mech. Min. Sei. & Geomech. Abstr., 17, 167-171 (1980).
14. FRANKLIN J.A., BROCH E. and WALTON G., Logging the mechanical character of rock, Trans. Inst. Min. Metall., 80, A1-9 (1971).
15. SZLAVIN J., Relationships between some physical properties of rock determined by laboratory tests. Int. J. Rock Mech. Min. Sei. &

15. SZLAVIN J., Relationships between some physical properties of rock determined by laboratory tests. *Int. J. Rock Mech. Min. Sei. & Geomech. Abstr.*, 11, 57 - 66 (1974).
16. MCFEAT—SMITH I., Correlation of rock properties and tunnel machine performance in seteeted sedimentary rocks. Ph. D. Thesis, University of Newcastle-upon-Tyne (1975).
17. HASSANI F.P. and CASSAPt V.B., Multi-functional direct joint shear test machine. *Trans. Inst. Min. Metall*, 89, A48 - 50 (1980).
18. SCOBLE M.J. and LEIGH W.J.P., Factors governing the stability of rock slopes in British surface coal mines. *Proc. 23rd U.S. Symp. on Rock Mechanics*, Berkeley, 1091-1098 (1982).
19. STIMPSON B. and WALTON G., Clay Mylonites in English Coal Measures - their significance in opencast slope stability. *1st Int. Conf. Rock Mechanics*, Lisbon, 329-355 (1970).
20. SALEHY M.R., MONEY M.S. and OEARMAN W.R., The occurrence and engineering properties of intra-formatlional shears in Carboniferous rocks. *Core-UK Conf. Newcastle-upon-Tyne*, 311-328 (1977).
21. ELKINGTON P.A.S., STOUTHAMER P. and BROWN J.R., Rock strength predictions from wireline logs. *Int. J. Rock Mech. Min. Sei. and Geomech. Abstr.*, 19, 91-97 (1982).
22. DEERE D.U., Geological considerations. In: *Rock Mechanics in Engineering Practice*, ed. by Stagg and Zienkiewicz, New York, 1 • 20 (1968).
23. KNILL J.L., The aphllcation of seismic methods In the prediction of grout take in rock. In: *In-situ Investigations in Soils and Rocks*. British Geotechnical Soc, London 83-100 (1970).
24. STOWE R.L., Comparison of in-situ and laboratory test results on granite. *Trans. Soc. Min. Engrs. AIME*, 252, 194-199 (1972).
25. BROWN E.T. and PHILLIPS H.R., Recording drilling performance for tunnelling site investigations. *Construction Industry Research and Information Association* (1977).
26. PRICE N.J., The influence of geological factors on the strength of Coal Measure rocks. *Geological Magazine*, 100 (5), 428-443 (1963).
27. SMART B.G.D., ROWLANDS N. and ISAAC A.K., Progress towards establishing relationships between the mineralogy and physical properties of Coal Measures rocks. *Int. J. Rock Mech. Min. Sei. and Geomech. Abstr.*, 19, 81-89 (1982).
28. N.C.B. PRODUCTION DEPARTMENT, *Information Bulletin No. 56/171* (1956).
29. WOOD A.M. MUIR, Tunnels for roads and motorways. *Otly. Jnl. Eng. Geol.*, 5, 111-126 (1972).
30. TERZAGHI K., Introduction to tunnel geology. In: *Proctor, R.W. and White, T.L., Rock Tunnelling with Steel Supports: Commercial Shearing and Stamping Coy., Youngstown, Ohio, 17-99* (1946).
31. DEERE D.U., MONSEES J.E. and SCHMIDT B., Design of Tunnel Liners and Support Systems. *Highway Research Record No. 339, Transptn. Res. Bd., Washington*, (1970).
32. CORDING E.J., HENDRQN A.J. and DEERE D.U., Rock Engineering for Underground Caverns. *Prec. Symp. on Underground Rock Chambers, Phoenix, A.S.C.E.*, 567-600 (1971).
33. WICKHAM G.E., TIEDEMAM&i H.R. and SKINNER E.H., Ground Support Prediction Mode*. *Proc 1st Rapid Cpct«*, TjUrsa. Conf., Chicago, 43-64 (1972).

