

İzmir Metro Projesi Nenehatun Tünelindeki Geoteknik Çalışmalar ve Değerlendirilmesi

B. Arıoğlu

Yapı Merkezi İnşaat ve San. A.Ş., İnş. Y. Müh, Genel Müdür

A. Yüksel

Yapı Merkezi İnşaat ve San. A.Ş., Mad.Y. Müh.

Ergin Arıoğlu

*Yapı Merkezi İnşaat ve San. A.Ş., Prof.Dr. Müh., AR-GE Direktörü
Çamlıca 81180 -İstanbul,*

ÖZET:

İzmir Metrosu 1. Aşama inşaatı geoteknik araştırmaları kapsamında toplam 5564 m sondaj delgisi yapılmış, mühendislik yapılarının tasarımında kullanılacak parametrelerin tayini amacıyla yaklaşık 3900 adet arazi ve laboratuvar deneyi gerçekleştirilmiştir. 1. aşama inşaatının 1684 m'lik kısmını oluşturan Nenehatun Tüneli (km 0-180 – km1+504) kazı çalışmaları sırasında sistematik olarak jeolojik ayna kesitleri alınmış ve ortamın çatlaklılık parametreleri (Kaya Kalite Derecesi-RQD, Çatlak Takım Sayısı, Çatlak Pürüzlülüğü, Çatlak Dolgu Cinsi) ve ayrışma durumu tesbit edilerek geçilen kaya ortamın mühendislik sınıflandırılması yapılmıştır. Bu değerlendirmede yerinde tesbit edilen RQD değerlerinin sondajda belirlenen değerlerin yaklaşık 30 puan daha üzerinde olduğu gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler : İzmir Metrosu, NATM Tünel Metodu, Sondaj, Kaya Kalite Derecesi - RQD

ABSTRACT:

In the scope of geotechnical investigations of the first stage of İzmir Metro Project, totally 5564 m. of drilling had been performed and approximately 3900 nos. laboratory tests and insitu tests had been done for the design of engineering structures. During the excavation of Nenehatun Tunnel which is in the first stage construction with a length of 1684 m., the geological face mapping of the tunnel was monitored sistematically and rock classification was performed by determination of joint parameters and weathering conditions. As a result of evaluation, it was noted that the insitu RQD values are 30 point greater than the values obtained by borecoring.

Giriş

Metro yapıları delme tünel, aç-kapa tünel, yarma gibi inşaat metodlarının biri, birkaçı veya tamamı uygulanarak gerçekleştirilmektedir. Yeralan mühendislik yapılarının tasarımı aşamasında, yapıya aktarılacak yükler yeteri duyarlılıkta belirlenebilmeli, bunun yanı sıra sırasında karşılaşılabilecek jeolojik belirsizliklerin oluşturabileceği

riskler (şev kayması, tünel göçmesi, derin kazı çukurlarında aşırı deformasyon ve oturma, aşırı su geliri vb) minimize edilmelidir. Bu nedenle böylesi mühendislik yapılarıda geoteknik araştırmaların kapsamı ve boyutu projenin genel ekonomisi ve başarımı üzerinde önemli ölçüde etkili olmaktadır.

Bu bildiri İzmir Metro projesinde gerçekleştirilen geoteknik çalışmalar belirli bir ayrıntıda konu edilmiş, Nenehatun Derin tüneli kazısı sırasında elde edilen geoteknik çalışmaların sonuçları tartışılmıştır.

İzmir Metro Sistemi

İzmir Metro Sistemi Projesi Ulaşım Master Planı çerçevesinde gelecekte 45 km'ye ulaşacak; Çiğli'den Buca'ya , Bornova'dan Narlıdere'ye İzmir Metropol alanının tamamını kapsayacak şekilde planlanmıştır. Sistemin 1. aşama inşaatını, Üçyol'dan Halkapınar'a kadar olan omurga hattı ve ve Bornova kolu oluşturmaktadır. Bu kısım toplam 11.4 km uzunluğunda olup 10 istasyon bulunmaktadır. Güzergahın Üçyol – Konak İstasyonları arası yoğun yapılaşma ve topoğrafik koşullar nedeniyle çift hat tektüp yapısındaki Nenehatun derin tüneli ile geçilmektedir. Yumuşak zeminlerin yer aldığı ve Aç-kapa tünel yöntemi ile inşaa edilen Konak, Çankaya ve Basmane İstasyonları arasında ise EPBM (Zemin Basıncı Dengeleme Tünel Metodu) ile açılan ikiz tüneller bulunmaktadır. Belirtilen tünellerin yapım yöntemleri ile ilişkin bilgiler (Cengizkan ve ark, 1998, Arıoğlu ve ark.,2000, Arıoğlu ve ark.,2002a, Arıoğlu ve ark.,2002b) kaynaklarında ayrıntılı olarak ele alınmıştır. Basmane'den sonra yerleşim durumu ve yol geçişlerine bağlı olarak güzergahta, hemzemin ve “U” yapısı viyadük gibi mühendislik yapıları yer almaktadır. Aşağıda sisteme ait karakteristik bilgiler özetlenmeye çalışılmıştır.

