



STATISTICAL APPROACH FOR THE ESTIMATION OF EXCAVATION SPEED IN THE İSTANBUL METRO EXCAVATIONS

İ. OCAK* & H. AKÇAKOCA**

*D, İETT Genel Müdürlüğü, Raylı Taşıma Daire Başkanlığı, İstanbul.

**Yrd Doç Dr, Dumlupınar Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Kütahya.

ABSTRACT

In metro tunnel excavations, before starting the excavation process, one of the most important factors that its estimation carries high importance is unquestionably the excavation speed. In this study, the first phase of the Istanbul Metro excavations, having been excavated by using the Austrian Opening Method and second phase of which have been still going on, is being analyzed. The aim of the study is formulating a postulate for estimating the cutting rate by using the rock specifications acquired through preliminary works having been carried out before starting the excavation. At the end of the studies realized, it is seen that while the best explanatory rock specifications of the net cutting rate are uniaxial compressive strength and the RQD, rock specification that explain the gross cutting rate best is compressive strength/tensile strength.

Keywords: Cutting rate, Metro tunnel, Istanbul Metro.

İSTANBUL METROSU KAZILARINDA, KAZI HIZININ TAHMİNİNE YÖNELİK İSTATİSTİKSEL BİR YAKLAŞIM

ÖZET

Metro tüneli kazılarında, kazıya geçilmeden önce, tahmin edilebilmesi önemli olan faktörlerden birisi de kazı hızıdır. Bu çalışmada, Yeni Avusturya Tünel Açma Metodu kullanılarak kazılan ve hala ikinci aşama kazıları devam etmekte olan İstanbul Metrosu birinci aşama kazıları incelenmiştir. Bu çalışma ile metro kazısına geçilmeden önce, gerçekleştirilen ön çalışmalardan elde edilen kayaç özelliklerine dayanarak kazı hızının önceden tahmin edilebilmesini sağlayacak istatistiksel bir yaklaşım geliştirilmiştir. Bu yaklaşım ile yapılan çalışmalar sonucunda, net kazı hızını en iyi ifade eden kayaç özelliklerinin tek eksenli basınç dayanımı ve RQD değerleri, brüt kazı hızını en iyi açıklayan kayaç özelliğinin ise basınç dayanımı/çekme dayanımı oranının olduğu görülmüştür.

Anahtar Sözcükler: İstanbul Metrosu, Kazı Hızı Tahmini, Metro Tüneli.

1. GİRİŞ

İstanbul, yıllık % 4,8 nüfus artışı, 10 milyonu aşan nüfusu, kentsel alan genişliğine göre 4800 kişi/km² nüfus yoğunluğu (bu oran Türkiye genelinde sadece 78 kişi/km²) ile Türkiye'nin en büyük kentidir. Ülke endüstriyel kuruluşlarının %38'ini, ticari işletmelerinin %55, ülke nüfusunun yaklaşık 1/5'ni barındıran, ülke vergi gelirlerinin %40'ının toplandığı dünyanın ise en büyük 23. şehridir [9]. İstanbul'un nüfusu son 40 yılda 1 milyondan 13 milyona çıkmış ve bu nüfusa her yıl yaklaşık 500 bin kişi eklenmektedir. Büyük bir cazibe merkezi olan İstanbul, hızla artan göçün beraberinde çarpık kentleşme, ulaşım, çevre vb. sorunlar ile karşı karşıya kalmaktadır.

Bu sorunların arasında en acil çözüm bekleyeni ulaşım yoğunluğudur. İstanbul'da trafiğe tescilli araçların % 75'ini otomobiller oluşturmakta ve gün de yaklaşık 500 yeni otomobil yolların ise aynı kaldığı şehir trafiğine eklenmektedir. Bu ise gün geçtikçe şehir trafiğini içinden çıkılmaz bir hale sokmaktadır. İstanbul'da 2,5 saate varan kişi başına günlük seyahat süresi ve bunun tekabül ettiği asgari emek kaybının yılda 300 trilyon civarında [9] olduğu göz önüne alınırsa ulaşım probleminin önemi daha çarpıcı bir şekilde anlaşılacaktır.

