

# Kayadaki Süreksizliklerin Saptanması

R. P. YOUNG  
R. J. İİOWEL

Bunderland Politeknik Kurumu, İngiltere  
Newcastle Üniversitesi^ ingiltere

Çeviren :

Jeoloji Y, Müh, GÜNGÖR UNAY

Elektrik İşleri Etüd İdaresi, Ankara,

## GİRİŞ:

Tünel açma makinalarının performansı laboratuvarda saptanan yalnızca direnç parametreleriyle değil, aynı zamanda eklem, tabakalanma düzlemleri ve kayadaki diğer süreksizliklerden de fazlaca etkilenir. Bu etki tünel açımı sırasında iki biçimde gözlenir; birincisi, tünelde İksa, aşırı sökme, su basmanı ve pasa temizleme gibi sorunlara neden olan tünel tavanı yada aynasından blokların göçmesi ikincisi, tünel açma aygıtının kazı işlemi sırasında blokları yerlerinden oynatması.

Bu blokların yerinden oynatılma biçimi, kaya çok az süreksizliğe sahip olduğunda meydana gelen kazı hareketiyle farklılık gösterir. Bu durumda kayanın direnç parametreleri makinanın performansı üzerinde daha önemli bir etkiye sahiptir (1). Bu çalışmadan amaç blok göçmelerini! önceden saptamak için stereografik tek-


Bu çeviri, «Tunnels Tunneling» adlı derginin Haziran 1978 tarihli sayısındaki «Assesing rock diecontinuita» başlıklı makalesinden yapılmıştır,

niklerin [2, 3) daha çok araştırılması olmayıp, tünel açma makinasının performansı konusunda daha sağlıklı bir tayine gidilmesi için kayanın kütleli özelliklerini nitelendirmektir.

Kayanın çeşitli özelliklerinden, süreksizlik şiddetinin (discontinuity intensity) makina kazı işlemi üzerinde çok etkili olduğu görülmüştür (4). Bu tür veriler Ölçüm çizgileri boyunca süreksizlik ara kesit mesafelerini kaydetmek için doğrudan ölçülebilir, bu suretle ortalama dağılım ve şiddetin hesaplanması olanaklı olabilir. Ancak bu işlem çoğu kez zaman alıcı olup, yetişkin bir uzman tarafından yapılmadığı takdirde sonuçlar çok soyut ve yanıltıcı, olabilir. Çözüm dolaylı bir teknikle kaya süreksizliklerini ölçme yönteminde yatmaktadır. Önceki çalışmalar Schmidt çekicinin kayadaki süreksizliklere ve izotropiye duyarlı olduğunu göstermektedir. (5). Burada Schmidt tepki değeri deney yapılan nokta süreksizlik düzlemine yaklaştığında azalır. Sahada süreksizlik düzlemi çevresinde ayrışma

nedeniyle artabilir. Schmidt tepki değerindeki azalmayı artarı tünel açma makina performansına bağlamak için araştırmada bu prensip kullanılmış olup, her ikisi de kaya süreksizliklerinden etkilenmektedir, Schmidt tepki çekicinin çeşitli modelleri mevcuttur, ancak kaya özelliklerinin tayininde N ve L tipleri daha çok kullanılmaktadır, Schmidt çekicinin başlıca üstünlüğü yerindeki kayada kullanılabilen pratik saha aletlerinden birisi olmasıdır. Darbe penetrometresinin kullanma alanı yalnızca tebeşir gibi çok zayıf kaya gereçlere vergilidir (6). NGB çentme konisi (7) ve uç yükleme aleti (S) küçük numuneler için kullanılmakta olup, kaya kütlelerinden ziyade gerecin özelliği hakkında bilgi sağlarlar.

Bu çalışma çeşitli lksa yöntemlerinin araştırıldığı Kleider Araştırma Tünelinde yapılmıştır (9). Yazarlar, Four Fathom çamurtaşında ilerlendiği sırasında Dosco MK II a tünel açma makinasının performansını gözleme olanağını elde etmişlerdir. Bu kaya tipinde, makinenin performansı üzerine birincil etkinin sağlam kaya özelliklerinden daha çok kaya süreksizliklerinin olduğu sanılmaktadır. Sağlam kaya Özellikleri Tablo : 1 de görülmekte olup, tünel açma işlemi sırasında önemlice bir değişiklik göstermediği saptanmıştır.