Tablo-1 İzmir Metrosu Sistem Karakteristikleri ve Proje Büyüklükleri

<i>Sistem Özellikleri</i>	
• Mümkün Kapasite	400.000 yolcu/gün
• Teorik Kapasite	45.000 yolcu/saat/yön
• Araç sayısı / Katar sayısı	45 araç / 3-5
• Ticari hız / maximum hız	40/80 km/saat
• Sinyal/Hat koruma	Tam sinyalizasyon/Tam koruma
• Platform Uzunluğu / Yüksekliği	125 m / 80 cm
<i>İnşaat Metodları</i>	
<i>Güzergah Uzunluğu</i>	
• Derin (NATM) Tünel	1684 m
• İkiz Tüneller (EPBM)	1400 m
• Aç-Kapa Tüneller	1100 m
• Viyadük	2800 m
• U Yapısı-Kapa-Aç	1000 m
• Hemzemin	3600 m
<i>Ana İnşaat Kalemleri</i>	
<i>Miktar</i>	
• Kazı (tünel dahil)	970.000 m ³
• Dolgu (çimento stabilizasyonu dahil)	130.000 m ³
• Beton (öngermeli, prekast, yüksek dayanımlı)	387.000 m ³
• Çelik (yüksek ve normal ç. Dayanımlı)	10.900 ton
• Demir yolu (tek hat)	26.600 m

Sondaj Çalışmaları

İzmir Metrosu yapım çalışmalarına Eylül 1992’de geoteknik etüd sondajı çalışmaları ile başlanmıştır. İlk Fahrettin Altay-Basmane güzergahında “S” serisi sondajlar gerçekleştirilmiştir. Daha sonra, İdarenin projede yaptığı değişiklik ile güzergah Üçyol-Bornova arasına kaymıştır. Bu kısmın jeoteknik incelemesi amacıyla “B” serisi sondajlar yapılmıştır. Tasarım ve alternatif güzergahların incelenmesi aşamasında mühendislik yapılarındaki köklü değişiklikler ⁽¹⁾ sonucu ilave sondajlara gerek duyulmuş ve “BS” serisi sondajlar yapılmıştır. Diğer taraftan yapım aşamasında karşılaşılan bazı sorunların çözümü ⁽²⁾ amacıyla da “diğer” sondajlar yapılması gerekli olmuştur. Sondaj çalışmalarının genel bir değerlendirmesi aşağıdaki tabloda özetle sunulmuştur.

Tablo-1: İzmir Metrosu Sondaj Çalışmalarının Değerlendirilmesi (Yüksel ve ark., 1993, Yapı Merkezi, 1995-1997)

Parametre	Birim	“S” Serisi	“B” Serisi	“BS” Serisi+Diğer	Toplam / Ortalama
Hat Uzunluğu	m	9200	11328	11328	16358
Zemin Sondajı	m	666,61	1954,51	854,75	3475,87
Kaya Sondajı	m	1906,91	68,62	113,60	2089,13
Ortalama Sondaj Yoğunluğu	m/m	0,28	0,17	0,08	0,34
Ortalama Sondaj Derinliği	m	33,4	23,3	30,26	28,4
Ortalama Sondaj Aralığı	m	120,7	131,0	356,0	83,5

Metro gibi önemli mühendislik yapılarında saha araştırma çalışmalarının ölçülebilir büyüklüğü “sondaj yoğunluğu”dur. Amerikan Metro Birliği 0,20 m/m değerini metro çalışmaları için uygun değer olarak kabul etmektedir. Tablo-1’den görüleceği gibi İzmir metrosunda gerçekleşen sondaj yoğunluğu yukarıda belirtilen sınır değer üzerinde.

Laboratuvar ve Arazi Deneyleri

Güzergahın geçtiği zemin-kaya ortamın geoteknik modelinin ortaya çıkartılabilmesi ve tasarımda kullanılacak mühendislik parametrelerinin tesbit edilmesi için sondajlardan alınan örnekler üzerinde oldukça detaylı kapsamda ve miktarda laboratuvar deneyleri yapılmıştır. Toplam olarak 3703 adet laboratuvar deneyi yapılmış, 194 adet de arazi deneyi gerçekleştirilmiştir. Saha çalışmaları, laboratuvar ve arazi deneylerinin değerlendirilmesi sonunda tasarım çalışmalarında kullanılmak üzere Mühendislik Jeolojisi ve Geoteknik raporlar üretilmiştir. (Yapı Merkezi, 1996-1998)

⁽¹⁾ Konak –Basmane güzergahı arası ilkin Viyadük olarak projelendirilmişti. Ancak tarihi ve çevresel faktörler dikkate alınarak, güzergah yeraltına alınmıştır. Diğer taraftan Halkapınar-Stadyum istasyonları arasındaki kısım Hemzemin yapısındayken, Demiryolu ve Karayolu geçişleri dolayısıyla Viyadük yapısına dönüştürülmüştür

⁽²⁾ Çankaya İstasyonu kazısı sırasında kazı seviyesi taban kotuna ulaştığında tabanda basınçlı su çıkışı meydana gelmiştir. İlk suyun diyafram duvarların birleşim yerinden gelebileceği düşünülmüş ve duvar arkasına enjeksiyon uygulaması yapılmış ancak rağmen su geliri kesilmemiştir. Zemin profilinin daha detaylı olarak incelenmesi için yapılan daha sık aralıklı sondaj çalışması sonucu kazı tabandaki ortalama 8 m kalınlığındaki kil tabakasının bu bölümde daha ince (4 m) olduğu ve bu tabakanın altında bulunan akiferdeki basınçlı suyun kil seviyesini yırttığı anlaşılmıştır. (Sağlamer ve ark, 1997)

Nenehatun Tüneli Jeolojisi ve Geoteknik Parametreleri

Nenehatun tüneli güzergahında yer alan jeolojik ortamı tortul ve volkanik kökenli kayalar oluşturmaktadır. Kilitaşı, silttaşı, kumtaşı ve konglomera ardalanmasından oluşan tortul kayalar dış görünüm olarak gri, sarı ve yeşilimsi renklerde düşük eğimli, hafif kıvrımlı yapıda ve zayıf dayanım karakteristiklerine sahiptirler. Tünel güzergahında yaklaşık km 0+652 ila km 0+976 arasında bulunmaktadır. Tortul kayaların üzerinde açılabilir uyumsuz olarak Andezitler bulunmaktadır. Tünel güzergahı yukarıda belirtilen km'lerin dışında Andezitler içerisinde geçmektedir (Şekil-1). Andezitler, gri, pembe ve koyu kahve renklerde, değişik ayrışma derecelerinde, soğuma, akma ve tektonik gerilmelerin etkisi ile az-orta-sık çatlaklı yapıdadır.

