

YERALTI KAZILARINDA MEKANİZASYON

MECHANICAL EXCAVATION IN UNDERGROUND WORKINGS

Nuh BİLGİN H

ANAHTAR SÖZLÜKLER Roadheader, TBM Tam cepheli Tünel Açma Makinesi
Mekanize Kazı ,Cerchar Aşındırıcılık indeksi, Schimazek
Aşındırıcılık indeksi

ÖZET

Bu tebliğde, yeraltı kazılarında mekanizasyonun nasıl geliştiğine kısaca değinilmiş, mekanize sistemlerin avantaj ve dezavantajlarından bahsedilmiştir. Roadheader ve TBMLerin seçim kriterleri için geliştirilen modeller detaylandırılmıştır. Uygulamadan bazı örnekler ve mekanize sistemlerin performanslarının nasıl kestirilebileceği özetlenmiştir.

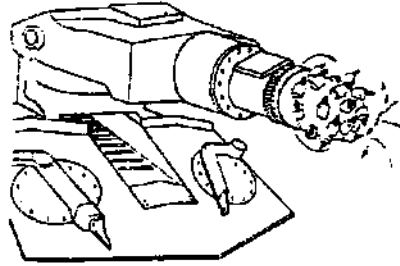
ABSTRACT

In this article, historical development of mechanical excavation systems are briefly given and advantages and disadvantages of these systems are summarized. Different models to predict the loadheader and TBM performances, cutter consumption and optimum cutter head design are explained in detail.

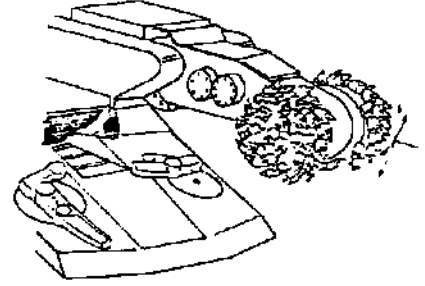
"Pi of Di ITU Maden Fakültesi

1. GİRİŞ

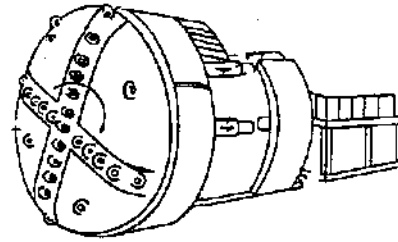
Son elli yılda dünya nüfusunun, beklenenden çok daha hızlı bir şekilde artması büyük şehirlerde yapılan yer altı kazılarını hızlandırmıştır. Kanalizasyon şebekeleri, metro vs. için planlanan tünellerin emniyetli, ekonomik ve hızlı açılabilmesi ise mekanizasyonu gündeme getirmiş ve bu konudaki çalışmalar artmıştır. Bugün artık 7-8 m çaplı bir tünelde, eğer mekanize sistemler gereği gibi seçilmişse günde 30-40 m'lik ilerlemeler olağan karşılanmaktadır. Bir çok durumda şehirleşmenin getirdiği problemlerin çözümünde yer altı yapılarının hızlı kazısı ve bir an evvel devreye sokulmaları esas alınmaktadır. Çok özel koşulların dışında, şehirlerin altında delme patlatma kazı yöntemine müsaade edilmemesi roadheader veya tam cephe tünel açma makinelerinin (TBM) kullanılmasını ön plana çıkartmaktadır (Şekil 1,2,3). Bu tür kazı makinelerinin kazılacak formasyona uygun seçilmemesinden ise kazı maliyetini beklenenden çok ötesinde artırmakta bazen de proje bitim sürelerini kabul edilemeyecek sürelere çıkartmaktadır (1). Bu nedenle proje fizibilite çalışmaları sırasında laboratuvarında yapılan tam boyut kazılabilirlik deneyleri önemini gittikçe arttırmıştır. Roadheader'ler Macaristan'da 1950'de ilk olarak kömür ocaklarında kullanılmalarından beri büyük teknolojik gelişmelere uğramışlardır. Masif formasyonlarda üst kullanım sınırı 500 kg/cm² iken bugün bu sınır 900 kg/cm²'ye kadar çıkmıştır, kırık ve çatlaklı formasyonlarda ise 1500-1600 kg/cm²'ye kadar basınç dayanımına sahip kayaç formasyonları ekonomik olarak kazılabilir (2). Kesici kafanın, arma dik veya paralel hareket etmesi kazı verimini önemli ölçüde etkiler (3). Tambur şeklindeki kazıcı kafalar (arma dik hareket), spiral (arma paralel hareket) şeklinde tasarımı yapmış kesici kafalara nazaran sert formasyonlarda daha verimli kazı yapabilmektedir (Şekil 4). Buna rağmen, Şekil 5 den de görüldüğü gibi tambur tipi kesici kafaya sahip roadheaderlerde keski sarfiyatı daha fazla olmaktadır. Roadheaderler sert formasyonlarda kesici kafaya gelen reaksiyon kuvvetlerini dengelemek ve makine gövdesinin stabilitesini sağlamak üzere güçlerine bağlı olarak daha ağır yapılmaktadırlar (4). Jeolojik süreksizliklerin fazla olduğu durumlarda ise şiddetli makinelerin kullanılması kaçınılmaz olmaktadır. TBM lerin ilk uygulamaları ise roadheader'den sonra olmuştur. Şekil 6'de görüldüğü gibi, 1970 lerden sonra teknolojik gelişmelerin bir sonucu olarak TBM lerin performansları senelere bağlı olarak gittikçe artmıştır (5). TBM ler bugün en sert kayaçlarda bile başarı ile kullanılmaktadır. Basınç dayanımı 2500 kg/cm² olan bir granit formasyonunda, 7 m çapında bir makine günde kolaylıkla 8-9 m'lik kazı hızlarına ulaşabilmektedir Makine arkasındaki