1000 kişi başına düşen raylı sistem ağı uzunluğunun İstanbul'da 3,6 m, New York'ta 31 m, Paris'te 25 m ve Tokyo'da 22 m [10] olduğu düşünülürse hem dünyada raylı sistemlerin ulaşımındaki payı, hem de bu hususta ülke olarak alınması gereken mesafe ortaya çıkacaktır. Metro yapıları, büyük maliyetlerin söz konusu olduğu önemli projelerdir. Örneğin bu çalışmaya konu olan İstanbul Metroso 1. aşamasının yaklaşık maliyeti 630 milyon ABD dolarıdır. Bu nedenle, tüm tünel kazılarında olduğu gibi metro tüneli kazılarında da, kazı hızının daha proje aşamasında kestirilebilmesi projenin maliyet tahmini, proje bitim süresinin doğru olarak öngörülebilmesi ve olası aksaklıklara karşı alternatif çözüm yolları geliştirilebilmesi açısından büyük önem arz etmektedir.

Bu çalışmada, İstanbul Metroso 1. aşama kazıları öncesinde yapılan sondajlardan ve kazı sırasında ilgili firmalarca elde edilen kayaç mekanik özelliklerine dayanılarak, bu özelliklerle çalışmalar sırasında elde edilen kazı hızı arasında istatistiksel olarak ilişki kurulmaya çalışılmıştır. Bu çalışmalar neticesinde, gerek net kazı hızının gerekse brüt kazı hızının, proje aşamasında, tünelin geçeceği zemini tanımak amacıyla kazılan sondajlardan elde edilen tek eksenli basınç dayanımı, çekme dayanımı ve RQD değerlerinin kullanılması suretiyle büyük bir isabetle önceden kestirilebileceği görülmüştür.

2. ÇALIŞMA BÖLGESİNİN TANITIMI

İstanbul Metroso, 4. Leventten başlayıp Yenikapı'da bitecek olan bir çalışmadır. Bu çalışmanın Taksim 4. Levent arasındaki yaklaşık 7 km' lik 1. aşaması tamamlanmış olup Taksim'den Yenikapı'ya kadar olan 2. aşamasının kazı çalışmaları devam etmektedir (Şekil 1). Bu çalışmaya konu olan kısım Taksim 4. Levent arasındadır.

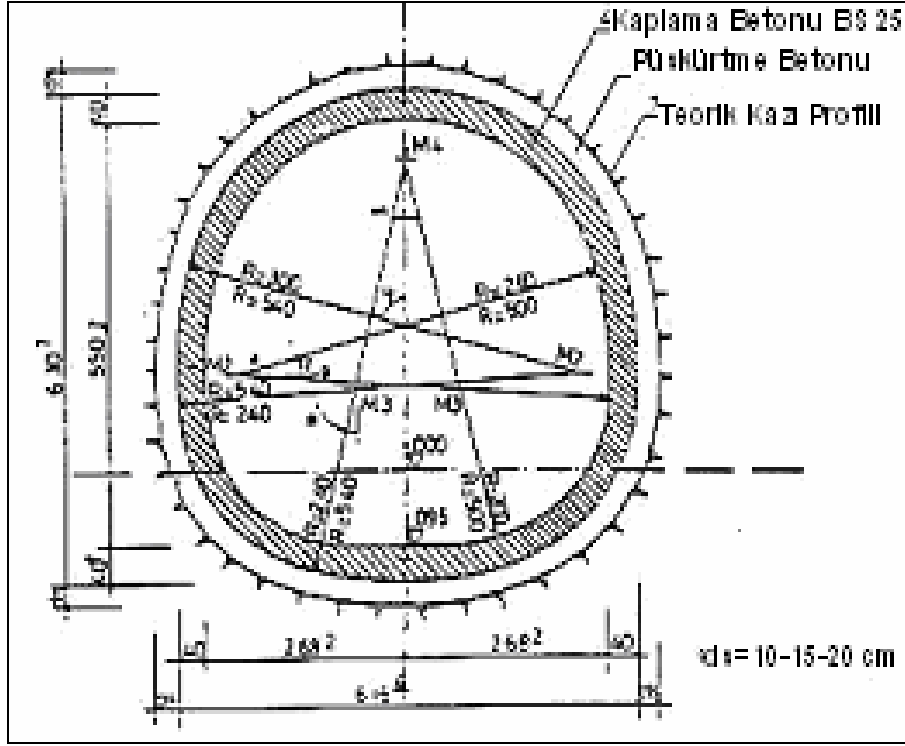


Şekil 1. İstanbul Metrosu Genel Görünüşü [10]