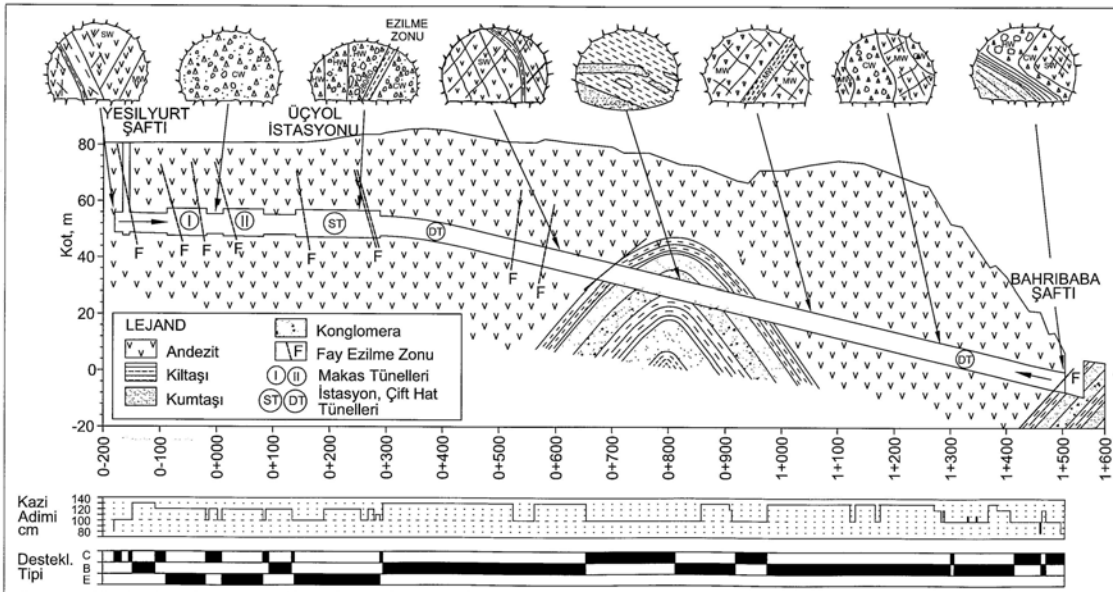
Nenehatun tüneli güzergahında 19 adet sondaj yapılmıştır. Sondajlardan alınan karot örnekleri üzerinde yapılan deneylerin istatistiksel değerlendirme sonuçları Tablo-2'de verilmiştir.

Dayanım ve indeks parametreleri arasında regresyon analizi ile aşağıdaki ilişkiler belirlenmiştir (Tablo-4).

Kaya ortamın sınıflandırılmasına yönelik olarak sondajlardan alınan karot örneklerin Kaya kalite derecesi (RQD), çatlak takım sayısı (Jn), çatlak yüzeyinin durumu (Jr) ve çatlak dolgusunun cinsi (Ja) gibi çatlak büyüklükleri belirlenmiştir. Anılan büyüklükler ileriki bölümlerde ele alınacak ve tartışmaya açılacaktır.

Tünelin açılması sırasında sistematik olarak yaklaşık 10m'de bir tünel ayna jeolojik kesiti alınmış, tünel aynasındaki çatlak parametreleri sondajdakine benzer şekilde tesbit edilmiştir. Tesbit edilen parametrelerden RDQ ve Kaya Kütle Kalitesi'nin (Q faktörü) tünel boyunca gösterdiği değişimler Şekil-2 ve Şekil-3'de gösterilmiştir. Aynı şekiller üzerine ayrıca sondajda belirlenen değerler de işlenmiştir.

Karşılaştırmanın daha iyi anlaşılması için sondajda ve tünelde belirlenen değerler 1:1 grafiğine aktarılmıştır (Şekil-4, Şekil-5). Anılan şekillere RQD değerleri açısından bakıldığında şu değerlendirme yapılabilmektedir.



Tablo-3: Nenehatun Tünel Güzergahı Kayaçlarının İndeks ve Dayanım Büyüklükleri (Yüzer ve ark, 1993)

Kayaç Türü	Andezit			Kiltası	Silttaşı	Kumtaşı	Konglomera	
	Az Ayrş.	Orta Ayrş.	Çok Ayrş.					
<i>Birim Hacim</i>	<i>X</i>	24,3	21,8	-	22,3	22,2	22,3	22,1
<i>Ağırlık</i>	<i>S</i>	0,77	2,29	-	1,36	1,24	1,01	1,14
$\gamma, \text{kN/m}^3$	<i>n</i>	19	3	-	13	11	24	16
<i>Tek Eksenli Basınç Dayanımı,</i>	<i>X</i>	54,5	30,9	18,9	32,6	16,6	17,3	18,5
$\sigma_{b,lab}, \text{MPa}$	<i>S</i>	19,2	8,3	14	18,4	9,9	3,8	5,5
	<i>n</i>	17	2	5	8	8	7	6
<i>Nokta Yük Dayanımı</i>	<i>X</i>	4,95	2,78	0,72	2,45	0,97	0,55	1,62
I_s, MPa	<i>S</i>	2,85	1,41	0,61	2,34	0,93	0,37	1,58
	<i>n</i>	92	62	84	21	8	15	20
<i>Çekme Dayanımı,</i>	<i>X</i>	4,5	1,0	-	-	-	-	-
σ_b, MPa	<i>S</i>	16,9	-	-	-	-	-	-
	<i>n</i>	17	2	-	-	-	-	-
<i>Elastisite Modülü</i>	<i>X</i>	6007	4742	-	-	-	-	-
E, MPa	<i>S</i>	1833	2022	-	-	-	-	-
	<i>n</i>	32	4	-	-	-	-	-