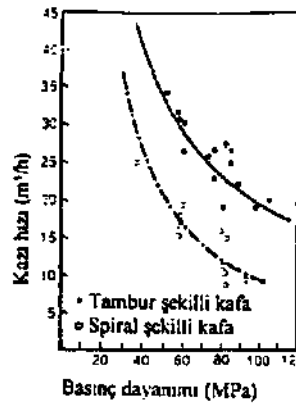
Şekil 1. Spiral Şeklinde Kesici Kafaya Sahip Bir Roadheader (1)



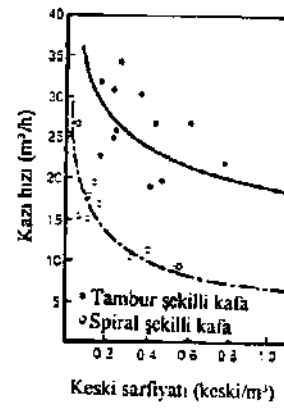
Şekil 2. Tambur Şeklinde Kesici Kafaya Sahip Bir Roadheader (1)



Şekil 3. Tam Cepheli Bir Tünel Açma Makinası (1)



Şekil 4. 300 kw Gücündeki Roadheaderlerde, Kayaç Basınç Dayanımı ile Kazı Hızı Arasındaki İlişki (3)



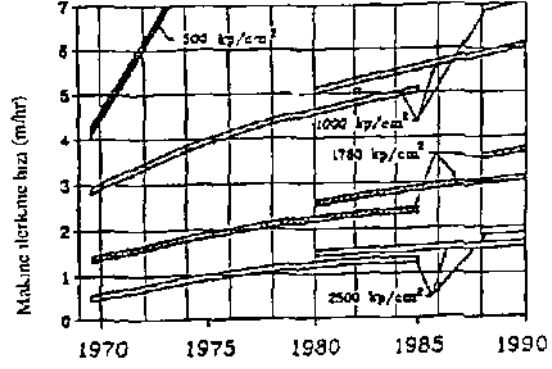
Şekil 5. Roadheader'lerde Kazı Hızı ile Keski Sarfiyatı Arasındaki İlişki (3)

erektörler yardımı ile, prekast segmentler kolaylıkla yerleştirilebilmekte ve ikinci bir kaplama işine gerek kalmayabilmektedir. Mekanize sistemin en büyük avantajlarından biri de, kazı, pasana nakliyesi ve tahkimat sistemlerinin bir birlerinden bağımsız olarak sürekli yapılabilmesidir. Tektonik yönden aktif olan jeolojik birimlerde çift şiltli makineler, makine sıkışmadan, kazının sürekli olarak yapılabilmesini sağlamaktadır.

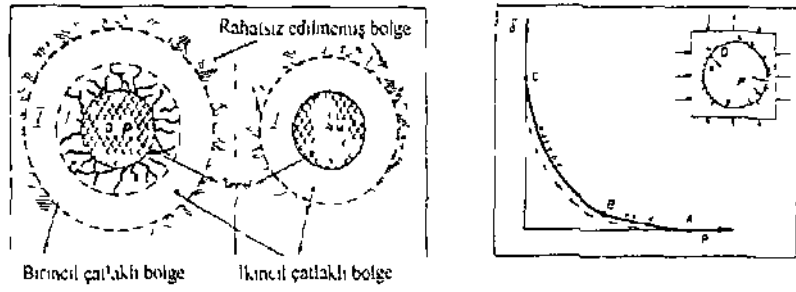
Killi, akıcı ve sulu zeminlerde arın basıncının, sulu veya basınçlı hava ile dengeledikten sonra, kazı yapıldığı şiltli makineler son 7-8 senede teknolojik olarak büyük gelişim göstermişlerdir. Bu tür uygulamalarda yer üstü taşıyanları en az olmaktadır. Konu uzun ve karmaşık olduğu için burada sadece değinilmekle yetinilecektir.