İstanbul Metrosu 1. aşaması, Yeni Avusturya Tünel Açma Metodu ile açılmıştır. Bu yöntem, hemen kazı sonrasında püskürtme beton ile ön yalıtım, çelik hasır giydirme, çelik bağlarla ve ikinci kat püskürtme betonla pekiştirme şeklinde uygulanmaktadır.

İstanbul Metrosunda ana hat tünelleri 36 m² kesit alanlı A Tipi tünellerdir. Kazı ve tünel çevresi taramaları bitirildiğinde hasır çelik ve çelik giydirme bağları yerleştirilmiştir. Hasır çelikler, enine ve boyuna 15x15 mm boyutunda olup her bir tel 6,5 mm çapındadır. Çelik giydirmeler, üçgen kesitli nervürlü çelik çubuklarıyla profil elemanlarının bileşiminden oluşan ve kazı çevresi boyunca tüneli desteklemek için atölyede projesine göre imal edilmiş olan bağlardır.

Hasır çelik ve çelik bağ yerleştirildikten sonra püskürtme beton uygulamasına geçilmiş ve bu işleme çelik hasır ve çelik giydirme bağlar tamamen kaplanıncaya kadar devam edilmiştir. Püskürtme beton kalınlığı tünel tipine ve zemin özelliklerine göre 10–20 cm olarak değişmektedir. 2 veya 3 gün sonra ise püskürtme beton yapılan yere tünelin özelliğine göre 4–8 adet kaya cıvatası şaşırtmalı olarak çakılmaktadır. Bu işlemden sonra da 40 cm kalınlığındaki BS 25 sınıfı kaplama betonu yapılmaktadır (Şekil 2). Tüneller yüzeyden 20–40 metre derinliktedir.



Şekil 2. A tipi Tünel Kesiti [12]

2.1. Güzergâhın Genel Mühendislik Jeolojisi

İstanbul Metrosu Taksim- 4. Levent güzergâhı, genel olarak, kumtaşı, kiltası, çamurtaşı ve silttaşı birimleri ile bunların ardalanmalarından oluşmaktadır [1]. Güzergah boyunca formasyon, 0,5-4 m kalınlıktaki dolgu altında ve ileri derecede ayrılmış durumda bulunmaktadır. Tabaka kalınlıkları değişken olmakla birlikte, genelde 5 cm ile 65-70 cm arasında değişmektedir [7]. Kayaçların RQD değerleri % 0 ile % 90 arasında değişmektedir [4]. Metro güzergâhındaki yeraltı su seviyesi, Taksim ve 4. Levent bölgeleri hariç, yüzeyden yaklaşık 10 metre aşağıdadır. Taksim ve 4. Levent yörelerinde ise su seviyesi biraz daha düşüktür Metro çalışmaları sırasında ve sondajlardan elde edilen kayaçların bazı fiziksel ve mekanik özellikleri Çizelge 1'de verilmiştir [12]. Bu özelliklere göre metro güzergâhındaki kayaçların genelde orta ve düşük dayanım sınıfında kayaçlar olduğu görülmektedir.

Çizelge 1. Metro Güzergâhındaki Kayaçların Genel Özellikleri [2] [12]

Kayaç tipi	Basınç Dayanımı σ_c (kg/cm ²)	Elastisite Modülü (kg/cm ²)	Nokta Yük Direnci (kg/cm ²)	Çekme Dayanımı σ_t (kg/cm ²)	Kohezyon (kg/cm ²)
Diabaz (taze-az bozunmuş)	1105	120 000	0	120	0
Diabaz (orta-çok bozunmuş)	350	81 000	42	95	0
Gri Kumtaşı (taze-az bozunmuş)	691	190 000	80	45	110
Gri Kahve Kumtaşı (orta-çok bozunmuş)	319	104 000	71	40	50
Siyah Kumtaşı (taze-az bozunmuş)	267	80 000	58	37	30
Gri Kahve Kilitaşı (orta-çok bozunmuş)	220	98 000	20	40	0