X= Ortalama Değer, *S*= Standart Sapma, *n*= Örnek Sayısı

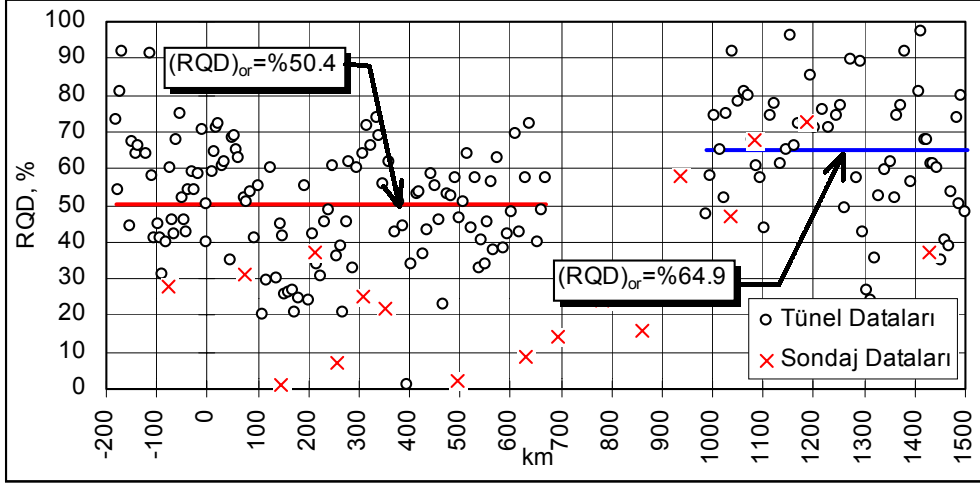
Tablo -4: İndeks ve Mekanik Büyüklükler Arasındaki İstatistiksel İlişkiler (Yüksel ve ark.,1993, Yüzer ve ark, 1993)

No	Regresyon ifadeleri	n	r	Notlar
1	$\sigma_{b,lab} = 4,23 \cdot 10^{-7} \cdot \gamma_k^{5,65}$	43	0,72	Tüm kayaçlar
2	$\sigma_{b,lab} = 1,73 \cdot 10^{-3} \cdot e^{0,337 \cdot \gamma_k}$	31	0,964	Andezitler
3	$\sigma_{b,lab} = 1,27 \cdot 10^{-3} \cdot e^{0,432 \cdot \gamma_d}$	31	0,918	Andezitler
4	$E = 202 \cdot \sigma_{b,lab}^{0,864}$	39	0,95	Tüm kayaçlar

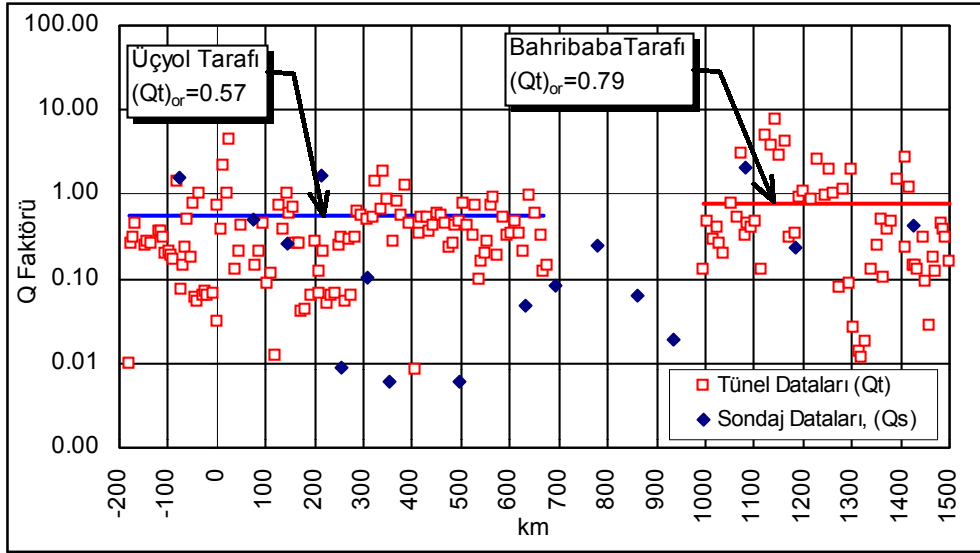
$\sigma_{b,lab}$ = Tek eksenli basınç dayanımı, MPa, (4,8 < $\sigma_{b,lab}$ < 90,6 MPa)
 γ_k = Kuru birim hacim ağırlık, kN/m³, (20,3 < γ_k < 27,3 kN/m³)
 γ_d = Suya doymun birim hacim ağırlık, kN/m³, (20,1 < γ_d < 25,7 kN/m³)
 E = Elastisite Modülü, MPa, (2470 < E < 9100 MPa)

- Sondajda tesbit edilen RQD değerleri tünelde kaydedilenden ortalama olarak yaklaşık 30 puan daha düşüktür.
- Diğer taraftan artann RQD değerlerinde karşılıklı değerler arasındaki fark giderek azalmakta, hatta hemen hemen eşitlenmektedir.