2. MEKANİZE KAZI SİSTEMLERİNİN AVANTAJ VE DEZAVANTAJLARI

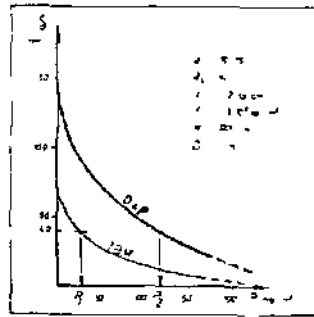
Mekanize kazı sistemlerinin, delme-patlatma yöntemine nazaran en önemli avantajlarından biri, kayalık formasyonların kırılıp çatlamaması ve aşın sökülmenin en az olmasıdır (Şekil 7). Buna bağlı olarak tahkimat masraflarından önemli ölçüde azalmaktadır (6) Şekil 8 ve 9, İsviçre Teknoloji Enstitüsü araştırmacılarından Dr.H.Wanner'in bir araştırmasını özetlemektedir. Tünel açılmadan önce arazi basınçtan, p karşı basınçla dengelenmekte, tünel açıldıkça deformasyon zamana bağlı olarak artmaktadır (6). Şekil 7'de görüldüğü gibi iç sürtünme açısı 35° , kohezyonu $c=1-2 \text{ kp/cm}^2$. Elastisite modülü $E=(4-5) \times 10^6 \text{ kp/cm}^2$ olan bir kayalık formasyonunda 1000 m derinlikte açılan 4m çaplı bir tünelde, kabul edilebilir deformasyon 40 mm ise, TBM için yapılan kaplama beton hesabında dizayn kriteri olarak 25 kp/m^2 lık, 25 kp/m^3 lık bir basınç almak gerekmektedir. Bu da TBM uygulamalarında, kaplama masraflarının klasik tünel açma yöntemlerine kıyasla ne kadar azalabileceğini kanıtlamaktadır. Lugano yakınlarında aynı formasyonda açılan iki tünel buna tipik örnektir. TBM ile açılan tünelde her 100 m için 9 tavan civatası gerekirken delme patlatma yöntemiyle açılan tünelde tavan civatası sayısı 100 m için 31'e çıkmıştır, her 100 m ilerleme için ilk yöntemde 5 çelik iksa gerekirken diğer yöntemde bu sayı 25 olmuştur (6). Buna rağmen jeolojik süreksizliğin fazla olduğu formasyonlarda, şiltsiz bir TBM'de Şekil 10'de görüldüğü gibi olumsuzluklar yaşanabilmekte, sık sık göçük olayları olmakta ve »riperler tünel cidarlarına gömülerek ilerlemeyi aksatmaktadır



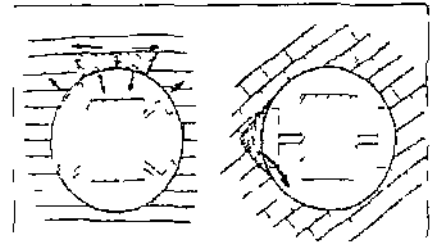
Şekil G 7 m Çapında Kullan Tünlülerde Senelere Gore IBM lenn Performanslarının Gelişmesi (•)



Şekil 7 IBM \e Delme ParUmn>einen 1U, Viu1 Sektör Denge Bisinin (P u Daorma^on, Si Tünelledi El dienen Bölçtler E&J Vasin&iki İlişki (•)



Şekil 9 Denge Basıncı (P) ve Dde Tirgon (&| AmMülak İlişki (•)



Şekil 10 >ilızHır l BMde Jeolojik Surtk-azlıklenn Fikhi (d)

Balta limanı tüneline benzer bir durum ortaya çıkmış, makineden yararlanma oranı %7 lere kadar düşmüştür (7). Bu nedenle makinenin seçimi ve tasarımında, jeolojik süreksizliklerin Önemi büyük olmaktadır. Şekil 11'de görüldüğü gibi arazinin kendi kenidini tutma özelliği makine ilerleme hızına bağlı olarak L mesafesi ($L1+L2+L3$) içerisinde ise, şiltsiz makinelerin seçimi uygun olabilmektedir. Kazı aynası (A) stabil değilse düz kesici kafalar daha uygundur. B ve C bölgeleri göçükten etkilenebilecek uzaklıktaysalar, tektonik hareketlere göre tek şiltli veya çift şiltli TBM ler daha verimli sonuçlar vermektedir. Birçok durumda D bölgesine kazı esnasında koyulan prekast segmanlar, ikinci bir kaplamayı gerektirmeyebilmektedir.

TBM veya roadheader uygulamalarının diğer avantajları, hızlı kazı hızı, zemin titreşimlerinin minimum olması, emniyet, sürekli pasa nakli ve tahkimat sistemlerinin kullanılabilmesi ve havalandırma kolaylığıdır.

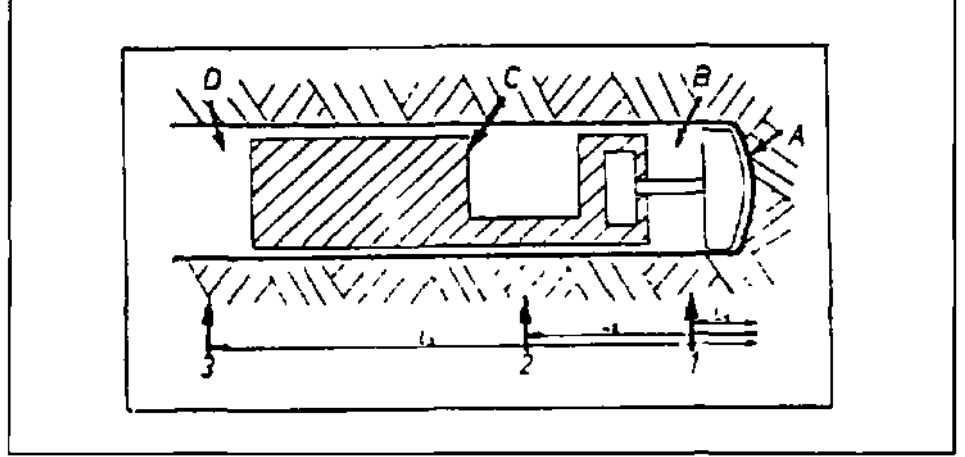
Mekanize sistemlerin en büyük dezavantajı ilk yatırımlarının yüksek olması, makinelerin nakil ve montaj süreleridir. Bugün bir roadheader'in fiyatı kullanılma durumuna güç ve ağırlığa bağlı olarak US\$ 700.000 ile 2.000.000 arasında TBM'in fiyatı ise US\$ 2.000.000 ile 8.000.000 arasında değişmektedir.