3. KAYAÇ ÖZELLİKLERİYLE NET VE BRÜT KAZI HIZLARI ARASINDAKİ İLİŞKİ

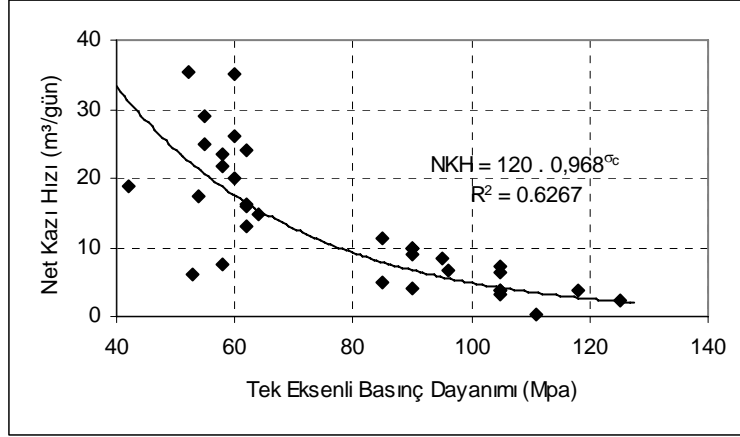
İstanbul Metro kazılarında, tek eksenli basınç dayanımı, çekme dayanımı, üç eksenli basınç dayanımı ve RQD gibi kayaç özellikleri ile kazı hızları arasındaki ilişkiler incelenmiştir. Metro kazılarında kazı hızları, net kazı hızı (NKH) ve brüt kazı hızı (BKH) olarak ele alınmıştır. İstanbul Metro güzergâhına ait kayaç özellikleri ve NKH Ek 1’de sunulmuştur.

NKH her türlü duraklamalar çıkarıldıktan sonra gerçekleşen kazı hızıdır. BKH ise kazı makinesinde meydana gelen arızalar, molalar, tahkimat süresi vs. nedenlerden dolayı oluşan gecikmelerin dikkate alınmadığı, bir günde kazılan toplam kazı miktarını göstermektedir. İstanbul Metro 1. aşama kazılarında, ana hat tünelleri 33 HP gücünde bir hidrolik ekskavatörle ve Yeni Avusturya Tünel Açma Yöntemiyle kazılmıştır. Bu kazılar sırasında makineden faydalanma oranı %15 dir. [6]

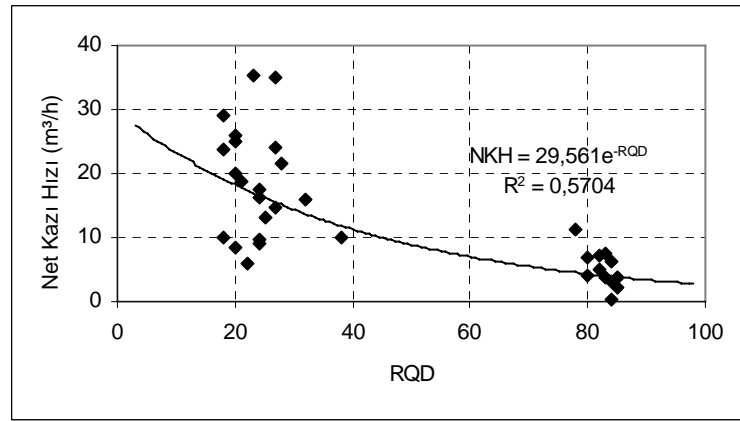
3.1. Net Kazı Hızı İle Kayaç Özellikleri Arasındaki İlişki

NKH ile tek eksenli basınç dayanımı ve RQD değerleri arasındaki ilişki Ek 1’de verilen değerlere göre araştırılmıştır.