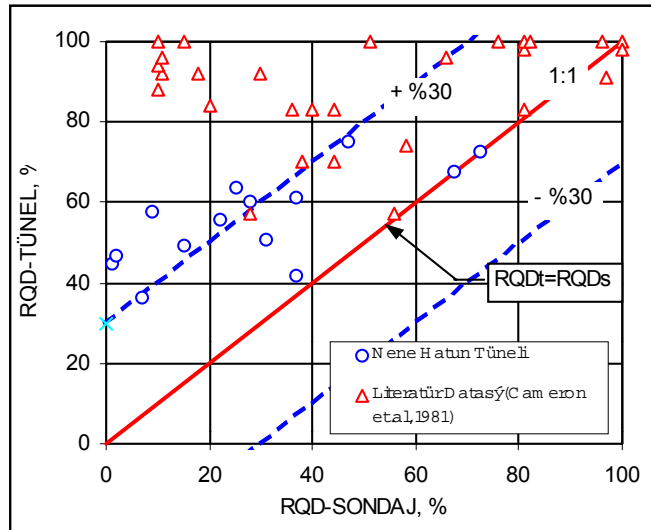
Bu durum şöyle açıklanabilir. Zayıf veya ayrıışmış kayaçların delgisi sırasında sondaj suyunun etkisi ile kayanın daha zayıf ve ayrıışmış kısımları kolaylıkla çözülerek sondaj kırıntısı haline gelebilmektedir. Zayıf ve dayanımlı veya az ve çok ayrıışmış kaya kısımları birarada yer alıyorsa örselenmenin şiddeti daha da artmaktadır. Diğer taraftan karotiyerin dönüş sırasında yaptığı titreşim bu olayı meydana getiren diğer bir faktördür. Bu nedenle zayıf ve ayrıışmış kayalarda sondaj işleminin daha dikkatli ve özenli yapılması gereklidir. Ayrıca zayıf kayalarda RQD değerinin dikkate alındığı destekleme sisteminin tasarımında güvenlik katsayısında ek bir rezerv oluşacağı belirtilmesi gereken dikkate değer bir konudur.



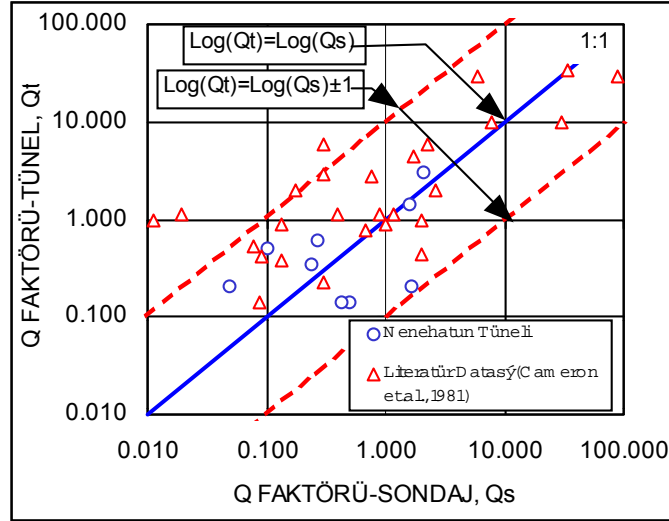
Şekil-2 : Güzergahta RQD Değerlerinin Değişimi



Şekil-3 : Güzergahta Q Faktörü Değerlerinin Değişimi



Şekil-4 : RQD Değerlerinin 1:1 Yöntemiyle Karşılaştırılması



Şekil-5 : Q Faktörü Değerlerinin 1:1 Yöntemiyle Karşılaştırılması

Şekil-5’de ise 1:1 doğrusu üzerinde sondajda ve tünelde belirlenen Q faktörleri işaretlenmiştir. Q faktörü değerlerin RQD parametresine göre daha fazla-10 kata kadar ve her iki tarafa dağıldığı açıkça gözlenmektedir.

Güzergah Geometrisi ve Tünel Kaya Ortamının Davranışı

Tüneli güzergahı, Yeşilyurt şaftı ile Üçyol İstasyonu (\approx km0-180~km 0+300) arasında eğimsiz olarak ilerlemektedir. Bu aralıkta tünelin eşdeğer derinliği (örtü kalınlığı + tünel yarıçapı) 28-30 m civarındadır. Yaklaşık 0+300 ile 0+350 km’leri arasında bulunan düşey kurbdan sonra Bahribaba çıkışına kadar %4,8 negatif sabit bir eğimle ilerlemektedir. Topoğrafyadaki değişkenliğe bağlı olarak tünelin eşdeğer derinliği km 0+300 – km 0+400 arasında 35-45 m, km 0+400 – km 0+950 arasında 45 m ve km 1+150 ‘de ise 60 m ‘ye ulaşmaktadır. (Bakz. Şekil-1)