Porome 11 o	Birimler	Danay yönü	
		-HÖH-	
Kuvors miktarı	Kzde,	1.76	(.76
Basınç direnci	MN/m <sup>2</sup>	36.1	ZE, «
Çekme direnci	MN/m <sup>2</sup>	1.38	0.245
Koyma direnci	MN/m <sup>2</sup>	8.5	—
Uç yük direnci	tm/nfi	S.75	0.ii
Dinamik yorulma modülü	SN/m <sup>2</sup>	2.91	7.56
Ses hızı	m/saniye	1384	1736
Aışnugfyen ksfgayii	db/cm	QOS39	0.0352
Sağlam kgyo Schmidt MpM değiriiri	—	27	19
Çenma konisi sertliđi	ZM	—	—
ffartışiti	YüzM	25	SI
Bürüt yoğunluk	Kg/ n?	?eio	161Q

Tablo : 1 — Four fathom çamurtaşının sağlam kaya özellikleri

## GÖZLEM TEKNİĞİ

Tünel açma makinasının ilerleme evresinde kazı hızları ölçülmüştür. Her evrenin bitiminde aynada gözlenen süreksizlikler kesitlere geçirilmiş ve ayna boyunca Schmidt çekiciyle tepki değerleri saptanmıştır.

Kazı hızları iki yolla saptanmıştır. Önce, kazı işlemlerinin tümü zamanlanmış ve hafredilen kaya hacmi tayin edilmiş, dolayısıyla kazı hızının hesabı (nf/saat) mümkün olmuştur. Kazı işlemi sırasında kaya yüzünde 0,2 m ilk bir karelaaj sisteminin boyanması gerekli olmuş, ve bu amaçla beyaz püskürtme boya kullanılmıştır. Bu düzenleme karenin bir noktasından diğerine ulaşmak için geçen zamanı hesaplayarak kazı hızını saptamada kolaylık sağlanmıştır. Hafredilen kaya hacmi bir kazı evresinin tamamlanmasından sonra ilerleme derinliğini ölçmek suretiyle hesaplanabilmiştir.

Diğer taraftan, bir güç Ölçerini kullanmak suretiyle özgül enerji hesaplanmıştır. Bu ölçerin kablosu doğrudan kazıcının motoruna bağlanacak biçimde monte edilmiştir. Kazıcının motorundaki harcanan güç daha sonra çeşitli kazı aşamaları sırasında ölçülebilmştir. Etkinliğin bir ölçütü olan özgül enerji daha sonra kullanılan enerji miktarı ve hafredilen kaya hacminden hesaplanabilir. Bu parametre genellikle (Mj/m<sup>3</sup>) biçiminde ifade edilebilir ve kolaylık olmak üzere Şekil : 3 ve 4'e eklenmiştir.

Kazı hızı için bu araştırmada iki değer kullanılmıştır; birincisi kırıklı kaya kazı hızı (CRF) ve ikincisi, sağlam kaya kazı hızı (CR<sub>1</sub>). CR<sub>1</sub> tam bir kazı evresi için ortalama bir kazı hızı şeklinde hesaplanmış ve delim hızı CR<sub>1</sub> nin bir Ölçüsü olarak alınmıştır. Delim hızı kesici kafanın kaya içine girmesi için geçen zamanın ölçülmesiyle elde edilebilir. Bu özel işlem sırasında kazı üzerinde kırıkların etkisinin çok düşük ve gözlenen evrelerde hemen hemen aynı düzeyde olduğu görülmüştür. Bu, CR<sub>1</sub> üzerindeki süreksizliklerin etkisini saptamada uygun bir başvuru değeri sağlamıştır.

Her bir kazı evresi sonunda, tünel aynasındaki süreksizlikler kesite geçirilmiştir. Aynadaki karelaaj sistemi yeniden boyanmış ve süreksizliklerin niteliklerini saptamak için düşey ve yatay çizgiler ölçüm çizgileri olarak kullanılmıştır. Örnek olarak tam çizgileri almak suretiyle, çizgiler boyunca ölçüm şeritleri yerleştirilmiş ve süreksizlik ara kesit durumları kaydedilmiştir. Süreksizliklerin aralığı daha sonra birbirini takip eden arakesit mesafelerini çıkarmak suretiyle hesabedilmiş olup, bu teknik Priest ve Hudson tarafından geliştirilmiştir (10).

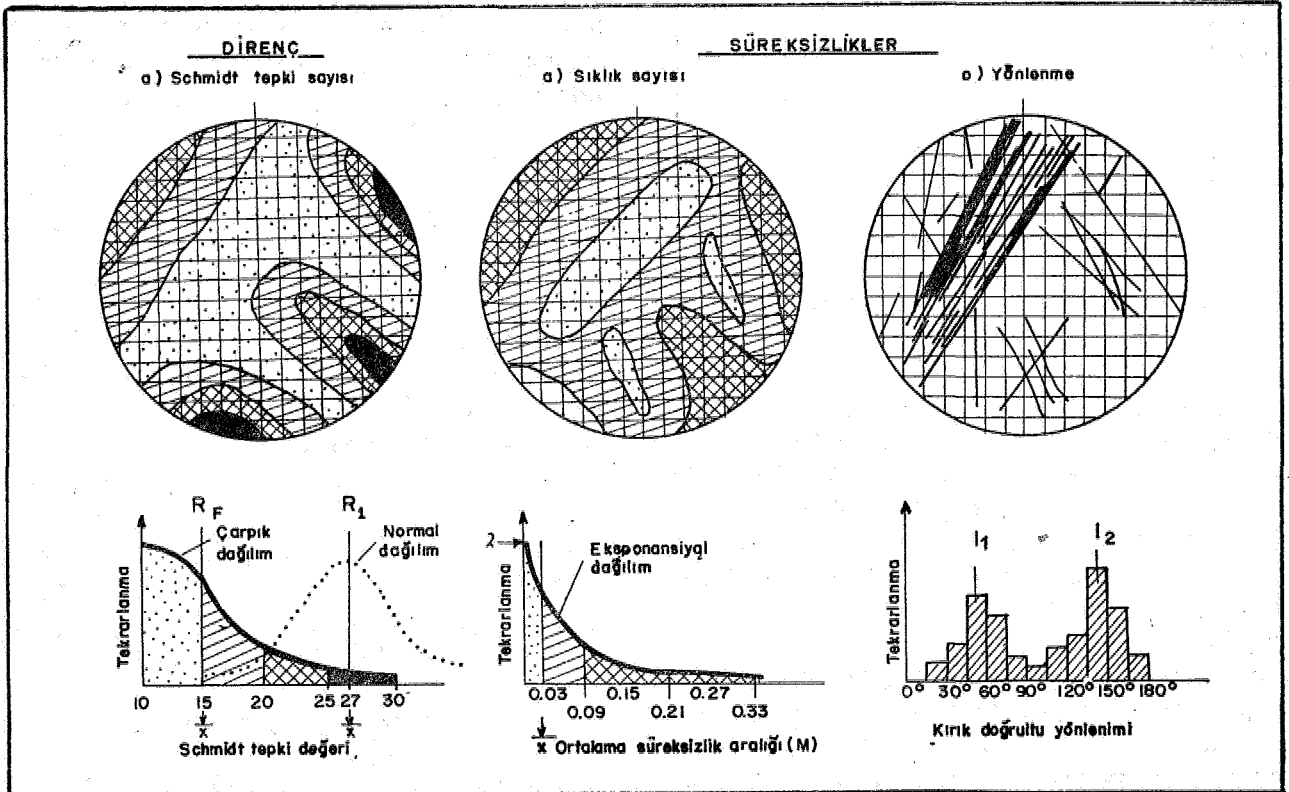
Yön tayini bir pusula yardımıyla, süreksizlik düzleminin eğim ve doğrultusu ölçülmek suretiyle yapılmıştır. Süreksizlik şiddeti verisi daha sonra aynadaki süreksizlik dağılım aralığını grafiğe aktarmak için kullanılmıştır (Şekil: 1). Bu işlem ortalama aralığın ve her metreye isabet eden süreksizlik sayısının (X) saptanmasına olanak sağlamıştır. Priest ve Hudson süreksizlik dağılım aralığının saptanan her metredeki ortalama süreksizlik sayısının (X) bir karşılığı olan ortalama kırık sıklıklı negatif bir eksponansiyel biçiminde olduğunu göstermişlerdir. Bu değer (X) basit olarak Ölçüm çizgisi arakesitleri sayısını toplam ölçüm çizgisi uzunluğuna bölmek suretiyle kabaca hesaplanabilmektedir. Bu X değerleri Ölçüm çizgilerinin ortogonal takımlarını kullanmak suretiyle elde edilmiştir, Priest ve Hudson tarafından saptanan 1 No. lu eşitlik kaya niteliği tanımlaması ROD (rook quality designation), ile 0,1 m ve X dan daha büyük kaya parça uzunluklarının yüzdesi arasındaki bağıntıyı göstermektedir (11). Her kazı evresinde kazılan kayanın temsili ROD değerlerini saptamak için bu araştırmadan yararlanılmıştır.

$$ROD = 100 e^{-0.1\lambda} (0.1\lambda + 1)$$

Süreksizlik verilerinin saptanmasından sonra kayadaki direnç değişimlerini saptamak için Söhmidt çekici kullanılmıştır. Karelej sistemi üzerindeki her bir kesim noktasında temsili bir tepki sayısı alınmış olup, bu değer genellikle kesim noktası etrafında saptanan dört değer ortalamasıdır. Bundan sonra aynadan süreksizlik düzlemi bulunmayan bir miktar sağlam kaya bloku seçilmiş ve Schmidt tepki değeri ölçülmüştür. Bulunan değerlerin ortalaması sağlam kaya Schmidt tepki değeri ( $R_1$ ) olarak kullanılmıştır. Kesim noktalarından saptanan değerler ortalama değer ( $R_f$ ) elde edildiği frekans histogramını çizmek için kullanılmıştır.

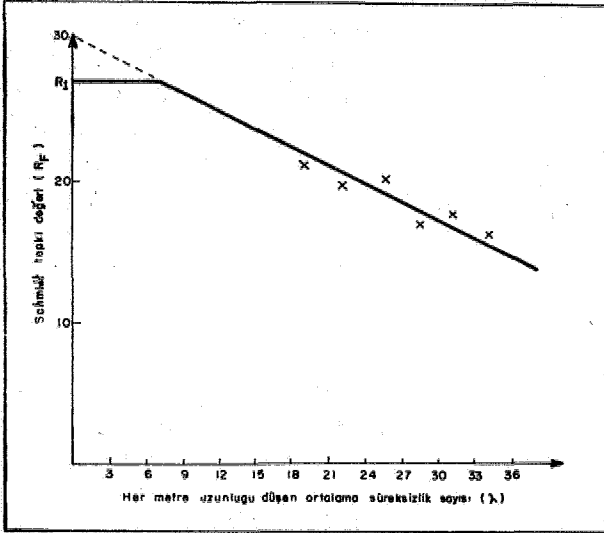
### SONUÇLARIN TARTIŞILMASI

Her ilerleme evresindeki süreksizlik verisi ve Schmidt tepki çekici değerleri Şekil : 1 de görüldüğü gibi işlenmiştir. Sağlam kayadan elde edilen tepki çekici değerleri dağılımının  $R_1$  ortalama değeri civarında olmasının olağan olduğu görülmektedir. Oysa, kırıklı kayadan elde edilen tepki çekici değerleri ortalama  $R_f$  değeri civarında çarpık dağılım göstermektedir. Bu ev-



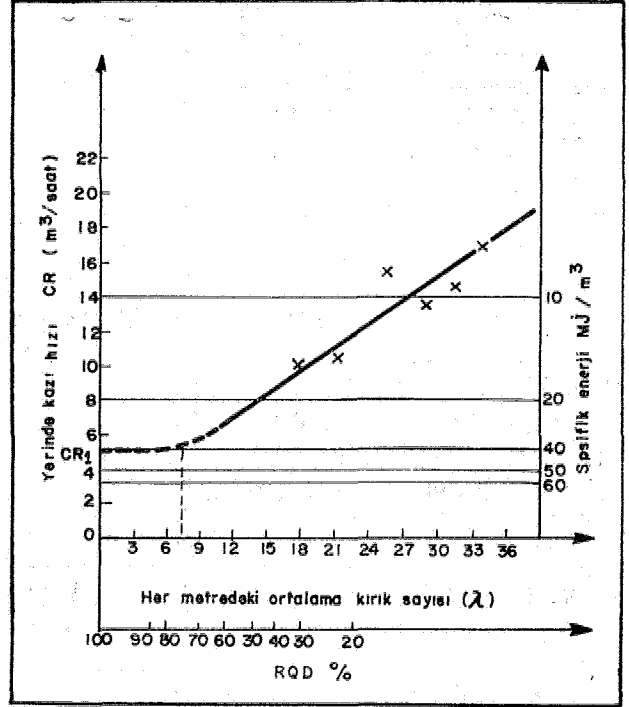
Şekil : 1 — Tünel ilerlemesinin bir evresi için kaydedilen jeoteknik veriler.

relerin bir kısmında, kayadaki kırılma derecesi arttıkça dağılımın giderek çarpıklaştığı anlaşılmıştır. Az yada hiç bir kırığı bulunmayan kaya yüzlerinde Schmidt tepki değerlerinin dağılımı daha az çarpık olup, olağan bir dağılım göstermektedir. Süreksizlik şiddeti verisinin negatif exponansiyel dağılımı ile çarpık dağılımlı RF değerleri arasındaki benzerlik ortalama Schmidt tepki sayısına (RF) karşın X'nin işlenmesine yol açmıştır. Bu bağıntı Şekil : 2 de görülmekte olup, tecrübe edilen sınırlı kaya koşulları için yaklaşık çizgiseldir. Grafikte de görüleceği gibi kesim değeri (Intercept value) kırksız kayanın Schmidt çekici sayısı R<sub>1</sub> dan daha yüksektir. Bu beklenen bir durumdur, yukarıdaki gibi muayyen bir boyuttaki kayada Schmit tepki değeri sabit kalacaktır. Pour Fathom çamurtaşı blokunda, 7 den daha az X değerli boyutlar bu duruma neden olmuştur.



Şekli ; 2 — Süreksizlik şiddeti ve ortalama Schmidt tepki değeri

Kazı hızı ( $GR_F$ ) ve her metredeki süreksizliklerin ortalama sayısı (X) arasındaki bağıntı Şekil : 3 de görülmekte olup, hesabedilen RQD değerleri (1 No.lu eşitlik) kolaylık olsun diye ilâve edilmiştir. Açım sırasında elde edilen değerlerinin sıralanması için, kazı hızının X değerine çizgisel olarak bağımlı olduğu görülmektedir. Ordinat eksenindeki  $4.8 \text{ m}^3/\text{saat}$   $CR_1$  değeri delme işlemleri sırasında elde edilen kazı hızına eşgelmektedir. Kayadaki kazı hızı dağılımından izdüşürülen değer yaklaşık  $2 \text{ m}^3/\text{saat}$  dolayında oldukça düşük bir değerdir. Bu durum kazılan kayanın birim hacmi için kaya kütlelerinde kopar-



Şekil : 3 — Süreksizlik şiddetinin kazı hızına etkisi

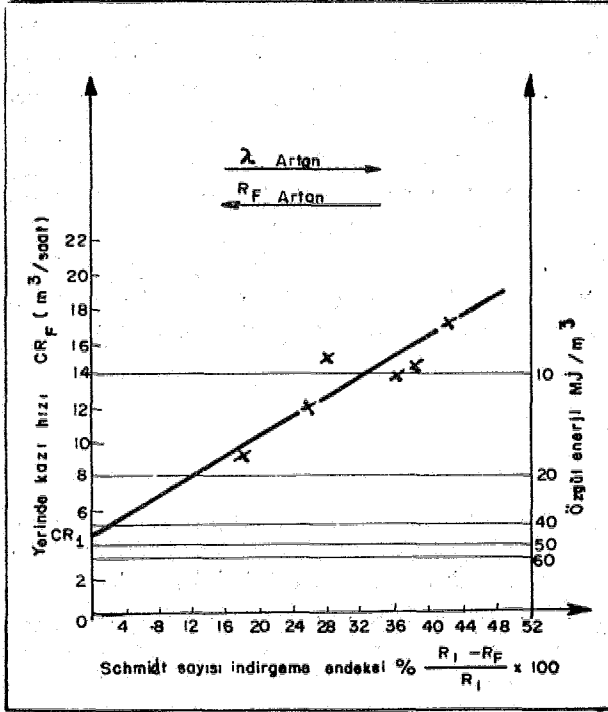
ma işlemlerindekinden daha çok enerjiye delme işlemlerinde gereksinmeden dolayıdır, çünkü delme sırasında kazı derinliği azdır ve kazı ortamı çevresel basınç altındadır. Bu araştırmanın amacı için  $CR_1$  değeri iki nedenden dolayı sağlam kaya kazı değeri olarak kullanılmıştır; birincisi, delme işlemi sırasında süreksizliklerin etkisi en düşük olmuştur ve ikincisi, diğer tünel açma alanlarında bir başvuru değeri olarak kullanılabilmiştir.  $CR_1$  değeri tünel açımı sırasında önemli bir değişiklik göstermemiş olup, bu nedenle kazı hızı üzerinde süreksizliklerin etkisini hesaplamak için bir başvuru değeri olarak yararlanılmıştır. X'nin yüksek değerleri için, kazı hızı maknamın pasa temizleme karakterine bağlı olarak en üst düzeyine ulaşması beklenmiştir. Ancak bu araştırmalar sırasında somut bir sonuç varılamamıştır,

Schmidt tepki sayısı tek başına kaya kütlelerinin niteliğini açıklamadığı olgusundan yararlanarak, schmidt sayısını indirgeme endeksi (Schmidt number reduction index) diye tanımlanan bir parametre kullanılmıştır. Aşağıdaki biçimde gösterilebilir.

$$\frac{R_1 \cdot R_F}{R} \times 100 \text{ (yüzde)}$$

Bu da yalnızca basınç mukavemetinin  $R_1$  ile olan bağıntısı  $glb_j$  yalnızca kaya niteliğini değil

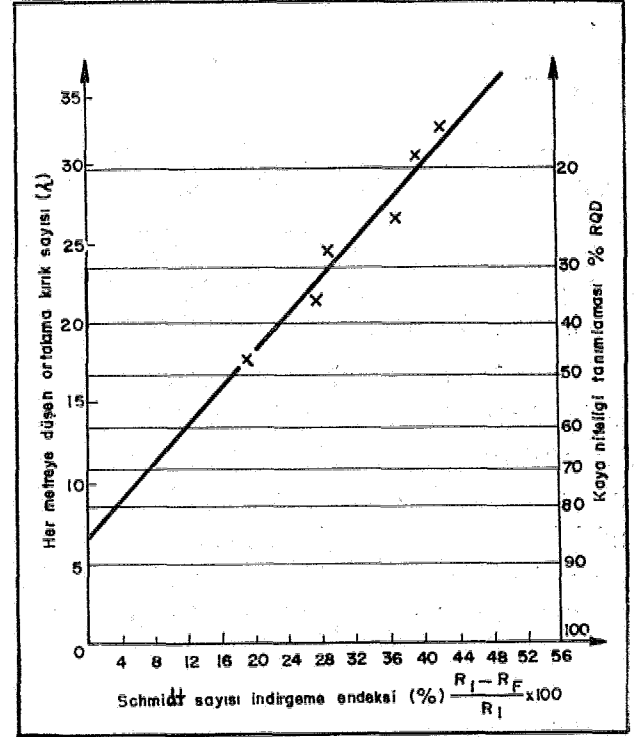
(12) süreksizliklerinde etkisini dikkate almaktadır. Şekil i 4 bu endeksin kazı hızına karşın işlenişini göstermektedir. Burada görülebileceği gibi endeks sıfır olduğunda, kesim çizgisi sağlam kayanın kazı hızına CR<sub>1</sub> tekabül etmektedir. Bu işlem sırasında, gösterildiği gibi, süreksizliklerin etkisi en düşüktür. Şekil : 5 Schmidt indirgeme endeksi üzerine süreksizlik şiddetinin etkisini göstermektedir. X=7 kesim çizgisi Schmidt çekicinin büyük boyutlu bloklara duyarlılığını vurgulamaktadır.



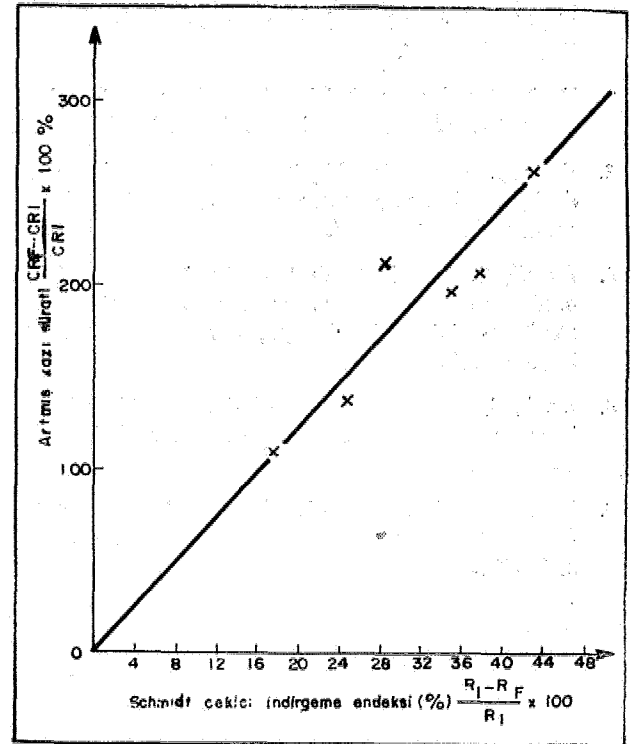
Şekil 4 — Kazı hızı ile ilgili Schmidt İndirgeme endeksi

Şekil : 8 Schmidt indirgeme endeksinin delme hızına göre kazı hızındaki artış yüzdesini saptamak için nasıl kullanılabileceğini göstermektedir. Bu bağıntı kırıksız kaya koşullarında kazı hızının daha anlamlı değerlerini elde etmek için sağlam kaya hızını CR<sub>1</sub> kullanma yöntemini sağlamaktadır. Yazarların değişik Litolojik ve ortam koşulları için farklı bir bağıntının var olmasını umdukları hususuna dikkat gösterilmelidir. Bu bağıntı çeşitli ilerleme evrelerinde Schmidt indirgeme endeksleriyle birlikte delme ve kazı hızlarını ölçmek suretiyle her çeşit kayada kolaylıkla saptanabilir. Daha sonra bunların ön bilgi amacıyla kullanılabilmesi kolaydır. Örneğin, Şekil : 1 de gösterilen ilerleme evresinden aşağıdaki değerler elde edilmiştir\*. R<sub>1</sub>=27,

RP=15,4; dolayısıyla Schmidt indirgeme endeksi yüzde 43 dür ve Şekil : 6 dan delme sürati CR<sub>1</sub> üzerinde yüzde 23S düzeyinde bir artışı gös-



Şekil : 5 — Her metredeki ortalama süreksizlik sayısı ile ilgili Schmidt indirgeme endeksi



Şekil : 6 — Artmış kazı hızlarıyla denştirilmiş Schmidt indirgeme endeksi

termektedir. Sakil : 4 de görüldüğü gibi beklenen kazı hızı  $16,5\text{m}^3/\text{saattir}$ , bu değerde, kaydedilen değer olan  $17\text{m}^3/\text{saat}$  ile anlamlı bir uyuşma göstermektedir.

## SONUÇLAR

Bu makale Schmidt İndirgeme endeksini saptamak için tünel aynasında sistematik biçimde Schmidt çekici ve karelaaj ağının kullanımını anlatmaktadır. Bu endeksin kazı hızlarıyla ilişkili Olduğunu göstermiştir, oysa bu hızlardaki artışlar kayanın kırıklı durumuna yorulmuştur.

Yazarlar Four Fathom oamurtaşı için elde edilen bağıntıların, kesim değerleri de gradyanlar yerine göre değişiklik gösterebilme olasılığına rağmen bir çok sedimanter kayada kullanılabileceğini göstermişlerdir. Muhtelif tünel açma makinalarının çalışabileceği çok bulunan kaya tiplerinde bu bağıntıların kurulması için

Newcastle Üniversitesinde ve Sunderland Politeknikte çalışmalar sürdürülmektedir.

Bu araştırmalar sırasında kayanın niteliğini incelemek amacıyla sismik yöntemlerde kullanılmıştır. Kırıklı kayanın yüksek sönümlenme [attenuation) özelliğinden dolayı küçük çapta ultrasonik aygıtların kullanımı uygun görülmemiştir. Daha güçlü çıkış sinyaline sahip aygıtların kullanılması uygun görülmüş olup, bu konudaki çalışmalar halen Sunderland Politeknikte sürdürülmektedir. Amaç burada aydır, ancak kayalar sismik sinyallerinin fazlaca sönüme uğramaları halinde çeşitli frekans bileşenlerini inceleme yoluyla araştırılabilir. Bu sönümlenme kayanın doku ve süreksizlik Özelliklerinden kaynaklanır. Bu tipteki sismik sinyal analizinin hem tünel açma da ve hemde açık kazı çalışmalarında kaya kütlesini tanımada katkısı olacağı sanılmaktadır. Yazarlar diğer kaya özelliklerinde tünel açma makinalarının performansını etkilediği görüşünde olup, ancak süreksiz kaya kütlelerini nitelemek bu teknik ile olanaklıdır,

## DEĞİNİLEN BELGELER

1. Me Feat-Smith, I, Powell, R, j, «Correlation of rock properties and the cutting performance of tunneling Machines» CORI conference on Rock Engineering, Newcastle, 1977.
2. Hoek, I and Bray, J. W, »Rock slope engineering» Institution of Mining and Metallurgy, London, 1974.
3. Gartney, S. M. «The ubiquitous Joint method • Cavern design at Dinorwic power station», Tunnels and Tunnelling May/June 1977.
4. Powell, R. J, and Mo Feat-Smith, I, «Factors Influencing the performance of a selective tunnelling machine» International Symposium Tunnelling 76, London 1978.
5. Kolek, j, «An appreciation of the Schmidt rebound hammer» magazine of concrete research, Vol 10, No 28, March 1958.
8. Hudson, A, A, Drew, S D, «An impact penetrometer for assessing the cuttability of soft rocks» report 685, 1976.
7. Szlazin, J, «Relation ships between some physical properties of rock determined by laboratory tests» Int. J. Rock meeh. Min, Soi. Vol 11, 1974.
8. Brook,- N, «A method of overcoming both shape and size effects In point load testing» CORE Conference in Rock Engineering, Newcastle, April 1977.
9. Ward, W, H. Coats, DJ, and Tedd, P, «Performance of tunnel support systems In the our Fathom Mudstones International Symposium, Tunnelling 76, London, 1976.
10. Priest, S, D, and Hudson, J. A, «Rock Quality in the Kleider Experimental tunnel, Co Durham» TRRL Supplementary report 173 DC 1875.
11. Priest, S, D. and Hudson, J, A, «Discontinuity spacing In rock», Int J Rock Mtech MIn So Vol 13, 1978.
12. Carter, P. G and Sneddon, M. «Comparison of Schmidt hammer, point load and unconfined oompressive tests in Carboniferous strata»."CORE Conference in Rock Engineering, Newcastle, 1977,