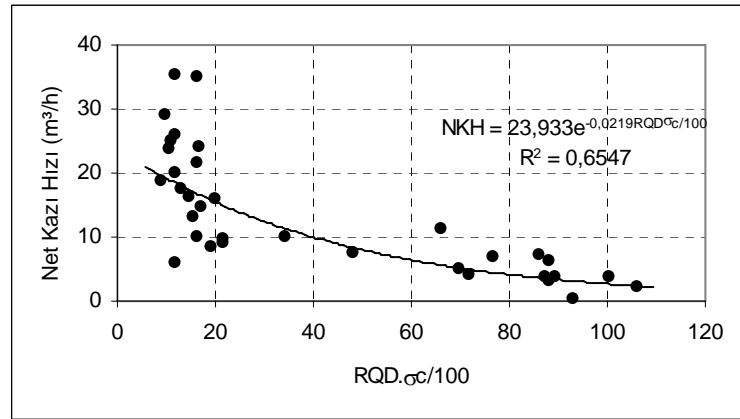
Net kazı hızı ile tek eksenli basınç dayanımı, RQD ve $RQD \cdot \sigma_c / 100$ arasında anlamlı ilişkiler söz konusudur (Şekil 3, Şekil 4 ve Şekil 5).



Şekil 3. NKH ile Tek Eksenli Basınç Dayanımı Arasındaki İlişki.



Şekil 4. NKH ile RQD Arasındaki İlişki.



Şekil 5. NKH ile RQD ve Tek Eksenli Basınç Dayanımı Arasındaki İlişki.

Şekillerden de anlaşılacağı gibi, net kazı hızı ile tek eksenli basınç dayanımı ve RQD arasında ters orantılı bir ilişkinin olduğu görülmektedir. Hem tek eksenli basınç dayanımı, hem de RQD nin birlikte kullanılmasıyla da negatif yönlü bu ters orantının anlamlılığı artmaktadır (Şekil 5).

NKH ile tek eksenli basınç dayanımı ve $RQD \cdot \sigma_c / 100$ arasındaki değişimi ifade eden formüllere dayanılarak, net kazı hızı tahmininde (TNKH) bulunulmuştur (Çizelge 2).

Çizelge 2. İstanbul Metrosuna ait Gerçek Net Kazı Hızı (GNKH) ve Tahmini Net Kazı Hızı (TNKH) değerleri.

GNKH (m ³ /h)	TNKH σ_c ye göre (m ³ /h)	TNKH $RQD \cdot \sigma_c^{/100}$ ye göre (m ³ /h)
6	21,41	18,54
9,8	6,43	14,91
9	6,43	14,91
8,5	5,46	15,79
10	6,43	16,79
29	20,06	19,27
26	17,05	18,40
16,3	15,98	17,28
24	15,98	16,59
14,8	14,97	16,39
35	17,05	16,79

Çizelge 2, devamı.

GNKH (m ³ /h)	TNKH σ_c ye göre (m ³ /h)	TNKH RQD. $\sigma_c^{/100}$ ye göre (m ³ /h)
10	6,43	11,32
16	15,98	15,50
21,6	18,19	16,77
17,5	20,72	18,02
23,6	18,19	19,04
20	17,05	18,40
13	15,98	17,04
25	20,06	18,81
35,4	22,12	18,42
18,7	30,62	19,73
7,3	3,95	3,63
11,2	7,56	5,60
5	7,56	5,20
3,7	3,95	3,39
7,4	18,19	8,34
3,8	2,59	2,66
0,4	3,25	3,11
4	6,43	4,95
2,3	2,06	2,34
3,8	3,95	3,55
6,3	3,95	3,47
6,8	5,29	4,45
3,2	3,95	3,47

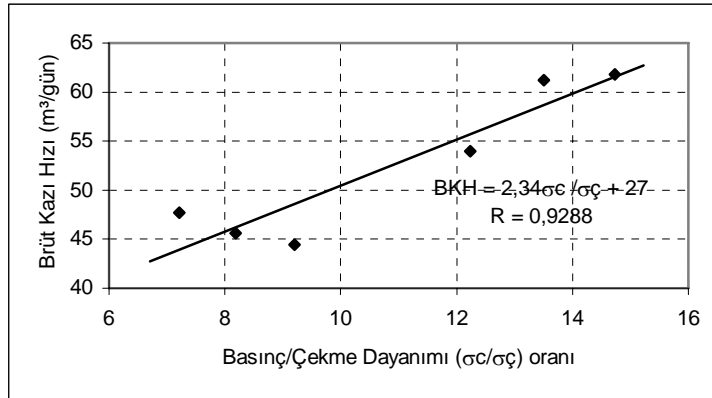
3.2. Brüt Kazı Hızı (BKH) İle Kayaç Özellikleri Arasındaki İlişki