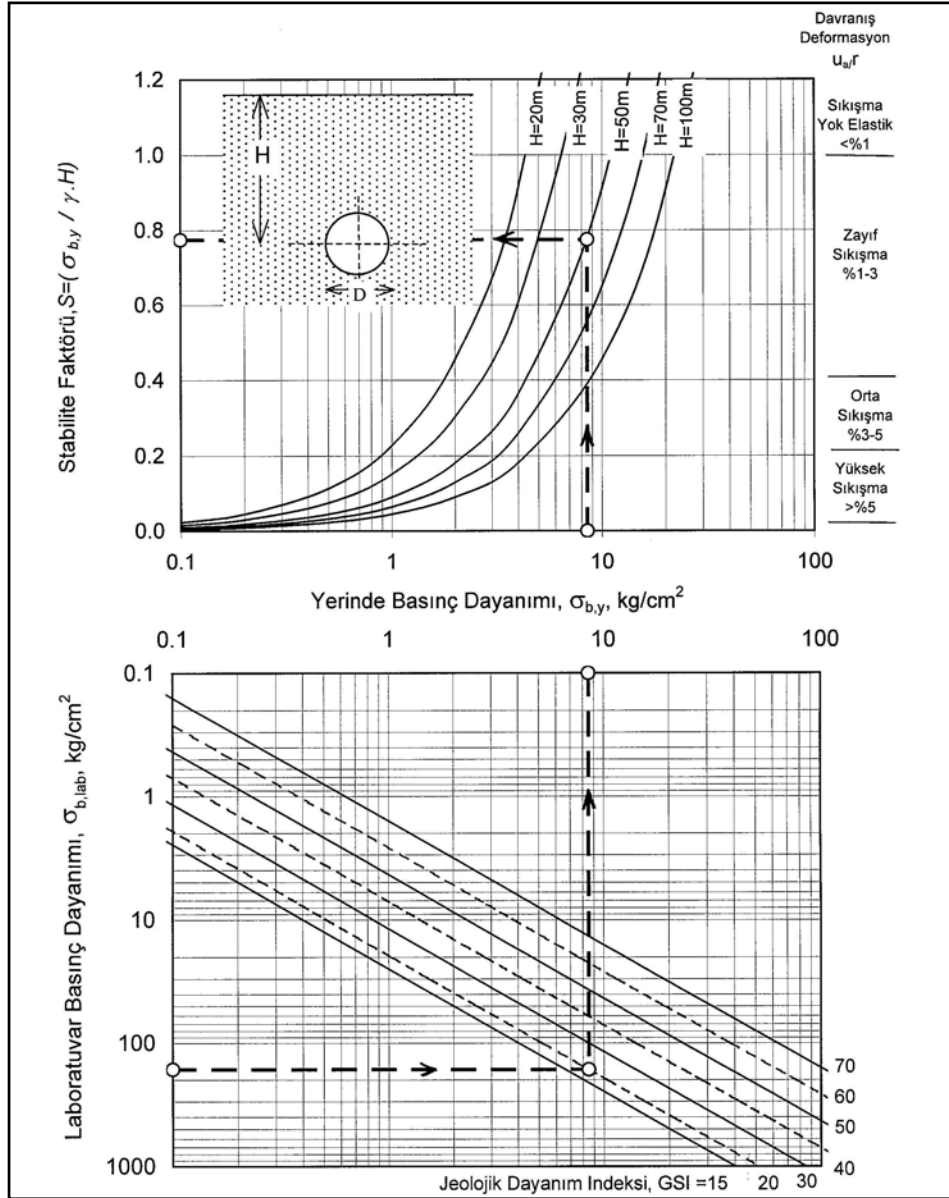
Çatlaklı kaya ortamlarında açılan tünellerde stabilite sayısı “N”:

$$N = \frac{\sigma_{b,y}}{\gamma \cdot H}$$

ifadesi ile verilmektedir. (Barla,1995, Arıoğlu ve Ark., 1999)

Burada: $\sigma_{b,y}$ = Kayanın yerindeki basınç dayanımı,
 γ = Kayanın birim hacim ağırlığı,
H = Tünelin eşdeğer derinliğini belirtmektedir

Kayacın yerindeki basınç dayanımının kestirilmesi tünel mühendisliğinde kritik bir konudur. Bu parametre büyük ölçüde kayacın çatlaklılığı ve ayrışma derecesi ile yakından ilgilidir. Bu konuda çeşitli araştırmacılar tarafından ampirik, yarı ampirik bağıntılar verilmiştir. (Goel-1994, Palmstrom-1996, Hoek-1999, Arıoğlu-1995). Laboratuvar basınç dayanımı-yerinde dayanım ve Stabilite faktörü - basınç dayanımı arasındaki analitik ilintiler nomogram düzeninde Şekil-6’de gösterilmiştir. Bu nomogramda yerinde dayanımın kestiriminde Jeolojik Dayanım İndeksi (GSI)’ni dikkate alan bağıntı (Hoek,1999) kullanılmıştır. Aynı grafik üzerine stabilite sayısı değerlerine karşı gelen davranış biçimleri ve beklenen deformasyon miktarları da işaretlenmiştir.



Şekil-6: Basınç Dayanımı-Stabilite Faktörü Nomogramı

Nenehatun tüneline geçilen tortul kayalar, dayanım büyüklükleri ve diğer jeomekanik parametreleri açısından en zayıf ortamı oluşturmaktadır. Burada sondaj ve laboratuvar deneylerinden elde edilen ortalama büyüklükler şöyle özetlenebilir:

- *Tek Eksenli Laboratuvar Basınç Dayanımı:* (Tablo-2'den)
 $\sigma_{b,lab} = 165 \text{ kgf/cm}^2 = 1650 \text{ t/m}^2$
- *Birim Hacim Ağırlık:* (Tablo-2'den)
 $\gamma = 2,2 \text{ t/m}^3$
- *Kaya Kalite Derecesi:* (Sonadaj Çalışmalarından)
 $RQD_{ort} = \%15$
- *Çatlak Takım Sayı Katsayısı* (Sonadaj Çalışmalarından)
 $J_n = 15$ (Üç çatlak takımı)
- *Çatlak Pürüzlülük Katsayısı* (Sonadaj Çalışmalarından)
 $J_r = 1$ (Düzlemsel)
- *Çatlak Pürüzlülük Katsayısı*
 $J_a = 9$ (Kil Bantları)

- Değiştirilmiş Q_d faktörü;

$$Q_d = \frac{RQD}{J_n} \cdot \frac{J_r}{J_a} = \frac{15 \times 1}{15 \times 9} = 0,11$$