3. ROADHEADER'LERİN SEÇİM KRİTERLERİ

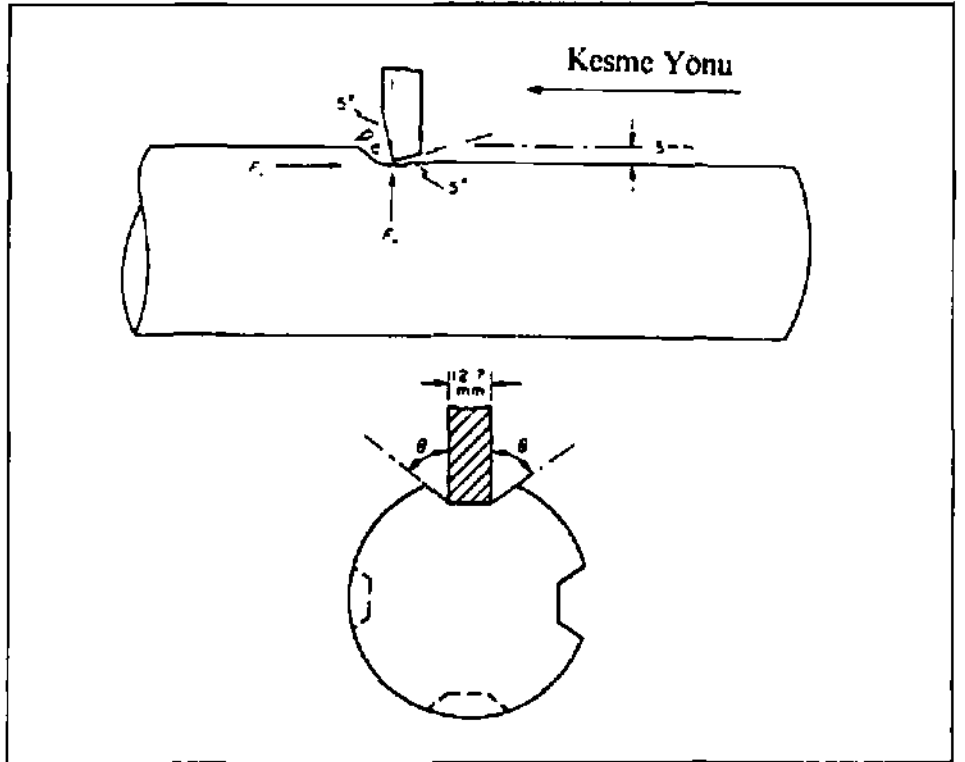
Herhangi bir kazılabilirlik sınıflamasında, kayacın dayanım özellikleri jeolojik süreksizleri içeren kütleli özellikler ve keskinlerle kayaç kütlelerinde aktarılabilir güç göz önüne alınmalıdır. Bugüne kadar birçok model üzerine çalışılmış buna rağmen birkaçı uluslararası düzeyde kabul görmüştür. Bunlardan önemli görülen 3 ayrı yöntem aşağıda değinilecektir.

3.1. Pilot Kazı Setinde Yapılan Karot Kesme Deneyleri

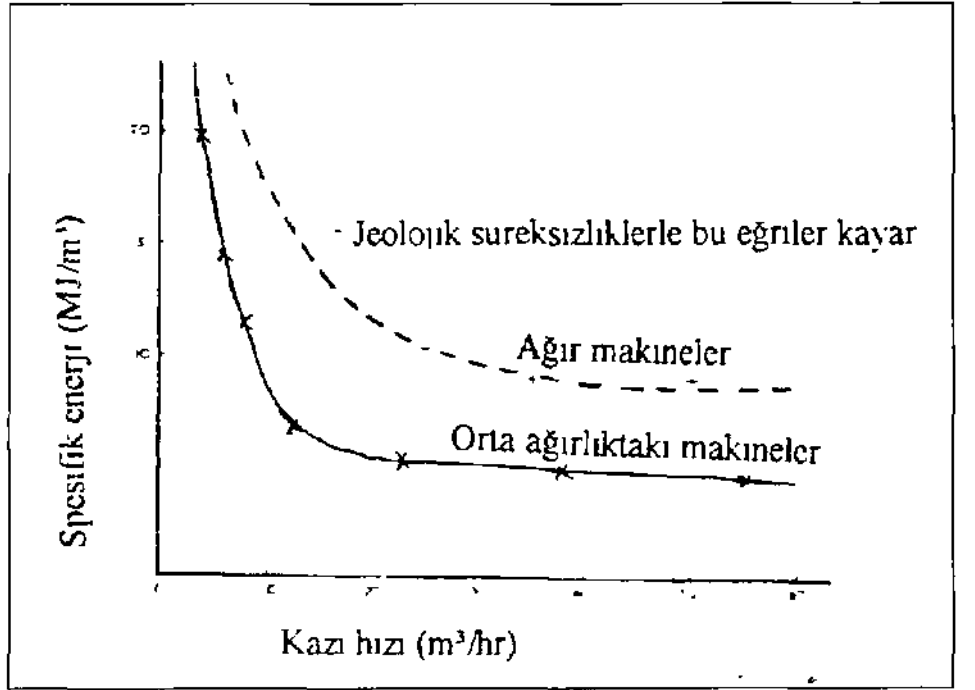
1987'da Montreal'da toplanan, Uluslararası Kaya Mekaniği Cemiyeti (ISRM) kazılabilirlik sınıflama komisyonu üyeleri, Newcastle Üniversitesi Karot Kesme Deneyim standart deney olarak önermişlerdir (8). Bu yöntem uzun yıllar laboratuvar ve in-situ deney sonuçlarına dayanılarak geliştirilmiştir (9,10). Laboratuvarında, şekil 12'de görüldüğü gibi karotlar kesme deneylerine