BKH (m³/gün) ile tek eksenli basınç dayanımı, çekme dayanımı, RQD ve Üç eksenli basınç dayanımı gibi kayaç özellikleri arasındaki ilişkiler araştırılmış ve bu ilişkilerden en anlamlısının BKH ile tek eksenli basınç dayanımı/çekme dayanımı (σ_c/σ_t) arasında olduğu görülmüştür (Şekil 6). Bu araştırmada kullanılan kayaç özellikleri Çizelge 3'te verilmiştir.

Çizelge 3. Kayaç Özellikleri [11]

Km	BKH (m ³ /gün)	Basınç Dayanımı σ_c (kg/cm ²)	Çekme Dayanımı, σ_t (kg/cm ²)	(σ_c/σ_t)
13 540	45,61	524	64	8,19
13 617	44,46	635	69	9,20
13 738	61,20	1080	80	13,50
13 836	61,80	442	30	14,73
14 673	47,70	375	52	7,21
15 765	54,00	612	50	12,24

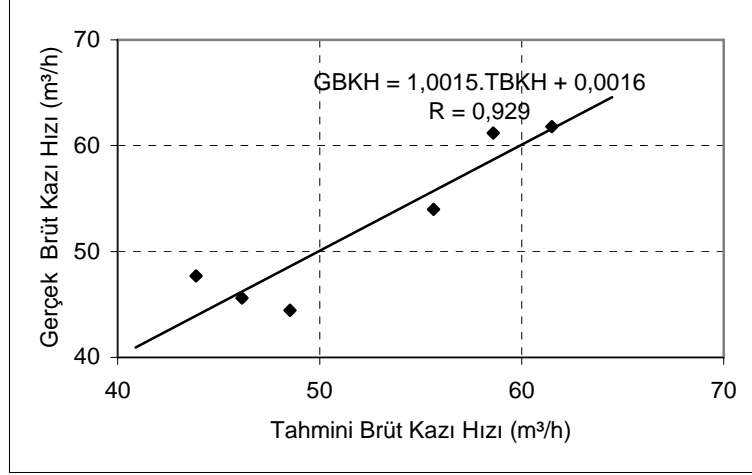
Şekil 6'da ifade edilen BKH ile (σ_c/σ_t) arasındaki ilişkiye dayanılarak BKH kestiriminde bulunulmuş ve elde edilen değerler Çizelge 4'te verilmiştir. Tahmini brüt kazı hızı (TBKH) ile gerçek brüt kazı hızı (GBKH) arasındaki ilişki ise Şekil 7'de verilmiştir. Bu ilişkinin anlamlılığın ve Çizelge 4'deki TBKH ve GBKH arasındaki farka bakarak, TBKH dayanarak, yaklaşık olarak GBKH tahmininde bulunulabileceği görülmüştür.



Şekil 6. Brüt Kazı Hızı ve σ_c/σ_t Arasındaki İlişki

Çizelge 4. σ_c/σ_t Oranının Kullanılması İle BKH Tahmini.

Basınç/Çekme Dayanımı Oranı (σ_c/σ_t)	TBKH (m ³ /gün)	GBKH (m ³ /gün)
8,19	46,16	45,61
9,20	48,53	44,46
13,50	58,59	61,20
14,73	61,48	61,80
7,21	43,88	47,70
12,24	55,64	54,00



Şekil 7. GBKH ve TBKH Arasındaki İlişki.

4. SONUÇ ve ÖNERİLER

Bu çalışmada, Yeni Avusturya Tünel Açma Metodu ile ve 33HP gücündeki hidrolik bir ekskavatör kullanılarak kazılan İstanbul Metroso 1. aşama kazıları üzerinde çalışılmıştır. Gerek net kazı hızının ve gerekse brüt kazı hızının, proje aşamasında, tünelin geçeceği zemini tanımak amacıyla açılan sondajlardan elde edilen tek eksenli basınç dayanımı, çekme dayanımı ve RQD değerlerinin kullanılması suretiyle yaklaşık olarak kazıdan evvel kestirilebileceği sonucuna varılmıştır.

Bu çalışma sonucunda, net kazı hızının tek eksenli basınç dayanımına, RQD değerine ve özellikle de $RQD \cdot \sigma_c / 100$ değerine dayanarak tahmin edilebileceği sonucuna varılmıştır. Brüt kazı hızını en iyi açıklayan kayaç özelliğinin ise tek eksenli basınç dayanımı/çekme dayanımı oranının olduğu görülmüştür.

Metro kazıları esnasında, benzer kayaçların, benzer çalışmalarda, aynı davranışlarda bulunduğu düşünülürse, bu çalışmadan elde edilen sonuçlardan, İstanbul'da, bundan sonra yapılacak metro kazılarında ve başka metro çalışmalarında kazı hızının tahmininde kullanılabilirliği ortaya konmuştur.

KAYNAKLAR

- [1] Ayaydın, N., 1997, Metro İstanbul, Tunnel for Peoples. 561-567, Rotterdam.
- [2] Biber o ğ lu, S., 2000, “yayımlanmamış notlar”, Tekfen İnşaat ve Tesisat A.Ş. Kontrol Mühendisi, İstanbul.
- [3] Bilgin, N., Seyrek, T., Shahriar, K., 1988, “Roadheader Performance in İstanbul, Golden Horn Clean-Up Contributes Valuable Data”, Tunnel and Tunneling, pp. 41-44.
- [4] Bilgin, N., 1994, “Yeraltı Kazılarında Mekanizasyon”, Ulaşım da Yeraltı Kazıları 1. Sempozyumu, İstanbul, s. 53-98.
- [5] Bilgin, N., Yazıcı, S., Eskikaya, Ş., 1996, “A Model to Predict the Performance of Roadheaders and Impact Hammers in Tunnel Drivages”, Eurorock 1996, Rotterdam, pp.715-720.
- [6] Bilgin, N., Kuzu, C., Eskikaya, S., and Ozdemir, L.; 1997, “Cutting Performance of Jack Hammers and Roadheaders in İstanbul Metro Drivages”, Tunnel For People, pp.455-460.
- [7] Eriş, İ., 2000, Derleme Rapor, Yayınlanmamış, İTÜ, İstanbul
- [8] İBB, 2004, “Ulaşım Master Raporu”,
http://www.ibb.gov.tr/ibbtr/140/14005/1400501/ulasim_raporu.htm
- [9] İBB, 2004, “Toplu Taşıma Sistemi”, Komisyonu Raporu (Taslak),
<http://www.ibb.gov.tr>
- [10] İETT, 2004, <http://www.iett.gov.tr/section.php?sid=39#>
- [11] Ocak, İ., 2004, “Metro Tüneli Kazılarında, Kazı Hızı, Tasman ve Konverjansa Kayaç Özelliklerinin Etkisi Üzerine İstatistiksel Bir Yaklaşım”, Doktora Tezi, Eskişehir.
- [12] Yalçın, A., 1994, “İstanbul Metro su Yapımında 1992-1993 Dönemi Çalışmaları”, İstanbul Büyükşehir Belediyesi, İstanbul.

Ek 1. İstanbul Metro suna Ait Kayaç Özellikleri ve NKH [3][5][6]

NKH (m ³ /h)	RQD	Basınç Dayanımı, σ_c (Mpa)
6	22	53
9,8	24	90
9	24	90
8,5	20	95
10	18	90
29	18	55
26	20	60
16,3	24	62
24	27	62
14,8	27	64
35	27	60
10	38	90
16	32	62
21,6	28	58
17,5	24	54
23,6	18	58
20	20	60
13	25	62
25	20	55
35,4	23	52
18,7	21	42
7,3	82	105
11,2	78	85
5	82	85
3,7	85	105
7,4	83	58
3,8	85	118
0,4	84	111
4	80	90
2,3	85	125
3,8	83	105
6,3	84	105
6,8	80	96