- Jeolojik Dayanım İndeksi "GSI";

$$GSI = 9 \cdot \ln(Q_d) + 44 = 9 \times \ln(0,11) + 44 = 24 \approx 20$$

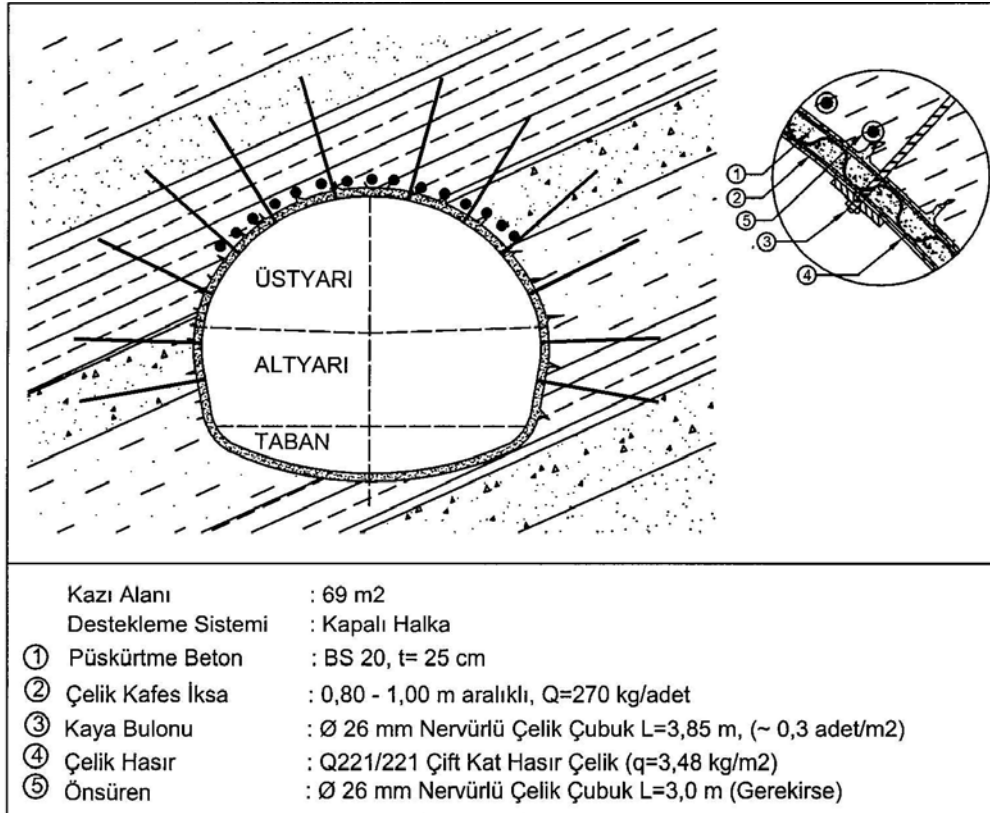
- Yerinde basınç Dayanımı (Hoek,1999) bağıntısı kullanılarak;

$$\sigma_{b,y} = 0,019 \cdot \sigma_{b,lab} \cdot e^{(0,05 \cdot GSI)} = 0,019 \times 165 \times e^{(0,05 \times 20)} = 8,5 \text{ kgf/cm}^2$$

- H=50 m için stabilite sayısı N;

$$N = \frac{\sigma_{b,y}}{\gamma \cdot H} = \frac{85 \text{ t/m}^2}{2,2 \text{ t/m}^3 \times 50 \text{ m}} = 0,77$$

bulunur. Hesaplanan parametreler Şekil-6'daki nomogram üzerinde kesikli çizgilerle gösterilmiştir. Bulunan değer "Zayıf Sıkışma" şartlarına karşı gelmektedir. Tortul kayaçların bulunduğu km 0+917'deki ölçüm istasyonunda 79 mm düzeyinde deformasyon kaydedilmiştir. Buradaki radyal kapanma oranı ⁽³⁾ ise %0,8 miktarındadır. Bu deformasyon değeri zayıf sıkışma şartları için verilen sınır değerinin altındadır. Ancak bu bölgede (km 0+652 – km 0+976) gözlenen diğer olgular (örneğin kaya bulonu plakalarının kopması) belirlenen sıkışma şartlarının oluştuğuna işaret etmektedir. Bu nedenle bu bölgede destekleme sisteminin tabanı da kapatılarak kapalı halka şeklinde inşa yapılmıştır. (Şekil-7)



Şekil-7: Tortul Kayaçların Bulunduğu Bölgede (km 0+652 – km 0+976) Uygulanan Destekleme Sistemi

⁽³⁾ Radyal kapanma oranı : $\frac{u_a}{r} \times 100$; u_a = radyal kapanma miktarı, r = Tünel yarıçapı

Sonuçlar

Bu çalışmanın sonuçları şu şekilde sıralanabilir:

- İzmir Metrosu 1. Aşama inşaatı geoteknik inceleme işleri kapsamında toplam 5564 m sondaj delgisi yapılmıştır. Sonuçları mühendislik yapılarının tasarımında kullanılmak üzere 3700 adet laboratuvar deneyi ve 194 adet de arazi deneyi gerçekleştirilmiştir. Laboratuvar deneylerinin değerlendirmesi sonucunda kayanın indeks ve mekanik büyüklükleri arasında anlamlı istatistiksel ilintiler belirlenmiştir (Tablo-3).
- 1. aşamanın 1684 m'lik bölümünü oluşturan Nenehatun Tüneli'nin (km 0-180-km 1+504) yapımı sırasında sistematik olarak ayna jeolojik kesitleri alınmış ve geçilen kaya ortamların mühendislik sınıflaması yapılmıştır. Sözü değerlendirme sonucunda yerinde belirlenen Kaya Kalite Derecesi-RQD değerlerinin sondajda belirlenenden yaklaşık 30 puan daha yüksek olduğu anlaşılmıştır. Bu durum zayıf kayalarda açılacak tünellerde, destekleme tasarımı ve kazı makinesinin seçiminde gözönünde bulundurulması gereken bir noktadır. (Şekil-4)
- Stabilite sayısının belirlenmesine yönelik bir nomogram geliştirilmiştir. (Şekil-6) Bu nomogram ile verilen bir derinlikte laboratuvar basınç dayanımı ve jeomekanik büyüklükler (Kaya Kalite Derecesi, Çatlak Takım Sayısı, Çatlak Pürüzlülüğü, Çatlak Arası Dolgunu Cinsi ile ilgili katsayılar) kullanılarak tünelin deformasyon davranışı kestirilebilmektedir. Nenehatun Tünelinde zayıf formasyon (kıltaşı, silttaşı, kumtaşı, ve konglomera) şartlarını bulunduğu km 0+652 – km 0+976 arasındaki ortalama jeomekanik büyüklükler için bu nomogram ile değerlendirme yapılmış, yerinde ölçülen deformasyon miktarının nomogram ile belirlenen miktara yakın olduğu anlaşılmıştır.

Teşekkür

Yazarlar bu çalışmanın yapılmasında gösterdikleri yakın ilgi ve akademik destekleri için Yapı Merkezi Holding A.Ş. Yönetim Kurulu Başkanı Sayın. Dr. Müh. Ersin ARIOĞLU'na, Yapı Merkezi Yönetim Kurulu Murahhas Üyesi Sayın. İnş. Y. Müh. Emre Aykar'a, ve İzmir Metrosu Proje Müdürü Sayın. İnş. Müh. Naim İŞLİ'ye teşekkür etmeyi görev sayarlar. Çalışmada belirtilen tüm görüş ve değerlendirmeler yazarlarına ait olup Yapı Merkezi-Adtranz Konsorsiyumu'nu ve diğer herhangi kurum ve kuruluşu bağlamaz.

Referanslar

- Yüksel, A., Arıoğlu, Ergin, Obay, O., Alper, H., 1993, İzmir Metro su F. Altay-Basmane Güzergahı Geoteknik Değerlendirmesi, *Yapı Merkezi Arşivi*, İstanbul
- Yapı Merkezi, 1995-1998, İzmir Metro su Sondaj Kayıtları, *Yapı Merkezi Arşivi*, İstanbul.
- Arıoğlu, B., Yüksel, A., Arıoğlu, Ergin, Ekim 2000, İzmir Metro su Nene Hatun Tüneli Üretim Parametreleri ve değerlendirilmesi, *V. Ulusal Kaya Mekaniği Sempozyumu*, Isparta s 21-33
- Arıoğlu, B., Yüksel, A., Kurtuldu, S., Arıoğlu, Ergin, Nisan 2002a, İzmir Metro Projesinde Yeni Avusturya Tünel Açma Metodu, Zemin Basıncı Dengeleme Tünel Metodu Uygulamaları, *Yapı Dünyası*, S. 35-49
- Arıoğlu, B., Yüksel, A., Kurtuldu, S., Arıoğlu, Ergin, 2002b, Natm, Epbm And Cut&Cover Tunnelling Applications In The Project Of Izmir Metro, *Felsbau Journal for Soil and Rock Mechanics*, (Baskıda)
- Cengizkan, K.; Çivi, A.; Kurtuldu, S.; Oğuzhan K.; Tellioğlu, V.; Yalçın, E.; , 1998, İzmir Hafif Raylı Sistemi Aç & Kapa Yapıları, *İnşaat Mühendisliği ve Teknolojileri Sempzyumu* İzmir.
- Yüzer, E., ve ark., Eylül 1993, İzmir Metro su Fahrettin Altay – Basmane Güzergahının Mühendislik Jeolojisi, *İTÜ Maden Fakültesi Mühendislik Jeolojisi ve Kaya Mekaniği Bölümü*, İstanbul.
- Sağlamer, A, Yeşilçimen, Ö, Yüksel, A, Yılmaz, E., 1997, Çankaya İstasyonu Şaft Kazısında Meydana Gelen Su Patlaması Hakkında Zemin ve Temel Mühendisliği Değerlendirme Raporu, *Yapı Merkezi*, Rapor No. 9110-TR-J274, İstanbul
- Yapı Merkezi, 1996-1998, İzmir Metro su Güzergahı Geoteknik Raporları, Yapı Merkezi, İstanbul
- Barla, G., 1995, Squeezing in Tunnels, *News Journal International Society For Rock Mechanics*, Vol.2, Number 3&4, Lizboa
- Arıoğlu, Ergin, Yüksel, A. 1999, Tünel ve Yeraltı Mühendislik Yapılarında Çözümlü Püskürtme Beton Problemleri, *Maden Mühendisleri Odası İstanbul Şubesi*, İstanbul,
- Sing, B., Goel, R.K., 1999, Rock Mass Classification, *Elsevier*, Amsredam,
- Palmstrom, A., 1996, Rmi – A System For Characterizing Rock Mass Strength for Use in Rock Engineering, *Jr. Rock Mech. Tunneling Technology*, India, Vol.1, No.2 pp. 69-108
- Hoek, E. 1999, Support For very Weak Rock Associated with Faults and Shear Zones, *Rock Support and Reinforcement Practice in Mining*, Villascusa, Winsdor&Thompson (Eds), Balkema, Rotterdam, pp. 19-32
- Arıoğlu, Ergin, 1995, Kaya Mekaniği, *İTÜ Maden Fakültesi*, İstanbul
- Cameron, I. S., Budavari, S., 1981, Correlation of Rock Mass Classification Parameters, Obtained from Borecore and Insitu Observations, *Engineering Geology*, Vol.17, No.1/2, Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam