

GALERİ AÇMA MAKİNALARININ SEÇİLMESİNE ETKİ EDEN FAKTÖRLER

Nuh BİLGİN*

ÖZET

Bu tebliğ galeri açma makinalarının seçimlerine tesir eden jeoteknik faktörlerle ilgilidir. Tebliğ sonunda verilen şema makina seçilmeden evvel hangi kayaç özelliklerinin tespit edilmesi gerektiğini adım adım göstermektedir.

ABSTRACT

This article is concerned with the geotechnical factors affecting the choice of tunneling machines. The diagram given at the end of the article shows, step by step, which kind of rock properties should be determined before any choice of a machine is made.

{*} Dr. Asistan Maden Müh. İTü Maden Fakültesi

1. GİRİŞ

Zamanımızın ekonomik sorunları yeraltı kaynaklarının hızla işletilmeye açılmasını gerektirmektedir. Hazırlık safhalarında dinamitlenerek sürülen galeriler uzun zaman almakta ve cevherin bir an evvel işletilmeye açılmasını engellemektedir. Yoğun nüfuslu şehirlerde zemin müsait değilse taşıt veya lağım tünellerinin dinamitleme yoluyla açılması sakıncalıdır. Bu nedenle makina ile kazı geliştirilmiş ve son onbeş senedir uygulanaşı gittikçe artmıştır. Yeni yöntemin bir sakıncalı tarafı makina geçilecek formasyona göre seçilmez ve dizayn edilmezse kazının ekonomik olmaktan çıkmasıdır.

2. DENEYE TABÎ TUTULAN KAYAÇLARIN JEOTEKNİK ÖZELLİKLERİ

Makina performansına tesir eden jeoteknik faktörleri incelemek için 9 ayrı kayaç laboratuvarında kesme deneylerinden önce fiziksel ve mekanik testlere tabi tutuldu (1, 2). Her bir deney ayrı ayrı izah edilip deney sonuçları Tablo - Tde verilmektedir.

— Tek eksenli basınç gerilimi.

Standart yöntemlere göre yapıldı. Numune çapı 40 mm, numune yüksekliği 50 mm'dir.

— Üç eksenli basınç gerilimi.

Mohr dairelerinden kayaçların kesme gerilmeleri ve iç sürtünme açıları bulundu.

— Çekme gerilimi.

Brazilian deneyiyle bulundu.

— Kayacın elastik özellikleri

Kayacın elastik özelliği onun deformasyona karşı gösterdiği mukavemetidir. Kayaç için gerilim-birim yerdeğiştirme eğrisi çizildiğinde kırılma yukunun % 50 değerine tekabül eden noktada çizilen teğet kayacın statik elastik modülünü verir. Dinamik elastik modülü ise sonik cihaz kullanılarak aşağıdaki formülle hesaplanabilir.

$$DE = V^2 \cdot D \cdot 10^6$$

Burada

DE = Dinamik elastik modülü, MN/m²

V = Numuneyi kat eden ses hızı, m/s

D = Kayacın yoğunluğu.

Tablo 1

Kayaç	Basınç Geril. MN/m ² ±S.S	Kesme Geril. MN/m ²	İç Sürtünme Açısı.	Çekme Geril. MN/m ²	E. Statik 10 ⁴ MN/m ²	E. Dinamik 10 ⁴ MN/m ²	Sürtünme Açısı 1 - K - Çelik 2 - K - T.K.	Yogunluk g/cm ³	Schmidt Çekici	Shore Sertliği	Konik Delici	Darbe Muk.	Kuvars mik. % Tane eb. mm.
Jips	45.02 ±5.9	4.5	30°	2.8± 0.5	5.0	4.26	0.900 0.960	2.26	39±3.6	33.9± 3.8	1.4	80.3	0 0
D.Kum-taşı	55.8± 0.6	11.0	43°	3.1± 0.1	1.2	1.25	0.183 0.429	2.19	47.2± 3.0	60.4± 3.7	1.4	50.7	76% 0.2 mm
M.Kum-taşı	71.3± 3.9	11.0	47°	4.4± 0.1	5.33	5.91	0.169 0.321	2.37	40.4± 2.9	53.4± 6.6	2.3	71.0	14% 0.2 mm
B.Kum-taşı	49.2± 0.7	7.0	25°	2.6± 0.2	1.03	1.18	0.350 0.650	2.03	51.7± 1.1	37.3±8	2.1	41.1	82% 0.3 mm
M.Kireç-taşı	84.9± 21	12.0	18°	6.2± 0.7	2.07	2.47	0.340 0.480	2.63	40.5± 1.7	19.5±3	1.92	84.9	0 0
Anidrit	112.9± 7.2	12.5	45°	5.5± 1	10.95	10.35	0.391 0.736	2.92	49.8± 4.4	53.0± 9.7	2.0	75.2	0 0
Kireçtaşı	127.3± 16.9	20	37°	7.5± 1.6	6.00	10.51	0.432 0.633	2.66	60.2± 1.1	77±7.3	5.4	80.0	0 0
Granit	179.1± 2	30	42°	10.8± 0.7	6.78	11.00	0.266 0.393	2.69	63.1± 2.2	88.1± 9.3	6.6	82.2	38% 1 mm
Grovak	183.9± 19.5	34	33°	16.5± 2.2	6.11	7.66	0.200 0.436	2.67	56.4± 3.2	69.5± 5.6	3.8	88.0	32% 0.35 mm

—Kesici ile kayaç arasındaki sürtünme katsayısı.

Kesicilerin kayaçlardaki davranışlarını izah eden teorik çalışmalar sürtünme katsayısının önemini ortaya koydular. Pratikte de durumun aynı olup olmadığını anlamak için fiziksel prensipleri kullanılarak çelik ve tungsten karbid kesicilerle kayaç arasındaki sürtünme katsayısı bulundu.

— Kayaçların yoğunluğu

Standart yöntemler kullanılarak bulundu.

—Schmidt çekici değeri.

Schmidt çekici kolaylıkla kullanılır ve taşınabilir. Betonun mukavemetinin ölçülmesi için geliştirilmiş ve kayaçlara tatbik alanı bulunmuştur. Yay vasıtasıyla gerilen sifindirlik uç yay gevşetildiğinde geri tepme, geri tepme mesafesi kayaçların mukavemetlerine göre değişir.

— Shore Sertliği.

Elmas uç daha önce hazırlanan numune üzerine düşürülür, uç zıplar, zıplama mesafesi kayacın yapısına göre değişir.

— Konik delici.

İngiltere kömür işletmeleri tarafından geliştirilen cepte taşınabilir aletin kullanılması gün geçtikçe artmaktadır. İri taneli kayaçlarda sıhhatli neticeler vermez. Belirli bir kuvvet altında konik delici tırnak büyüklüğündeki numuneye batırılır. Batma derinliği kayacın basınç gerilimi ile orantılıdır.

— Darbe mukavemet indeksi.

Deney ilk olarak Protodyakanov tarafından kullanılmış Evans ve Pomeroy tarafından geliştirilmiştir (3). Belirli boyutlara çekiçle kırılıp elenen numune çelik sifindirlik kap içersine koyulur. Belirli yükseklikten belirli ağırlıktaki kütle on defa numune üzerine düşürülür. Numune tekrar elekten geçirilir, belirli boyutlarda olanı tartılır ve bu değer mukavemet indeksi olarak belirlenir.

— Kuvars tane ebadı ve miktarı.

İnce kesitlerin polarize mikroskop altında incelenmesiyle bulunur.

3. GALERİ AÇMA MAKİNALARININ SINIFLANDIRILMASI

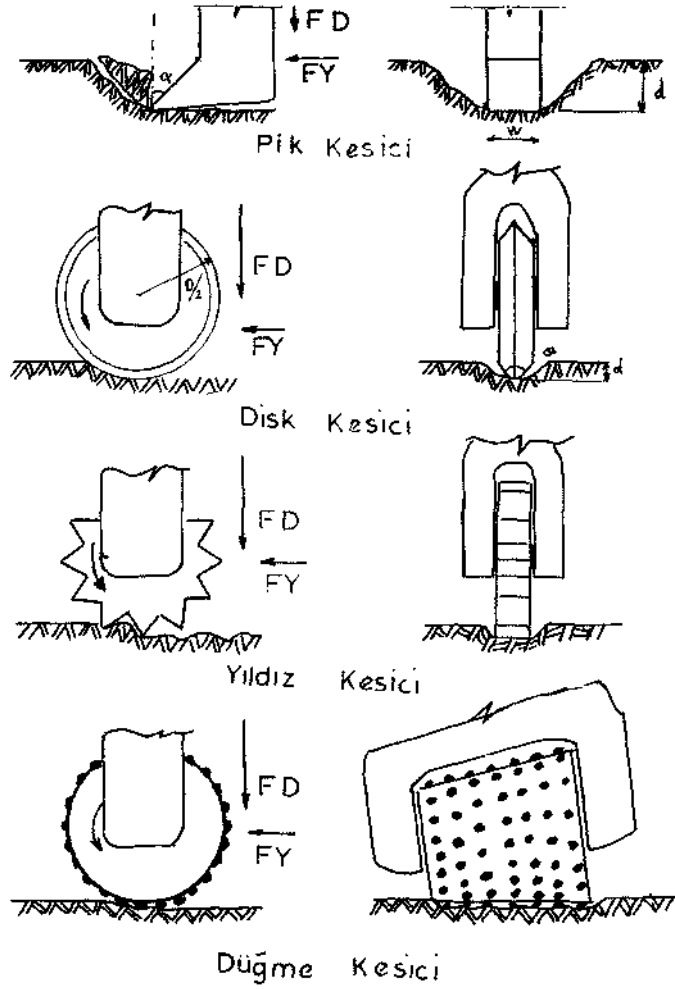
Galeri açma makinaları kısmi ve tam cepheli makinalar olmak üzere ikiye ayrılır. Kullanılan kesiciler ise pik, disk, yıldız ve düğme kesicilerdir (4). (Şekil -1)

Kısmi cepheli makinalarda genellikle pik kesiciler kullanılır. Bu makinalar

hafif ve diğerlerine nazaran ucuz olur. Hareket halindeki kafa arma istenilen istikamette dolaştırılır ve kazı yapılır. Kazılan malzeme hareketli kollar vasıtası ile konveyöre oradan da diğer nakil vasıtalarına ulaştırılır.

4. KESME ENERJİSİ

Birim hacimdeki kayacı kesmek için gerekli enerji olarak tanımlanan kesme enerjisi makine seçim ve dizaynında en önemli etkidir ve mümkün olduğu kadar az olmalıdır.



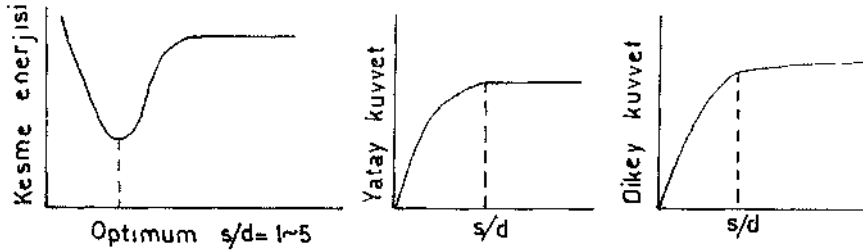
Şekil 1

5. KESME ENERJİSİNE TESİR EDEN FAKTÖRLER

a. Mekanik Faktörler

Değişik geometrideki kesicilerle yapılan laboratuvar deneyleri açısı (α , © bak Şekil - 1) küçüldükçe kesme enerjisinin düştüğünü ortaya koydu. Bu da sivri kesicilerin kullanılmasını gerektirir. Keski sivrildikçe mekanik mukavemet azaldığından bu seçim pik kesicilerde yumuşak kayalar için 15° , orta sertlikteki kayalar için 10° , sert kayalar için -10° 'de sınırlıdır. Disk kesicilerde kesme açısı için en ideal değer $60^\circ - 80^\circ$ arasındadır (5).

Kesme derinliğinin artması kesme enerjisinin azalmasına sebep olur. Bu da derin kesmenin faydasını açıkça ortaya koyar. Kesme enerjisi sonsuza doğru azalmadığından limit bir kesme derinliği düşünülebilir. Her bir kayaç için ayrı bir s/d oranına tekabül eden optimum bir kesme enerjisi vardır (Şekil - 2).



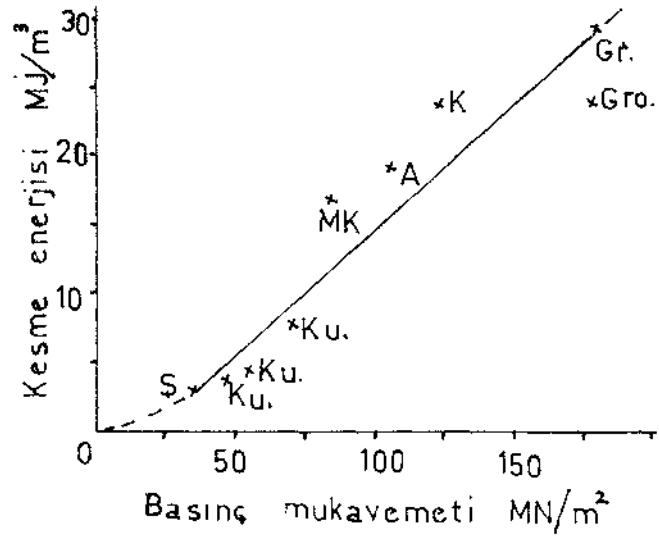
Şekil 2

Burada s keski arası mesafeyi d ise kesme derinliğini gösterir, s/d oranı ile kuvvetler hızla artmakta belirli bir değerden sonra keskinin birbirlerini etkilemedikleri duruma asimptotik kalmaktadır.

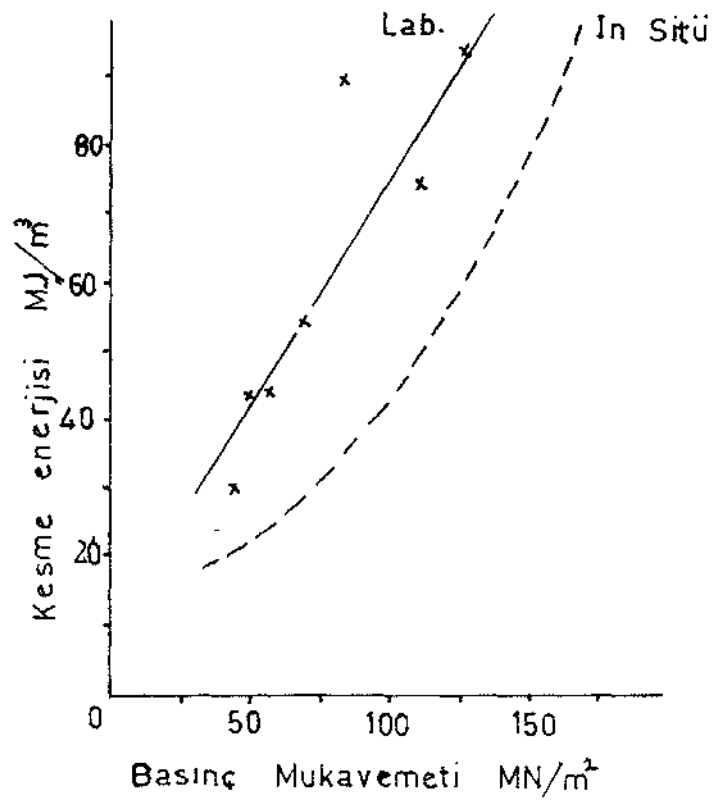
b. jeoteknik Faktörler:

Deney neticeleri kesme enerjisinin kayacın tek eksenli basınç mukavemeti ile hızla arttığını gösterdi (2,6), (Şekil - 3). Şekil-3B disk kesicileri için ($\alpha=60^\circ$, $d=5$ mm.), Şekil-3A pik kesiciler içindir ($\alpha=10^\circ$, $d=6$ mm).

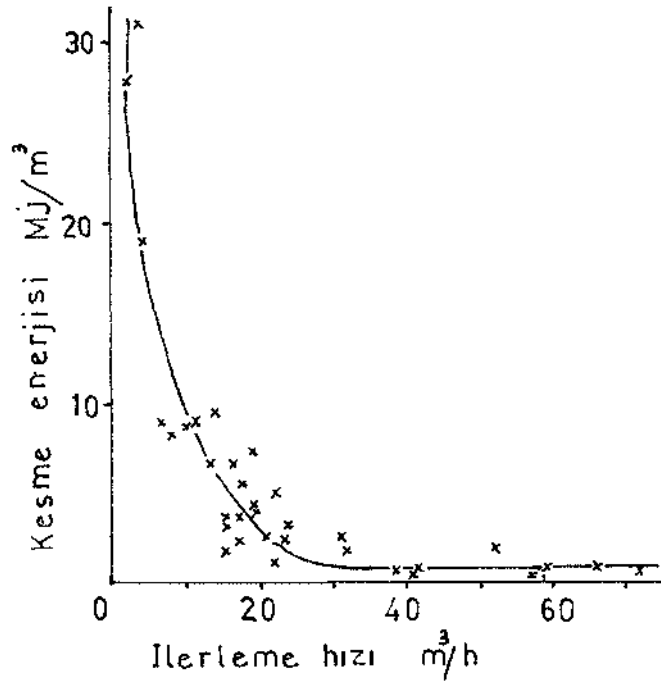
Değişik yazarların yaptıkları insitü ölçmelere göre makina ne kadar hızlı ilerlerse kesme enerjisi o kadar azalmakta, belirli bir değerden sonra sabit kalmaktadır. (7 - 8), 4 nolu şekil (4A - Pik kesicili makinalar için, 4B - Disk kesicili makinalar için) dikkatle incelenecek olursa kabul edilebilir ilerleme hızları disk kesiciler için 50 MJ/m^3 , pik kesiciler için 5 MJ/m^3 'lük kesme enerjisine tekabül eder.



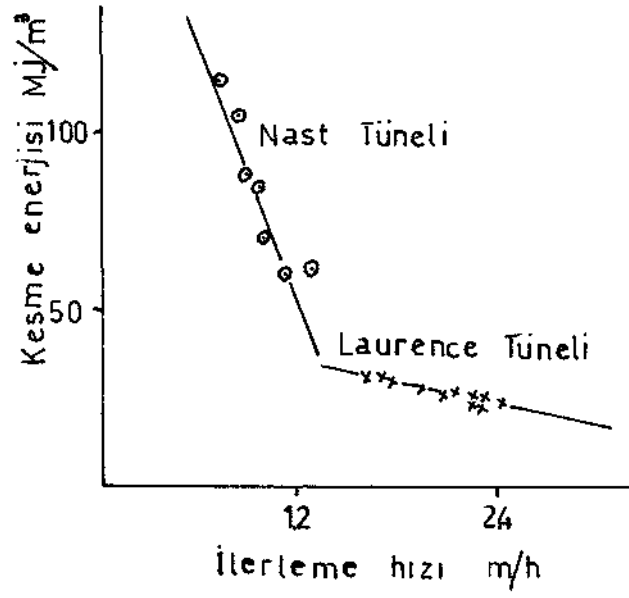
Şekil 3 a



Şekil 3 b



Şekil 4 a



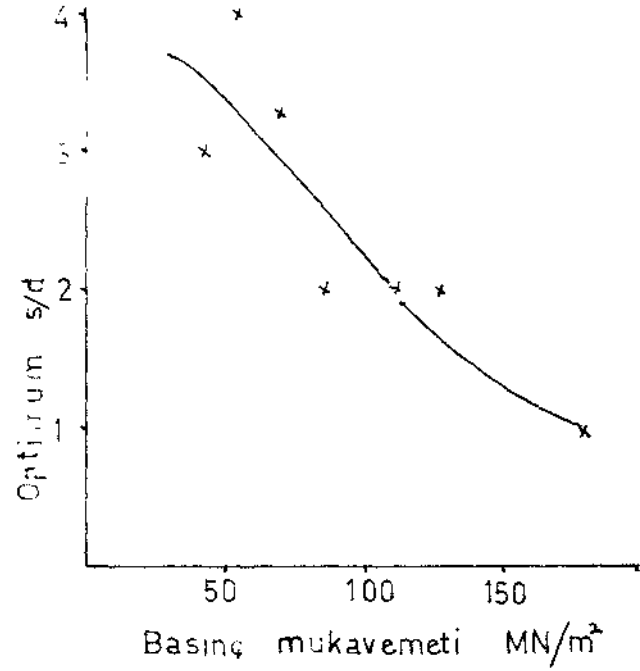
Şekil 4 b

Laboratuvarda ölçülen kesme enerjisi değerleri, kayaların yerlerinde kırık ve çatlaklı olmaları nedeni ile insitü değerlerden % 50 - 60 daha fazladır. Bütün bu faktörler gözönüne alınırsa pik kesicili makinaların basınç gerilimi 90 MN/m^2 ' den fazla olan formasyonlarda kullanılamayacağını ortaya koymaktadır. Bu üst limit disk kesicili makinalarda 200 MN/m^2 'dir. Diğer taraftan kayacın kırıklı ve çatlaklı oluşu kazıya yardım edecektir. Şayet jeolojik süreksizlikler dolayısıyla arından kopan parçalar iriyse disk kesicilerin arasına sıkışır, kesiciler dönmez çabuk aşınırlar.

Pik kesicilerde optimum kesme enerjisini veren s/d kayaların basınç mukavemetleriyle azalmaktadır, (Şekil -5). Bu da kayaç sertleştikçe kesicileri daha sık kayma zorunluluğunu ortaya koyar. Disk kesicilerde ise optimum s/d kayacın

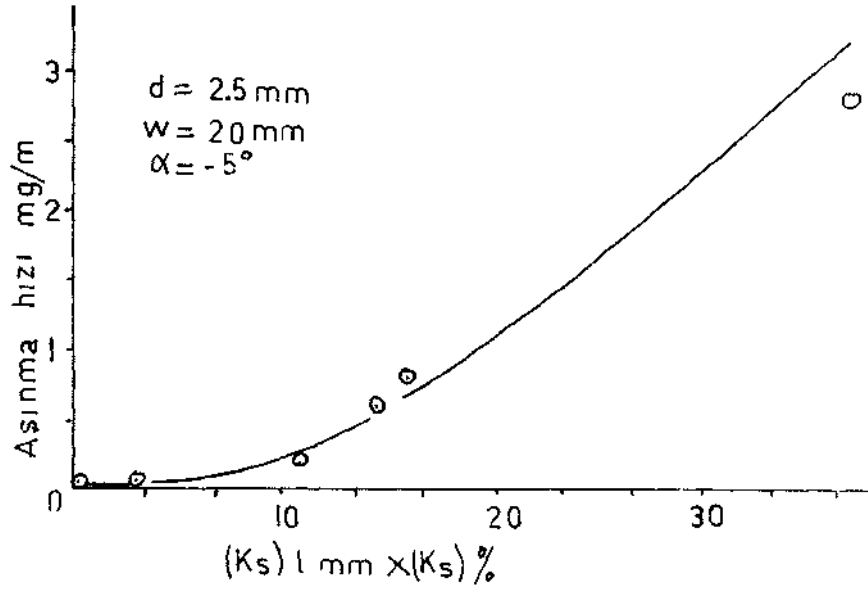
kayacın basınç mukavemetinin kesme gerilmesine oranına eşittir.

Kesme enerjisine tesir eden diğer bir faktörde kayacın aşındırıcılığıdır. Uçlarda meydana gelen aşınma piklerin ağırlıklarından kaybetmeleri veya aşınma yüzeyinin mikroskop altında ölçülmesi ile tanımlanabilir. Aşınma yüzeyi kesme mesafesi ile non-lineer, kesicilerin ağırlıklarından kaybetmesi ise lineer olarak artar. O halde her kayaç için ayrı bir aşınma hızı mevcuttur. Aşınma fazlaştıkça kesme enerjisi hızla artar.



Şekil 5

Şekil - 6 aşınma hızının kuvars tane ebadına ve kuvars yüzdesine bağlı olduğunu göstermektedir (2). Kuvars miktarı % 60'ı aşarsa pik kesicileri kullanmak sakıncalıdır. Kuvars tane ebadının etkisi ise daha geniş bir çalışmanın konusudur.



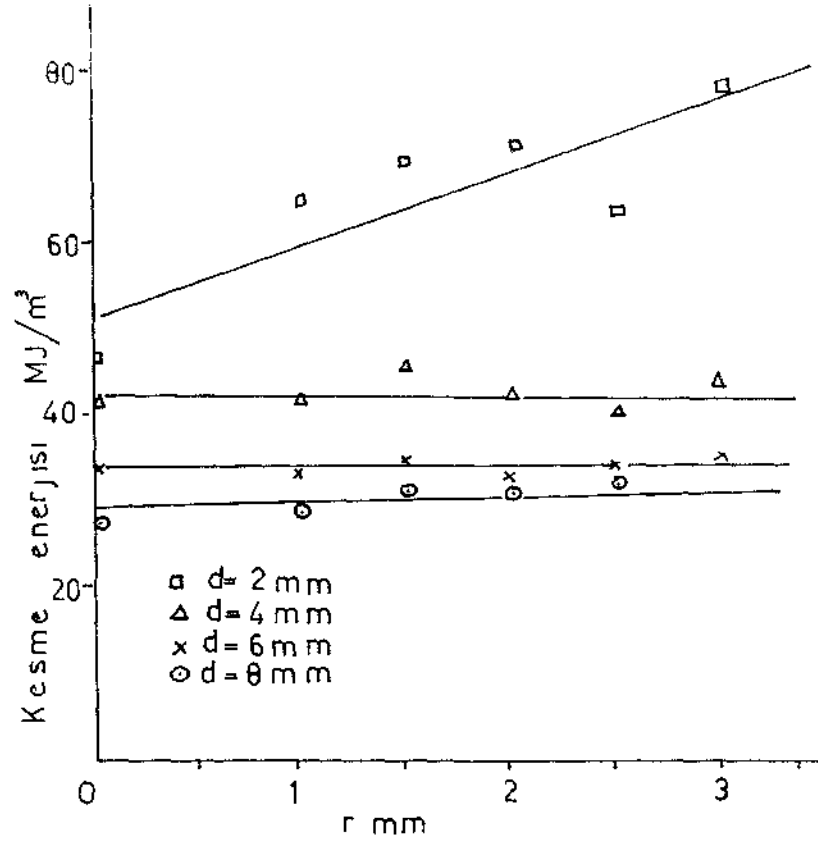
Şekil 6

Disk kesiciler de ise durum çok değişiktir. Diskler çabuk aşınmamaları için r yarıçapında yuvarlatılırlar. Bu suni köreltme Şekil - 7'den de görülebileceği gibi, kabul edilebilir kesme delikleri için, kesme enerjisini etkilemez. Bu da, kayaç çok aşındırıcı ise disk kesicilerin kullanılma zorunluluğunu ortaya çıkarır (9).

6. KESİCİLERE GELEN YÜKLERE TESİR EDEN JEOTEKNİK FAKTÖRLER

Pik kesicilere gelen yükler kayacın çekme gerilmesiyle orantılıdır. Bu teorik olarak Evans tarafından da kanıtlanmıştı (3).

İstatistiksel olarak disk kesicilerin performansı ile kayaçların özellikleri arasındaki bağıntıyı izah etmek için iki yönden hareket edildi. Birincisi kayaca gelen dikey yüklerin diskin projektıl temas yüzeyi ile, yatay yüklerin ise diskin hareket istikametindeki projektıl alanı ile orantılı olduğuydu, (Şekil -8). İkinci



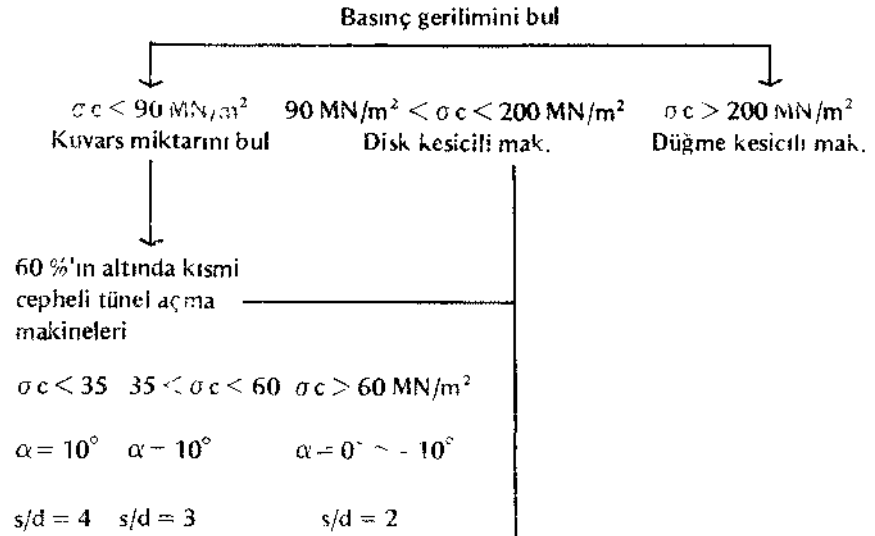
Şekil 7

yöntem ise Şekil - 8'de verilen a, b, c, d, katsayılarının kayaçların fiziksel özellikleri ile olan bağıntısını incelemektir. Neticede a ve d katsayılarının kayacın özellikleri ile değişmediği, diğer katsayıların ise kayaç özelliklerine Tablo-2'deki gibi bağlı olduğu görüldü.

özetlenecek olursa disklere gelen kuvvetlere tesir eden jeoteknik faktörler önem sırasına göre şöyle sıralanabilir (9).

1. Kayacın tek eksenli basınç gerilimi
2. Kayacın yoğunluğu
3. Kayacın çekme gerilimi
4. Statik ve dinamik elastik modülleri
5. Darbe gerilimi

TÜNEL AÇMA MAKİNELERİNİN SEÇİM ŞEMASI



Şemanın altında verilen formüllerden $D = 30 \text{ cm}$, $d = 5 \text{ mm}$, $\alpha = 60^\circ$ seçerek FY ve FD'yi hesap edip imalatçı firmaya bildirir.

Yukarıdaki i şemada:

- s= Keskinler arası mesafeyi
- d= Kesme derinliği, mm
- D= Disk çapı, mm.
- α = Disk açısı, derece
- σ_c = Basınç Mukavemeti, MN/m^2
- σ_s = Kesme mukavemeti, MN/m^2
- FY= Yatay kuvvet, kN
- FD= Dikey kuvvet, kN

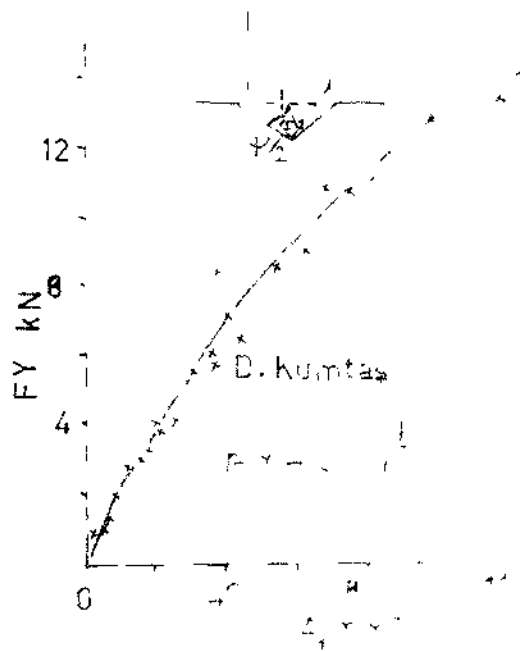
üç eksenli basınç deneyinden veya diğer yöntemlerle σ_c esm. gerilimini bul.

$$s/d = \frac{\sigma_c}{\sigma_s} \text{ dir.}$$

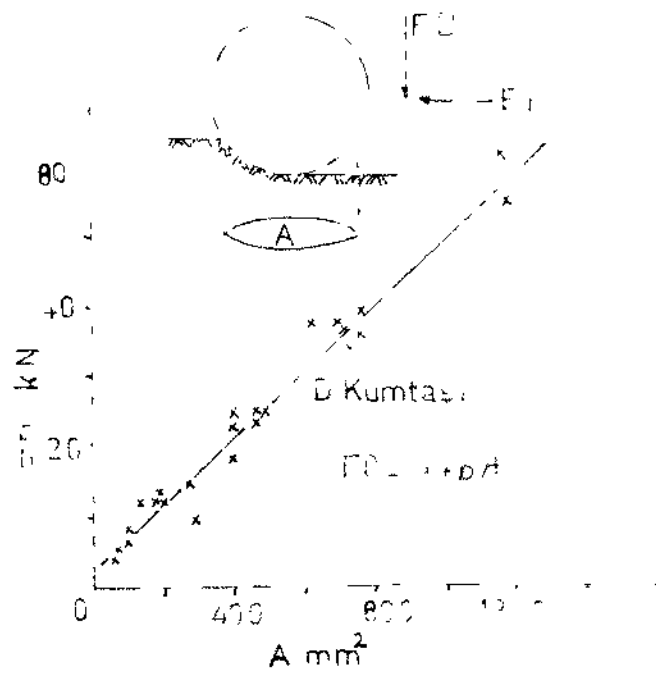
$$FD = \frac{8d}{3} \tan \frac{\alpha}{2} \sqrt{Dd} d^2 (0.076 + 0.00099 \sigma_c) + 4.2$$

$$FY = (-0.0249 + 0.0072 \alpha) \left(d^2 \tan \frac{\alpha}{2} \right) 0.778$$

Tablo 2



Şekil 8 a



Şekil 8 b

7. SONUÇ

Galeri açma makinelerinin geçilecek formasyona uygun seçilebilmeleri için kayacın basınç gerilimi, kesme gerilimi ve kuvars miktarı bulunmalı ve 2 nolu tabloya uygun olarak seçim yapılmalıdır. Tablodaki yatay ve dikey kuvvetleri veren formüller, döner kafanın kesilecek kayaca uygun olarak dizayn edilmesini sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

1. PHILIPS, H.R. - BİLGİN, N. — "Correlation of Rock Properties with the Measured Performance of Disc Cutters" Conference on Rock Engineering, The University of Newcastle Upon Tyne, p.p. 181 - 196, 4 - 7 April 1977.
2. BİLGİN, N. — "Investigation into the Mechanical Cutting Characteristics of Some Medium and High Strength Rocks". Ph.D Thesis, The University of Newcastle Upon Tyne p. 332, June 1977.
3. EVANS, I - POMEROY, CD. — "The Strength, fracture and Workability of Coal". Pergamon, London, p. 256, 1966.
4. ROXBOROUGH, F.F. - RISPIN, A. — "The Mechanical Cutting Characteristics of the Lower chalk". Tunnel and Tunnelling, p.p. 45-67, January 1973.
5. RISPIN, A. - BİLGİN, N. — "Prediction of Disc Cutter Performance from Laboratory Rock Cutting Experiments". Transaction, Section A.I.M.M. Volume 86, January 1977.
6. HIBBARD, R.R. - HYMAN, O.S. - MURPHY, F.F. — "Hard Rock Tunnelling Evaluation and Computer Simulation." General Research Corp. Arlington, Sep., 71.
7. FOWELL, R.J. - Mc FEAT - SMITH, I. — "Factors Influencing the Cutting Performance of Selective Tunnelling Machine". Tunnelling 76, Symposium, London, March 76.
8. WANG, F. - MILLER, R. — "A Theoretical and Experimental Study of Tunnel Boring by Machine." Colorado School of Mines, Golden Dept. of Mining Eng., August 72.
9. PHILLIPS, H.R. - BİLGİN, N. - PRICE, D. — "The Influence of Tyre Tip Geometry on the Design of Disc Cutter Arrays". Third Australian Tunnelling Conference, September 1978.