Şekil 11 - fi/f TBM'de Jeolojik Süreksizliklerden Etkilenebilecek Bölge



Şekil 12, Laboratuvarda Yapılan Karat Kesme Deneyi (9. 10)



Şekil 13 Raadheadet Kazı Hızı ite Lahoraîmatı Spesifik Sneji Değeri len Arasındaki İlişki (9,10)

tabi tutulmakta, keskilere gelen FC , ve FN kuvvetleri, buna ilaveten de birim hacimdeki kayacı kesmek için gerekli enerji olarak tarif edilen spesifik enerji (SE , MJ/m^3) tespit edilebilmektedir. Böyle bir deney seti İ.T.Ü. Maden Fakültesi, Maden Müh. Laboratuvarında mevcuttur. 90 kw kesme gücünün altındaki makineler için uygulama sınırın $10 MJ/m^3$, 90 kw kesme gücünün üzerindeki makinelerde ise uygulama sınırın $15 MJ/m^3$ alınmaktadır. Ayrıca Şekil 13'den de görüldüğü gibi, spesifik enerjiye bağlı olarak orta ağır ve ağır makinelerde kazı hızı hesap edilebilmektedir. Bu yöntem, kayaç kütlesi Özelliklerini ve aynaya aktarılabilecek kesme gücünü tam yansıtmadığı için eleştirilmektedir.

3.2. Laboratuvarda Yapılan Tam Boyut Kesme Deneyleri

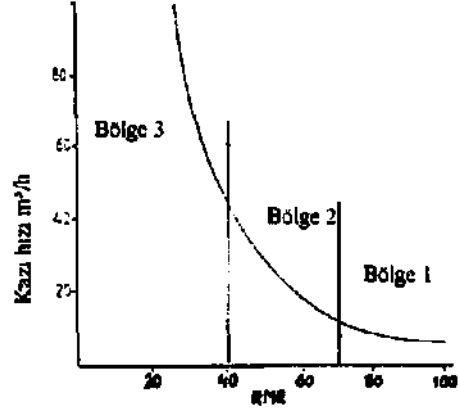
Teorik olarak, net ilerleme hızı, makine kesme gücü ve spesifik enerji arasında aşağıdaki bağıntı mevcuttur.

$$KH(m^3h) = K \frac{G(kW)}{SE(kWh/m^3)} \quad (1)$$

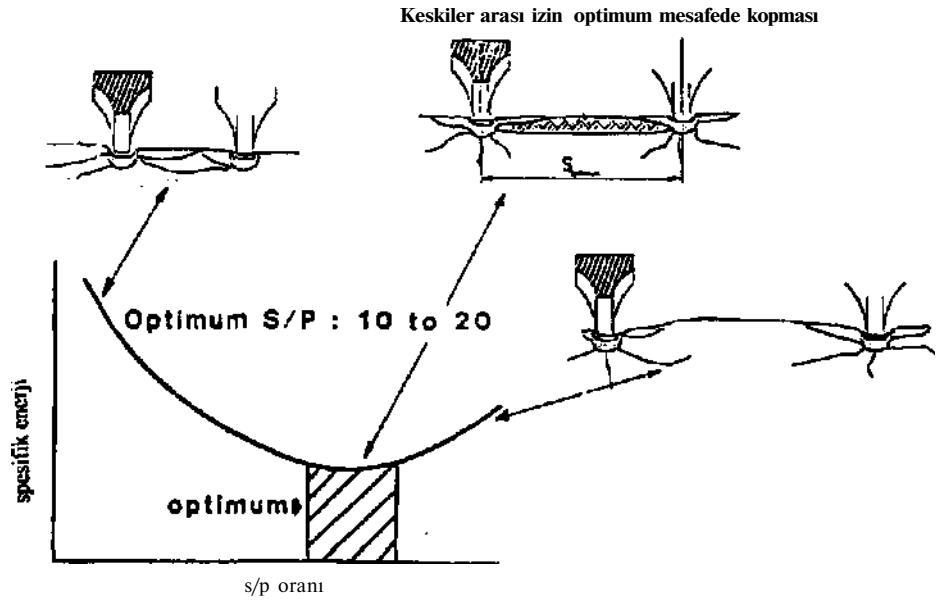
Bu bağıntıda $K.H$, deneyin yapıldığı keskilere donatılmış roadheader'in net ilerleme hızıdır. Günlük ilerleme hızının bulunması için günlük çalışma vardiyası ve makineden faydalanma oram göz önüne alınmalıdır. G , roadheader'in kazı gücü, SE ise laboratuvar tam boyut kesme deneylerinden elde edilen spesifik enerji değeridir. K kayaç kütlesinin özelliklerine bağlı olarak 0,4 - 0,8 arasında değişen bir katsayıdır.

3.3. Yerinde Yapılan, Ölçmelere Dayanarak Geliştirilen Modeller

Fowel va arkadaştan Şekil 14'de görüldüğü gibi RMR sınıflama sistemine bağlı olarak, orta ağırlıktaki roadheader için bir performans tahmin grafiği geliştirmişlerdir. Bu grafikte 3 bölge tarif edilmiştir (11). 1 inci bölge de, formasyonun tamamen parça dayanımı hakimdir, 2 cü bölgede kayacın parça dayanımının etkisi kayaç kalitesi düştükçe artmaktadır, 3. cü bölgede ise, kayaç kütle özellikleri makine performansına tamamen hakimdir. Bu yöntem sadece orta ağırlıktaki makineler için geliştirilmiş, uygulaması unıverselleştirilmemiştir



Şekil 14. RMR Sini (lama Değerleri ile OrU Ağırlıktaki Roadheaderlerin Kazı Hızı Arasındaki İlişki (11)



Şekil 15 Spesifik Enerjinin Optimum Keskiler Arası Mcsafe/Kcsme Derinliği Oranı (s/p) ile Değişimi

Diğer başka yaklaşımda ise istanbul'da açılan kanalizasyon tünelleri temel alınarak, makine performansının ve kayaç kütlesi özelliklerinin yerinde tespit edilmesi, çok katlı regresyon analiz yöntemleri kullanarak bir model geliştirmesi' şeklinde olmuştur. (12,13). Yöntem diğer uygulamalarla desteklenmiş ve sonuçlar genelleştirilmiştir. Bu model USA'da Maden (SME) Mühendisleri Odasının 1992 yılında yayınladığı Maden Mühendisliği El Kitabı'nda standart yöntem olarak tavsiye edilmektedir (14). Bu modelde makine performansı, kayaç kütlesi kazılabilirlik indeksi ve makine kazı gücü arasında aşağıdaki bağıntı vardır.

$$y = JC \times 0.31 \times 0.97^r \quad (2)$$

Bu bağıntıda,

Y - Roadheader'in net kazı hızı (mVh),
 K = Roadheaderin'in kesme gücü (HP).

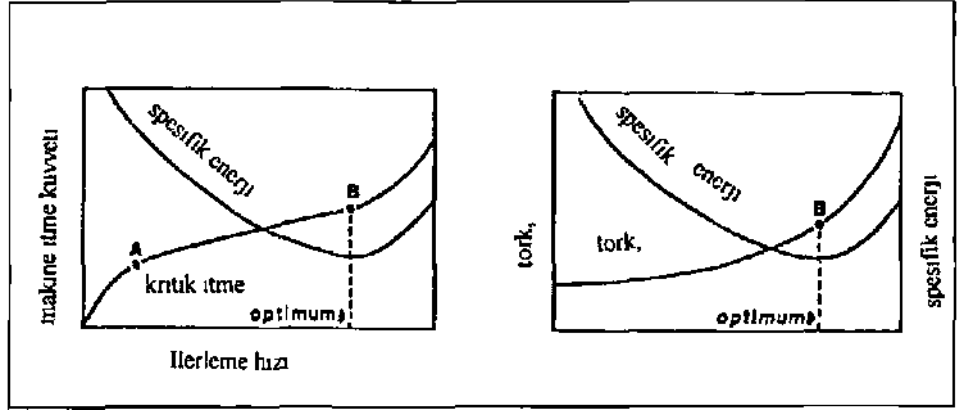
$$Z = \sigma_c \left(\frac{RQD}{100} \right)^{\frac{2}{3}} \text{ kayaç kütlesi kazılabilirlik indeksi}$$

σ_c = kayaç basınç dayanımı, MP

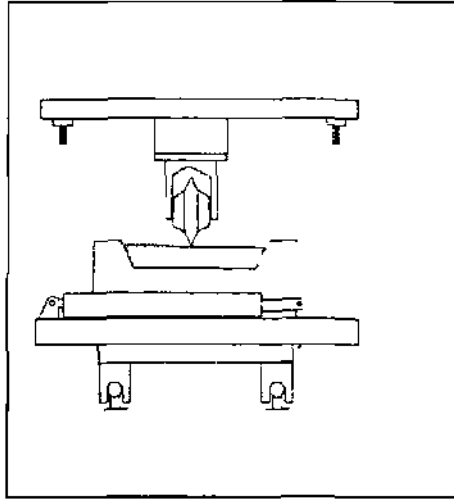
RQD = kayaç kalite değeri.

4. TBM'LERİN SEÇİM KRİTERLERİ

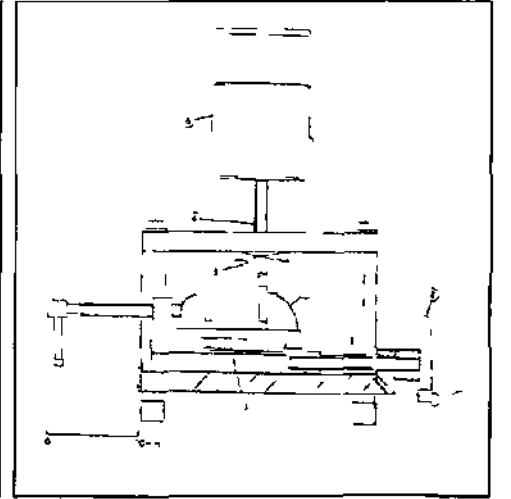
TBM'lerin performanslarının hangi kayaç formasyonunda nasıl değişeceği, kesici kafanın tasarımının nasıl olması gerektiği en iyi Şekil 17 de gösterilen tam boyut kesme deney serinde yapılan deneylerle kestirilebilmektedir . Bu deney setinde tam boyutlu diskler gelen kuvvetler ve spesifik enerji tespit edilmekte, yukarıda verilen (1) nolu bağıntı ile de TBM'lerin net kazı hızları hesap edilebilmektedir. Bu tür bir deney serisi "NATO Science for Stability" programı çerçevesinde NATOTU Excavation projesi için İTÜ Maden Mühendisliği Laboratuvarları'nda inşa edilmektedir. Şekil 15 ve 16 dan görüldüğü gibi her bir kayaç formasyonu için optimum spesifik enerjiyi veren bir keski arası mesafe, makine itme kuvveti ve tork söz



Şekil 16 TBM'lenn Performansında Hei lerne Hızının Makine, itme Kuvveti, Spesifik Eneji ve Torkile Değişimi (17)



Şekil 17 Disk Kesilemini Tam Boyutta Denendiği Bu Pilot Kazı Seti



Şekil 18 Cetchai Aşındııcılık Test Cihazı (15)

konusudur. Her bir formasyon için ayrı ayrı tespit edilen bu grafikler yardımı ile kazılacak formasyon için en uygun TBM seçilebilmektedir.

5. ROADHEADER VE TBM'LERDE KESKİ SARFIYATININ ÖNCEDEN BELİRLENMESİ VE MALİYETLER

Çok sert ve aşındırıcı formasyonlarda keski sarfiyatı kazı maliyetini önemli ölçüde etkileyebilmektedir. Bu nedenle tünel fizibilite çalışmalarında, keski sarfiyatını önceden belirlemek önemli olmaktadır. Bu iş için ise laboratuvarında kayaçların Cerchar veya Schimazek aşındırıcılık indeksleri bulunmalıdır.

Cerchar aşındırıcılık indeksi Şekil 18'de görülen bir cihazla ölçülür. 1 nolu mengeneyle sıkıştırılan kayaca 10 kg'lık bir kuvvetle sivri çelik bir uç bastırılır ve 1 cm çekilir. Uç üzerindeki aşınma yüzeyi mikroskop altında ölçülür ve her bir 1/10 mm'lik aşınma bir birim indeks olarak tanımlanır. Şekil 19,20 ve 21 den 'de görüldüğü gibi Cerchar Aşındırıcılık indeksi ile Moh's sertliği, kayaç kuvars miktarı ve roadheader'lerdeki pik sarfiyatı arasında lineer bir ilişki vardır.

Schimazek aşınma indeksi ise aşağıdaki bağıntı ile hesap edilebilmektedir (16).

$$f' = \frac{Q d \sigma_t}{100} \text{ kg/cm} \quad (3)$$

Bu bağıntıda;

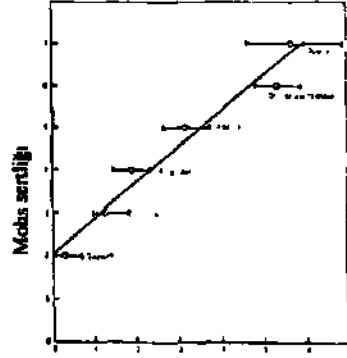
F = Schimazek aşındırıcılık indeksi,

Q = Aşındırıcı minerallerin eşdeğer kuvars yüzdesi,

σ_t = Kayacın çekme dayanımı (kg/cm²) ve

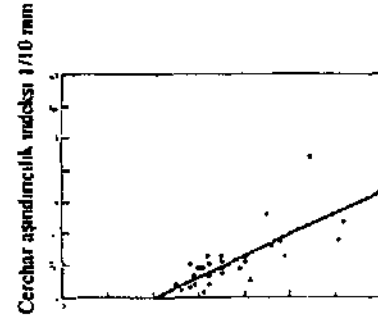
d = Aşındırıcı minerallerin ortalama tane çapı (cm).

Şekil 22 ve 23'den görüldüğü gibi, roadheader uygulamalarında Schimazek aşındırıcılık indeksi keski sarfiyatı ve keski maliyetleri arasında çok açık ilişkiler vardır. (3,17). Şekil 24'de ise kayaç basınç dayanımı ve kayaç aşındırıcılığına bağlı olarak TBM uygulamalarında m³ kazı başına disk maliyeti



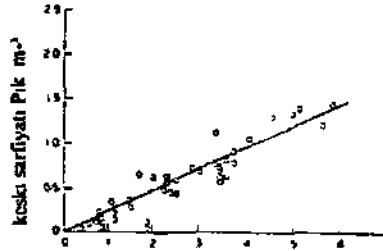
Cerchar aşındırıcılık indeksi

Şekil 19 Cerchar Aşındırıcılık indeksi ile Mohs Sertliği Arasındaki İlişki (15)



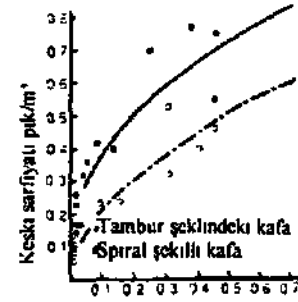
Ktnars miktarı

Şekil 20 Kuvars Miktarı ile Cerchar Aşındırıcılık indeksi Arasındaki İlişki (15)



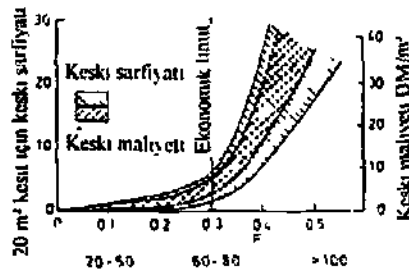
Cerchar aşındırıcılık indeksi

Şekil 21 Cerchar Aşındırıcılık indeksi ile Keski Sarfiyatı Arasındaki İlişki (1)



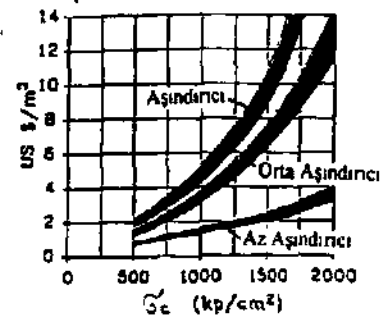
Schimazek aşınma indeksi F

Şekil 22 Schimazek Aşınma indeksi ile Roadheaderlerdeki Keski Sarfiyatı Arasındaki İlişki (3)



Schimazek indeksi-, Basınç dayanımı MPa

Şekil 23 Kaçam Basınç Dayanımı, Schimazek Aşındırıcılık İndeksi Keski Sarfiyatı ve Keski Maliyeti Arasındaki İlişki (11)



Şekil 24 TBM Uçulmalarında Kazı İçin Disk Mahsreti (8)

verilmiştir. Buradan da görüldüğü gibi basınç dayanımı 2000 kg/cm^3 olan çok aşındırıcı bir kayaç formasyonunda 70 m^2 kesitli bir tünelde keski maliyeti milerle basma $1000 \text{ \$}$ 'a kadar çıkabilmektedir (5).

6. SONUÇLAR

Yeraltı kazılarında mekanizasyon uygulamaları son 25 senede büyük gelişmelere sahne olmuş ve bunun yanında da birçok problemleri yanında getirmiştir. Roadhear veya TBM seçimi için fizibilite çalışmalarını sırasmda yapılacak detaylı çalışmalar uygulamanın getireceği riskleri ortadan kaldırmaktadır, özellikle laboratuvarda gerçekleştirilen tam boyut kesme deneyleri pahalı ve zahmetli olmalarına rağmen uygun seçim ve tasarım için önemle tavsiye edilmektedir.

KAYNAKLAR

1. FOWELL, R.J., The Mechanics of Rock Cutting, Comprehensive Rock Engineering, Pergamon Press, 1993, pp. 155 - 176.
2. BİLGİN, N., İnşaat ve Maden Mühendisleri İçin Uygulamalı Kazı Mekaniği, Birsen Yayınevi, 1989, s. 192
3. GEHRING, K H , Roadheaders - A Cutting Comparison, Tunnels and Tunnelling, November, 1989, pp 27 - 30
4. BİLGİN, N., SEYREK, T., ERDİNÇ, E., Kuzey ve Güney Haliç Projeleri örneği ve Tünel Açma Makinelerinin Seçimi İçin Bazı Yeni Kriterler, 2. Ulusal Kaya Mekaniği Sempozyumu, Ankara, 5 - 7 Kasım 1990, s. 113- 133.
5. ROBBINS, R.J, Tunnel Machines in Hard Rock, Civil Engineering for Underground Rail Transport, Butterworth Scientific Ltd. Surrey, V.K, 1990
6. WANNER, H., Rock Mass Classification for Tunnel Boring Machines, Congress of Tunneling, Düsseldorf, 1981, pp. 365 - 382.
7. BİLGİN, N , NASUF, E, ÇIĞLA, M, Stability Problems Effecting the Performance of a Full face Tunnel Boring Machine in İstanbul Baltalunam Tunnel, Assesment and Prevention of Failure Phenomena in Rock Engineering, Balkama 199**, pp 501-506

8. PAMFORD, W, E., Minutes of the Meeting of ISRM Commission on boreability, cuttability and drillability, Montreal, 1987.
9. McFEAT, S., FOWELL, R.J., Rock Property Testing and the Cutting Performance of Tunneling Machines, Tunnels and Tunneling, March 1977, pp 29 - 32.
10. McFEAT, S, FOWELL, R.J, The Selection and Application of Roadheaders for Rock Tunneling, Proceedings of Rapid Excavation and Tunnelling Conference, 1979 U.S.A, Vol. 1, pp 261 - 279.
11. JOHNSON, S.M, FOWELL, R.J, A Rational Approach to Practical Performance Assessment for Rapid Excavation using boom-type tunnelling machines, Proceedings Twenty-Fifth Symposium on Rock Mechanics, USA, 1984, pp. 759 - 766
12. BÎLGÎN, N., SHAHRIAR, K, Roadheaders in Istanbul, Golden Horn Clean-up Contributes Valuable Data, Tunnels and Tunnelling, 1988, pp41 -44.
13. BÎLGÎN, N., SEYREK, T, ERDİNÇ, E., SHAHRIAR, K, Roadheaders Glean Valuable Tips for Istanbul Metro, Tunnels and Tunnelling, October 1990, pp. 29-32.
14. BREEDS, C D , CONWAY, J.J., Rapid Excavation, Chapter 22.1 SME Mining Engineering Handbook, USA, 1992, pp. 1871 - 1907
15. WEST, G, Rock Abrasiveness testing for tunnelling, Int. J. Rock Mech. Min. Sei and Geomech. Abstr. Vol 26, No. 2, 1989, pp. 151 - 160.
16. SCHIMAZEK, J, KNATZ, H, The Influence of Rock Structure on the Cutting Speed and Pick Wear of Heading Machines, Glückauf 106, pp. 274-278.
17. MAIDL, R, HANDKE, D,, Application Areas for Modern Boom - Type Roadheaders of Various Power Classes in Tunnelling, World Tunnelling, April 1989, pp 47 - 50