

YÜKSEK HIZLI DEMİRYOLU TÜNELLERİNDE GÜVENLİK TÜNELİ MODELLEMELERİ: ANKARA-İSTANBUL HIZLI TREN PROJESİ 26 NUMARALI TÜNEL ÖRNEĞİ

Evren POŞLUK (ORCID: 0000-0001-9520-5268)¹
Mustafa KORKANÇ (ORCID: 0000-0001-7382-8077)^{2*}

¹TCDD 2. Demiryolu Yapım Grup Müdürlüğü, Bozüyük, Bilecik, Türkiye
²Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi, Niğde, Türkiye

Geliş / Received: 17.10.2016
Düzeltilmelerin gelişi / Received in revised form: 18.05.2017
Kabul / Accepted: 31.05.2017

ÖZ

Bu çalışmada Ankara-İstanbul yüksek hızlı demiryolu projesinde yer alan 26 numaralı tünel (Proje Km:216+260-222+360) irdelenmiştir. 13,77 m. çapındaki tünel açma makinesi (TBM) ile imalatı devam eden 26 numaralı tünel ve devamı (toplam uzunluğu 7096 m) altyapı güvenlik önlemleri açısından değerlendirilmiştir. Tünelde güvenliğin sağlanabilmesi amacıyla paralel tünel, yaklaşım ve emniyet şaft tünelleri ile ray altı güvenlik tüneli alternatifleri modellenmiştir. Bu modeller maliyet, imalat süreleri ve uygulama kolaylığı açısından irdelenmiştir. Tünel güzergahı boyunca yerel kaya koşullarının oldukça zor ve karmaşık olduğu da göz önüne alınarak bu tünel için en az maliyet ve en kısa imalat süresi olarak ray altı emniyet tüneli olduğu belirlenmiştir. Bu modelin, daha önce uygulanmamış olması sebebi ile işletme sırasında uygulanabilirliği Phase² V. 8.0 programı ile irdelenmiş, işletmecilik faaliyetleri sırasında oluşabilecek aksel gerilmeler göz önüne alınarak ray altı ekipmanlarının daha rijit hale getirilmesi koşulu ile uygulanabilir olduğu sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Yüksek hızlı demiryolu tüneli, ray altı tünel, tünel güvenlik modellemeleri, sayısal analiz

TUNNEL SAFETY MODELLINGS IN HIGH SPEED RAILWAY TUNNELS: CASE OF ANKARA-ISTANBUL HIGH SPEED TRAIN PROJECT TUNNEL NO. 26

ABSTRACT

In this study, tunnel 26 (Project Km:216+260-222+360) of the Ankara-Istanbul high-speed railway project was studied in detail. The tunnel 26 and its continuation (total length: 7096 m), which are excavating with a 13,77 meter-diameter tunnel boring machine (TBM), was evaluated in point of infrastructure safety measures. To ensure safety in the tunnels, parallel tunnel, approach and safety shaft tunnels, sub-rail safety tunnels were modelled. These models were evaluated on the basis of cost, manufacturing time and ease of application. By considering the complex local rock conditions, it was confirmed that the sub-rail safety tunnel is the best tunnel with regard to minimum cost and minimum manufacturing time. Because this model has not been performed before, the applicability was performed by using Phase² V. 8.0., and by considering the axial stresses that can be observed during the operation, the sub-rail equipments are applicable under the condition that they are more rigid.

Keywords: High speed railway tunnel, sub-rail tunnel, tunnel safety modelling, numerical analysis

*Corresponding author / Sorumlu yazar. Tel.: +90 388 225 2259; e-mail / e-posta: mkorkanc@ohu.edu.tr

YÜKSEK HIZLI DEMİRYOLU TÜNELLERİNDE GÜVENLİK TÜNELİ MODELLEMELERİ: ANKARA-İSTANBUL HIZLI TREN PROJESİ 26 NUMARALI TUNEL ÖRNEĞİ

1. GİRİŞ

Demiryolu güzergâh çalışmaları sırasında kısıtlı kurp ve eğim toleransları nedeni ile sıkça tünel çözümlerine başvurulmaktadır [1]. Bununla birlikte işletme sırasında tünellerde yeterli güvenlik önlemlerinin alınmaması kötü sonuçlar doğurmaktadır. Örneğin 1842'de Fransa'da bulunan Mendon demiryolu tüneline meydana gelen kazada 150 kişinin öldüğü rapor edilmiştir [2]. 1995 yılında ise Azerbaycan'ın başkenti Bakü'de yaşanan kazada 289 kişi yaşamını yitirmiştir. Yüksek hızlı demir yollarında ise en ciddi tünel kazalarından biri 11 Eylül 2008'de İngiltere ile Fransa arasında bulunan Manş Tünelinde gerçekleşmiştir. Olayın nedeni bir vagondaki kimyasal madde (toksik fenol) yüklü kamyonunda patlama olmasıdır. Bu kazada 12 kişi hayatını kaybetmiştir [3].

Yapılan araştırmalar ulaşım tünelleri içerisinde en az kazaya rağmen en fazla can kaybının demiryolu tünellerinde olduğunu ortaya koymaktadır. Bunun nedeni tek seferde en fazla yolcunun demiryolu ile taşınmasıdır. Bu veriler de göstermektedir ki demiryolu tünellerinde güvenlik önlemlerinin alınması ulaşım güvenliği açısından son derece önemlidir.

Demiryolu işletmeciliğinde tünel içerisinde olası riskler uzun durma, hattan çıkma (deray), çarpışma ve yangın olarak sıralanabilir. Bu durumlarda gerek yolcunun kendi kendini tahliye etmesi gerekse de olaya müdahale edilebilmesi amacı ile ana tünelden bağımsız ek tünel yapılarak tahliyenin sağlanması gerekmektedir. Diamantidis ve ark. [4], uzun demiryolu tünellerinde risk analizine yönelik yaptıkları çalışmalarında ilk olarak, dünyadaki tünel projelerini kısaca gözden geçirmişler, alınan risk analiz yöntemlerini tartışmışlardır. Her bir riski ele alarak ölçülebilir hedef güvenlik seviyeleri önermişlerdir. Ayrıca risk azaltılmasına yönelik güvenlik sistemlerini de özetlemişlerdir. Ayrıca Eskesen ve ark. [5], Uluslararası Tünel Derneğinin (ITA) 2 nolu çalışma grubu tarafından tünel ve metro projelerinin risklerinin belirlenmesi ve risk yönetimi için rehberlik edecek genel kuralları içeren bir el kitabı hazırlanmıştır. Bu kılavuzda, günümüz tünel uygulamalarının başlangıcından işletmeye alınmasına kadar tüm proje uygulaması süresince risk yönetimi aşamaları anlatılmıştır. Hızlı tren demiryolları yatırımlarının dünyada hızla gelişmesi, Avrupa'da birçok ülkede hızlı trenin kullanılması ve yeni projelerin hazırlanması, standardizasyon ihtiyacını da beraberinde getirmiştir.

Bu çalışma kapsamında dünyada birçok ülkede geliştirilen ve kullanılan demiryolu tünel güvenlik standartları incelenmiştir. Proje ve imalat sırasında düşünülmesi gereken tünel alt yapı güvenlik önlemlerine ait dünyadan örnekler ile Ankara-İstanbul hızlı tren projesi kapsamında yer alan 26 numaralı tünel ve bu tünel için uygulanabilecek alt yapı güvenlik önlemleri ayrıntılı olarak incelenmiştir. Yapılan çalışmada dünyada yaygın kullanıma sahip paralel tünel, yaklaşım tünelleri ve emniyet bacaları (şaftları) ile bu çalışma ile geliştirilen ray altı tünel uygulamaları, maliyet uygulama kolaylığı ve imalat süreleri açısından kıyaslanmış, uygulanabilirlikleri karşılaştırılmıştır.

2. MATERYAL VE METOT

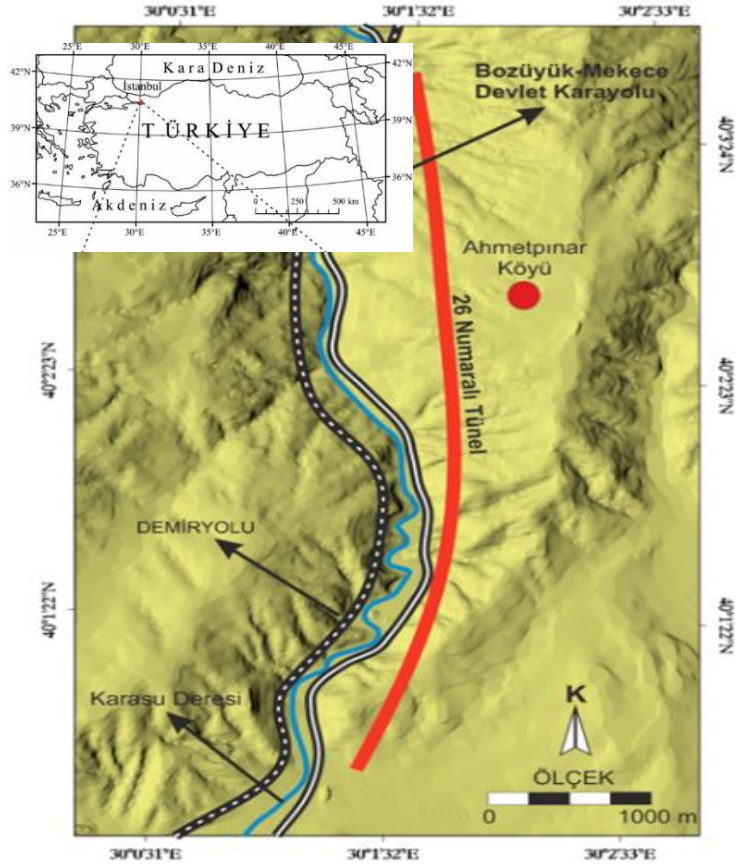
2.1. Tünel Güzergâhı ve Bölgenin Jeolojik Özellikleri

Örtü kalınlığının 30-236 m arasında değiştiği 26 numaralı tünel, Ankara-İstanbul hızlı tren projesinde Bilecik ilinin 10 km güney doğusunda, Ahmetpınar köyünün 200 m doğusundan bulunmaktadır. Tünel güzergâhının batısında Bozüyük-Mekece karayolu ve bölge morfolojisini oluşturan Karasu Deresi bulunmaktadır (Şekil 1). Çalışma alanında farklı araştırmacılar tarafından farklı zamanlarda yapılan çalışmalarla güzergâh jeolojisi ortaya konulmaya çalışılmıştır. Bu çalışmalardan Tüysüz ve Genç [6]'e göre, inceleme alanının tabanında karmaşık nitelikli metapelit, metabazit, serpantin birimi (Söğüt Metamorfitle) bulunmakta, bunları intrüzif ilişki ile felsik intrüzifler kesmektedir (Şekil 2). Ayrıca araştırmacılar yörede Miyosen karasal çökelleri, yamaç molozu ve alüvyonlar ile heyelan malzemesinin de yer aldığını belirtmişlerdir (Şekil 3).

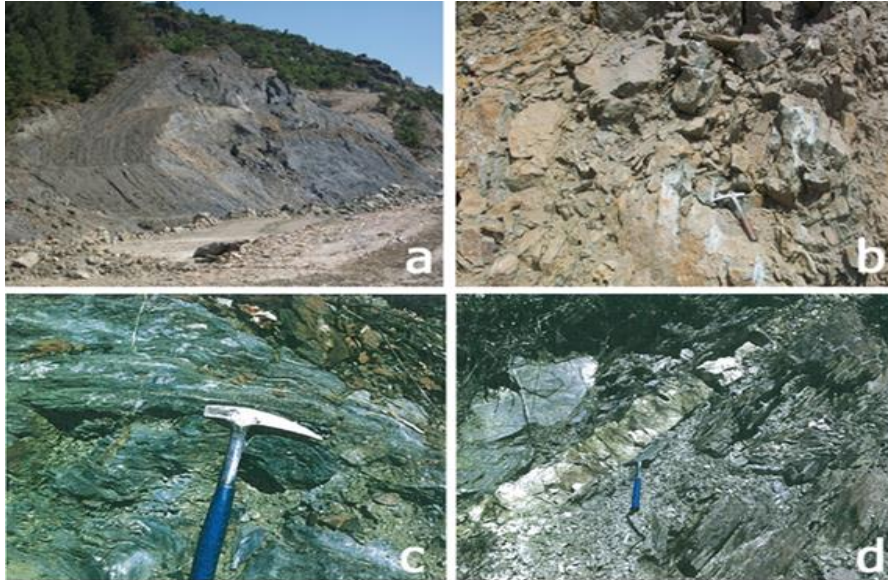
Tünel güzergâhı boyunca karşılaşılan temel birim Şentürk ve Karaköse [7] tarafından Söğüt Metamorfitle, Yılmaz [8] tarafından da Söğüt metabaziti olarak adlandırılmıştır. Bu kayalar çoğunlukla metapellit ve ofiyolitik (serpantin, serpantinleşmiş peridotit, piroksenit, ve diyabaz-mikrogabro) kayalardır.

Metapellitler (Şekil 2a) tünel güzergâhında oldukça geniş bir alan kaplamaktadır. Yaygın olarak gri fillatlar ve bunlarla ardalanmalı olan grimsi-boz renkli metakumtaşları ve metasilttaşlarından oluşmaktadır (Şekil 2b). Gri fillatlar sık aralıklı yapraklanmalıdır. Yapraklanma yüzeyleri parlaktır. Tane boyunun nispeten irileştiği kesimlerde benekli şist görünümü kazanmışlardır. Kırık ve makaslama zonlarında kolaylıkla ezildiğinden yumuşak ve dağılgan bir yapı sunmaktadır. Metabazitler, yeşil ve tonlarındaki renkleri ile mostrada kolayca tanınırlar. Yer yer masif, çoğunlukla iyi yapraklanmalıdırlar. Bazı kesimlerde ise açık ve koyu yeşil renklerde bantlı yapılar sunmaktadır. Tünel güzergâhı boyunca metapellitler Ahmetpınar köyünün 1,5 km G-GD kesiminde rastlanmaktadır.

E. POŞLUK, M. KORKANÇ



Şekil 1. 26 numaralı tünelin yer bulduru haritası



Şekil 2. Söğüt metamorfizmaları ve onları kesen felsik intrüzyonlar (a- metapelitlerin tünel girişinde görünümü, b-fillat ve metasilttaşı, c-serpantinitlet içindeki kuvars bantları [6], d-felsik intrüzyonlar [6])

Ofiyolitik kayalar inceleme alanı içinde 2 büyük tektonik dilim halinde mostra vermektedir. Ayrıca az sayıda küçük dilimlere de rastlanmıştır. Serpantinitletler genellikle yeşil ve tonlarında, siyahımsı renkli olup, çoğunlukla

YÜKSEK HIZLI DEMİRYOLU TÜNELLERİNDE GÜVENLİK TÜNELİ MODELLEMELERİ: ANKARA-İSTANBUL HIZLI TREN PROJESİ 26 NUMARALI TUNEL ÖRNEĞİ

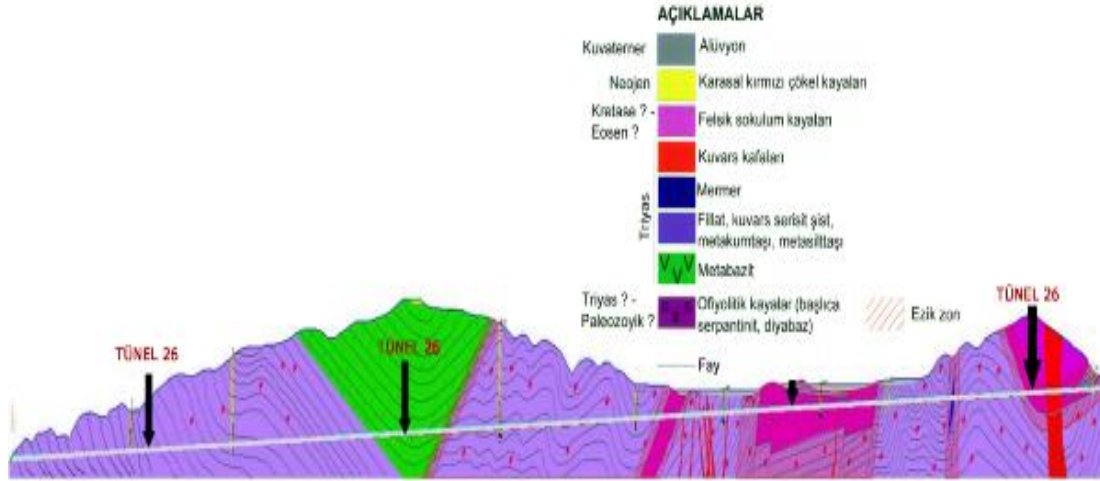
ezi ve makaslanmalıdır (Şekil 2c). Birim, her ne kadar tartışmalı da olsa genellikle Triyas yaşlı olarak kabul edilmektedir [7, 9].

Felsik intrüzyonlar, aşırı ayrışmalı, silisleşmiş, felsik bileşimli (granitik) dayk, sil, damar ve stoklardan oluşmaktadır. Mostrada beyaz, kirli beyaz, sarımsı ve yer yer kahverengi renklerde gözlenirler. Dayk ve sil kalınlıkları birkaç cm ile 3-5 metre arasında değişim göstermektedir (Şekil 2d).

Neojen çökel kayaları inceleme alanı içinde Ahmetpınarı köyü D-GD'sunda Çiftçeşme ve Tekçeşme Tepeleri arasındaki zirvelerde mostra vermektedir. Tünel güzergahının güneyinde (tünelin çıkış kısmında) ise K-G yönünde akan Karasu çayı vadisi boyunca oluşmuş alüvyonlar bulunmaktadır. Söz konusu alüvyonlar, bölgedeki tüm kaya birimlerinin çakıl, kum, kil boyutlarındaki tutturulmamış malzemelerinden oluşmaktadır. Ayrıca Ahmetpınar köyü batısında oldukça geniş bir alanı kapsayan alanda toplanmış her boy malzemeden oluşan heyelan malzemesi de gözlenmektedir. Tünel kazısı sırasında bu birimlerle karşılaşılması beklenmemektedir.

2.2. Mühendislik Jeolojisi Çalışmaları

26 numaralı tünel güzergahı, jeolojik açıdan için oldukça kompleks yapılar barındırmaktadır. Tünel güzergahının giriş kısımlarında (Ahmetpınar köyü batısında) heyelan, devamında fay zonları, zayıf-çok zayıf kayalar ile sağlam kayaya kadar değişen nitelikte birimlerin geçilmesi muhtemeldir. Ayrıca tünel güzergahının, Karasu Deresi yatağına paralel ve alt kotundan geçmesi ile bölgenin yağış ortalamasının yüksek olması yeraltı suyu risklerini de artırmaktadır. Tünel güzergahının araştırılması amacı ile farklı tarihlerde 36 adet karotlu sondaj çalışması yapılmış, bu sondajlardan ve yüzey araştırmalarından yararlanılarak tünel profili oluşturulmaya çalışılmıştır (Şekil 3).



Şekil 3. İncelenen 26 numaralı tünelin boy kesiti [6]

Sondaj çalışmalarından elde edilen karot numuneleri üzerinde, ISRM [10] belirtilen yöntemler esas alınarak laboratuvar deneyleri gerçekleştirilmiştir. Bu deneyler ile kayaçların birim hacim ağırlık, tek eksenli basınç direnci, poisson oranı ve elastisite modülü değerleri belirlenmiştir (Tablo 1).

Kayaçların birim hacim ağırlık değeri bileşim ve dokularıyla yakından ilişkilidir. Pratikte birim hacim ağırlıkları yüksek olan kayaçlar genellikle düşük poroziteli, düşük su emmeli ve yüksek özgül ağırlık değerlerine sahiptir [11]. İncelenen kayaçlardan elde edilen ortalama birim hacim ağırlıklar, NBS [12]'e göre sınıflandırıldığında "orta" birim hacim ağırlığa sahip kayaçlar olarak tanımlanmıştır.

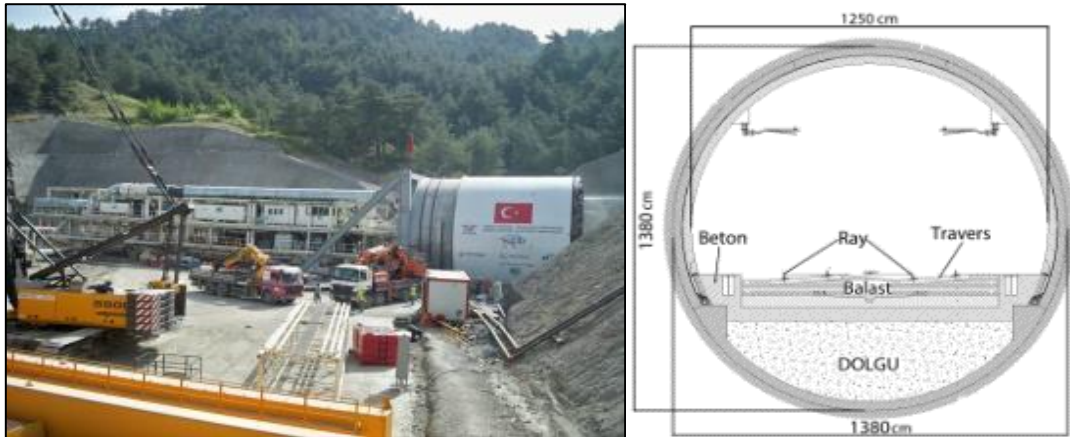
Kayaçların mekanik özelliklerinin belirlenmesi dayanım ve deformabilite açısından oldukça önemlidir. Yapılan bu çalışmada elde edilen verilere göre, metapelitlerden ortalama 12,52-34,56 MPa, ofiyolitlerden ortalama 22,21 MPa ve felsik intrüzyon kayaçlarından ise 27 MPa olan basınç dayanımı değerleri elde edilmiş olup, incelenen kayaçlar, Deere ve Miller [13]'a göre "çok düşük-düşük" dayanımlı kayaç sınıfına girmektedir. Söz konusu bu kayaçlar, Deere ve Miller [13]'e elastisite modülüne göre sınıflandırıldığında "çok düşük" elastisite modülüne sahip kayaçlar olarak sınıflandırılmıştır. Kayaçlardan mühendislik açıdan düşük dayanım değerleri elde edilmesinde bölgenin jeolojik özellikleri ile ayrışmanın etkin parametreler oldukları düşünülmüştür.

Tablo 1. Yapılan sondajlardan elde edilen karotlara ait deney sonuçları [14, 15, 16]

Litoloji	Özellik	Örnek sayısı	Ortalama	En büyük değer	En küçük değer
Söğüt Metamorfitleleri Metapellit (zayıf kaya)	Birim hacim ağırlık (γ_n , kN/m ³)	27	23,36	25,04	21,61
	Tek eksenli basınç dayanımı (σ_c , MPa)	23	12,52	32	4,92
	Elastisite modülü (E, GPa)	17	1,52	3,33	1,22
	Poisson oranı (ν)	17	0,27	0,31	0,17
Söğüt Metamorfitleleri Metapellit, (sağlam kaya)	Birim hacim ağırlık (γ_n , kN/m ³)	35	25,47	28,1	23,2
	Tek eksenli basınç dayanımı (σ_c , MPa)	29	34,56	54,53	22,71
	Elastisite modülü (E, GPa)	27	4,03	10,87	2,85
	Poisson oranı (ν)	27	0,26	0,32	0,21
Söğüt Metamorfitleleri (Ofiyolit)	Birim hacim ağırlık (γ_n , kN/m ³)	18	24,85	27,85	22,35
	Tek eksenli basınç dayanımı (σ_c , MPa)	14	22,21	33,85	17,36
	Elastisite modülü (E, GPa)	14	5,76	11,12	2,68
	Poisson oranı (ν)	14	0,25	0,33	0,23
Felsik İntrizüf	Birim hacim ağırlık (γ_n , kN/m ³)	31	24,36	25,04	21,61
	Tek eksenli basınç dayanımı (σ_c , MPa)	30	27	51	12,3
	Elastisite modülü (E, GPa)	20	5,4	10,5	3,05
	Poisson oranı (ν)	20	0,22	0,27	0,18

2.3. Tünel Tip Kesiti ve Özellikleri

Çalışmanın yapıldığı 26 numaralı tünelin imalatında mekanize kazı yöntemi kullanılmaktadır. Bu amaçla 13,77 m çapında tam dairesel Tünel Açma Makinesi (TBM) kullanılmaktadır (Şekil 4). Sert kaya TBM'i olarak nitelenen makine tek kalkanlı olup, miks (sert-yumuşak) kafa dizaynına sahiptir. Tünelde kazıyı takiben 45 cm kalınlığa 2 m. genişliğe sahip 8 adet prekast döşenerek bir kazı adımı tamamlanmaktadır. Tünel iç çapı 12,50 m. olup, ray üst kotundan itibaren 8,00 m. yüksekliğe sahiptir.

**Şekil 4.** Kullanılmakta olan tünel açma makinesi ve tünel tip kesiti

2.4. 26 Numaralı Tünel için Altyapı Güvenlik Önerileri






Yüksek hızlı demiryolu (250-350 km/saat) işletmeciliğinde tünel güvenliğinin proje dizayn aşamasında tasarlanması gerekmektedir. Her tünel için risk analizi yapılarak uzunluk, coğrafik ve iklim koşulları, erişim kolaylığı (karayoluna erişim mesafesi) gibi veriler değerlendirilerek güvenlik modelleri geliştirilmelidir.

YÜKSEK HIZLI DEMİRYOLU TÜNELLERİNDE GÜVENLİK TÜNELİ MODELLEMELERİ: ANKARA-İSTANBUL HIZLI TREN PROJESİ 26 NUMARALI TÜNEL ÖRNEĞİ

Halen işletmecilik faaliyetlerinin yürütüldüğü Ankara-İstanbul yüksek hızlı tren koridorunda bulunan 26 numaralı tünel, güzergah özellikleri, tünel çapı ve tünel uzunluğu açısından ülkemizdeki en önemli ulaşım tünellerinden biridir. 6100 m. uzunluğundaki tünelin devamında yer alan aç-kapa yapısı ile birlikte tünel, 7096 m. olacaktır. Bu nedenle söz konusu tüneller alt yapı güvenlik önlemleri açısından birlikte değerlendirilmiştir. Bu amaçla 26 numaralı tünel için maliyet, süre ve uygulama kolaylıkları da göz önünde bulundurularak üç farklı güvenlik modeli geliştirilmiştir. Geliştirilen modellerden ray altı kaçış modelinin uygulanabilirliğinin değerlendirilmesi amacı ile Pahase V.8 yazılımı kullanılarak analiz yapılmıştır.

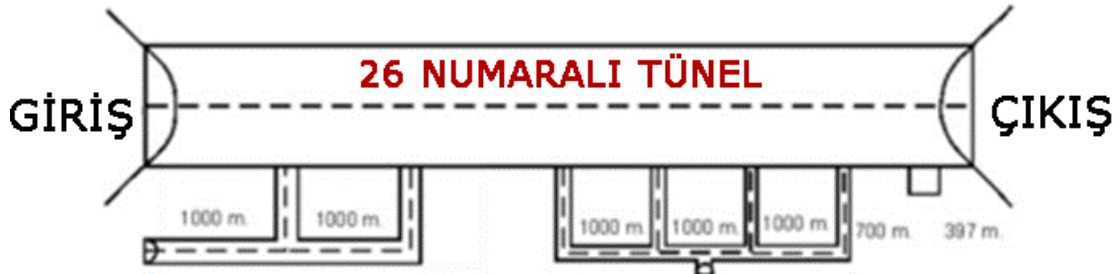
2.4.1. Paralel Tünel

Paralel tünel, ana tünele paralel olarak yapılan ve en fazla 1000 m'de bir ana tünel ile bağlantısı olan tünellerdir. Bu tür uygulamalar, tünel altyapı güvenliği açısından Diamantidis ve ark. [4] tarafından %80 riskli tünel olarak değerlendirilmektedir (Şekil 5).

SİSTEM		RİSK ORANI (%)
	ÇİFT HATLI TEK TÜNEL	100
	ÇİFT HATLI TEK TÜNEL + SERVİS TÜNELİ	~ 80
	TEK HATLI İKİ TÜNEL	50 - 60
	TEK HATLI İKİ TÜNEL + SERVİS TÜNELİ	~ 40
	ÜÇ TEK HATLI TÜNEL	< 40

Şekil 5. Çift hat tren tünellerinde risk oranı [4]

26 numaralı tünel için önerilen paralel tünellerde acil durum müdahaleleri sırasında araç kullanımı da düşünülerek tünel genişliği 2,25 metre, yüksekliği de 2,25 m. olarak değerlendirmeye alınmıştır. Paralel tüneller ana tünel girişinden 2014 metre, çıkışından ise 3043 metre ilerletilmiştir. Bunun nedeni, tünelin giriş bölgesindeki yerel kaya koşullarının çıkış bölgesine oranla daha zayıf olmasından kaynaklanmıştır. 26 numaralı tünel için önerilen paralel tünel modeli ve tünel kesiti, Şekil 6'da sunulmuştur.

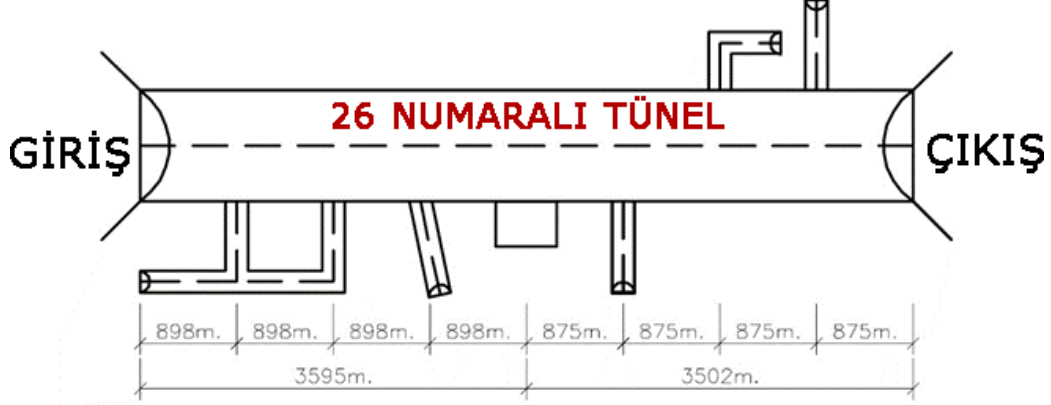


Şekil 6. Paralel tünel modelinin uygulama şeması.

Önerilen paralel tünel uygulaması 5057 metre imalat içermektedir. Bu imalatın ise 755 gün civarında süreceği hesaplanmıştır. Tünel imalatı sırasında karşılaşılabilecek olumsuzluklar (kazı destek sınıfındaki değişiklikler, aşırı sökümler, deformasyonlar vb.) hesaba katılmadan yapılan hesaplamalarda maliyetinin 8,7 milyon € olacağı öngörülmektedir. Önerilen paralel tünel modelinde tahliye noktalarında 500 m² emniyet alanı bulunmakta ve bu hali ile ek kamulaştırma ve düzenleme maliyeti de içermektedir.

2.4.2. Yaklaşım Tüneli ve Güvenlik Bacası

Yüksek hızlı tren tünellerinde alt yapı emniyet önlemleri olarak başvurulan bir diğer yöntem de yaklaşım tünelleri ve kaçış bacalarıdır. 26 numaralı tünel için geliştirilen bu modelde 7 adet yaklaşım tüneli ve 6 adet güvenlik noktası önerilmiştir (Şekil 7). Ayrıca acil durum müdahaleleri sırasında araç kullanımı da düşünülerek yaklaşım tünellerinin genişliği 2,25 m. yüksekliği de 2,25 m. olarak değerlendirmeye alınmıştır.

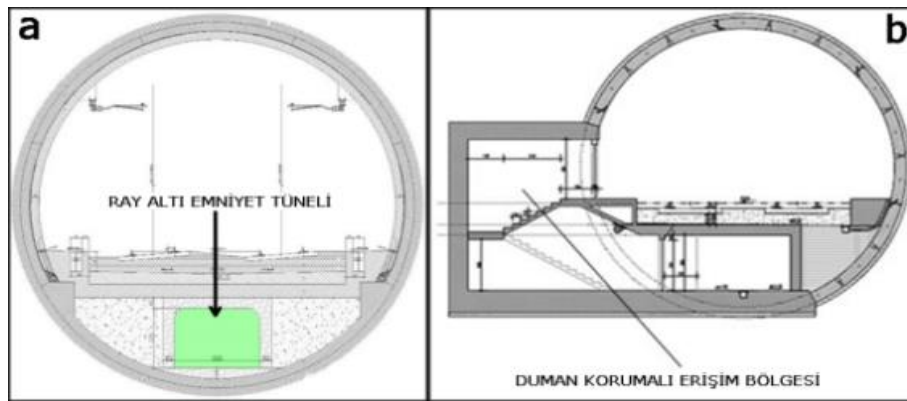


Şekil 7. Yaklaşım tüneli modelinin uygulama şeması

Bu tünellerin toplam uzunluğu 2296 metredir. Bölgedeki tünel açma tecrübelerine dayanarak tünellerinde aynı anda çalışıldığı varsayımı ile imalatların kaplama betonu ile birlikte en az 360 gün içerisinde tamamlanacağı öngörülmüştür. Yaklaşım tüneli ve kaçış bacası uygulamaları için ek kamulaştırma maliyetleri söz konusudur. Tünellerin emniyet alanları ve ek kamulaştırma bedelleri ile birlikte maliyetinin 5,1 milyon € civarında olacağı hesaplanmıştır.

2.4.3. Ray Altı Güvenlik Tüneli

Bu çalışma ile geliştirilen bu model, rayların altında, tüneli boydan boya kat edecek şekilde bir tünelin oluşturulması esasına dayanmaktadır (Şekil 8a). Modelde ana tünelden kaçış tüneline kadar her bin metrede bir bağlantı sağlanması öngörülmektedir (Şekil 8b).



Şekil 8. Önerilen ray altı emniyet tünel kesitleri (a-ray altı emniyet tüneli, b-ana tünel-ray altı emniyet tüneli bağlantı kesiti)

Ray altı kaçış tüneline önceden hazırlanan yapılar birleştirilerek ray altı tünelinin imalatının tamamlanabileceği düşünülmektedir. Bu yöntemin uygulanması sonucunda tünelin tamamlanmasını ancak 130 gün öteleyeceği öngörülmektedir. Ek kamulaştırma bedeli de bulunmayan ray altı güvenlik tünelinin ek olarak 1,3 milyon € maliyet ile tamamlanabileceği hesaplanmıştır.

YÜKSEK HIZLI DEMİRYOLU TÜNELLERİNDE GÜVENLİK TÜNELİ MODELLEMELERİ: ANKARA-İSTANBUL HIZLI TREN PROJESİ 26 NUMARALI TUNEL ÖRNEĞİ

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Üzerinde ayrıntılı olarak çalışılan toplam 7097 m. uzunluğundaki tünel için geliştirilen 3 farklı tünel altyapı emniyet modeli, uzunluk, tamamlanma süresi ve maliyet durumlarına göre değerlendirilmiş olup, bu durum Tablo 2’de özetlenmiştir.

Tablo 2. 26 numaralı tünel için alt yapı güvenlik modellerinin karşılaştırması

Güvenlik Modeli	Uzunluk (m)	Tamamlanma Süresi (gün)	Maliyet (milyon €)
Paralel tünel	5057	755	8,7
Yaklaşım tüneli ve güvenlik bacası	2296	360	5,1
Ray altı tüneli	6100	130	1,3

26 numaralı tünel için alt yapı güvenlik önlemleri kapsamında ayrıntılı olarak değerlendirilen modellerden ray altı tünel uygulamasının en kısa sürede ve en az maliyetle uygulanabileceği tablodan da anlaşılmaktadır. Ancak her ne kadar bu model uluslararası standartları [17, 18] sağlasa da daha önce uygulanmamış olması, gerek imalat gerekse yoğun işletmecilik faaliyetlerini de düşündüğünde sorunsuz uygulanabilirliği tartışma konusudur. Modelin uygulanabilirliğinin araştırılması amacı ile 2 boyutlu sonlu elemanlar yöntemi analiz yapan Rocscience Phase² V. 8.0 [19] programından yararlanılmıştır (Şekil 9).

Analizler sırasında (ana tünel kazısı ve sonrasında farklı stabilite problemlerinin oluşacağı öngörüldüğünden) ana tünel stabil olarak kabul edilmiştir. Bu amaçla ana tünelin Söğüt Metamorfizlerinde (metapellit) sağlam kaya koşullarında açıldığı varsayılarak girdi parametreleri seçilmiştir. Buna göre, yapılan değerlendirmede kaya kütlelerinin GSI [20] değeri 28 ila 38 aralığında yer almaktadır ve ortalama 32 olarak tespit edilmiştir. Bunun yanı sıra, kaya malzemesi sabiti (m_i) 10 olarak alınmıştır. Grafitistlerde kazı yöntemi olarak tünel açma makinesi uygulanacağı için örselenme faktörü (D) sıfır kabul edilmiştir. Nümerik analizlerde kullanılacak parametreler RocLab v1.032 [21] programından yararlanılarak analizin yapılacağı bölgede bulunan 100 metrelik örtü yükü baz alınarak belirlenmiştir. Hoek ve Diederichs [22] tarafından önerilen deformasyon modülü (E_m) kullanılmıştır. Ayrıca Hoek ve ark. [23] tarafından önerilen yenilme kriterinden de yararlanılmıştır. Analizlerde kullanılan kaya parametreleri Tablo 3’te özetlenmiştir.

Buna ek olarak 26 nolu tünel güzergâhı, Afet İşleri Genel Müdürlüğü “Türkiye Deprem Bölgeleri Haritası” değerlendirmelerine göre 2. derece deprem bölgesinde yer almaktadır ve bölgede beklenen ivme değeri ise 0,30-0,40 g arasındadır. Bu nedenle, analiz modellerine yatay yer ivmesi 0,40 g olacak şekilde ek sismik yük eklenerek deprem etkisi de dikkate alınmıştır.

Tablo 3. Sayısal analizde kullanılan kaya malzemesi özellikleri

Kaya Özellikleri	Değerler
Kohezyon, C (MPa)	0,350
Tek eksenli basınç dayanımı, σ_c (MPa)	34,56
Elastisite modülü, E (MPa)	4030
Deformasyon modülü, E_m (MPa)	373,71
İçsel sürtünme açısı, ϕ (°)	40,74
Birim hacim ağırlık, γ_n (kN/m ³)	25,47
Kaya malzemesi sabiti, m_i	10
Kaya kütle sabiti, m_b	0,882
Kaya kütle sabiti, s	0,0005
Kaya kütle sabiti, a	0,520
Örselenme faktörü, D	0
Jeolojik dayanım indeksi, GSI	32
Poisson oranı, ν	0,26

Ayrıca analizlerde kullanılan iç kaplama ve güvenlik tüneli elemanlarına ait parametreler de Tablo 4’te özetlenmiştir.

Modelleme aşamasında 5 temel adım göz önünde bulundurulmuştur. Bunlar:

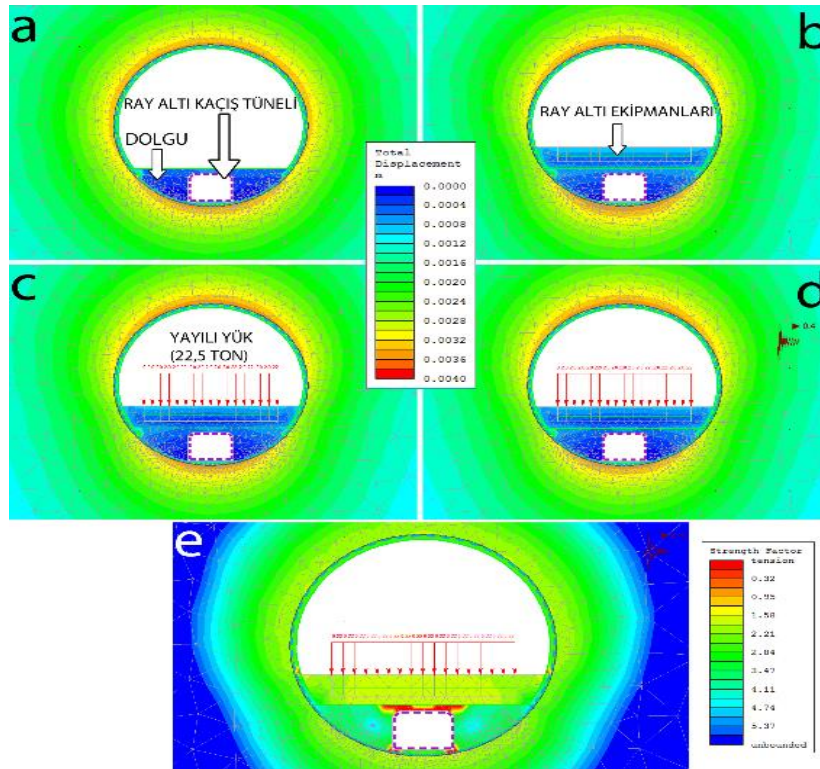
1. Aşama: yerinde gerilmelerin yerleştirilmesi,
2. Aşama: güvenlik tünelinin ve dolgunun imalatı

3. Aşama: grobeton ve ray elemanlarının yerleştirilmesi
4. Aşama: yayılı yükün yerleştirilmesi (trenlerin yerleştirilmesi)
5. Aşama: 0,4 g yatay deprem yer ivmesinin yerleştirilmesidir.

Tablo 4. Phase analizi için kullanılan parametreler

Malzeme Cinsi	Elastisite Modülü (MPa)	Poisson Oranı	Basınç Dayanımı (MPa)	Çekme Dayanımı (MPa)	Literatür
Güvenlik tüneli (C25/30)	30000	0,2	25	1,8	[24]
İç kaplama (C30/37)	32000	0,2	30	1,9	[24]
Grobeton (C16/20)	27000	0,2	16	1,4	[24]
Dolgu malzemesi	26150	0,2	14	1,3	Bu çalışmada kabul edilen dolgu özellikleri

Yapılan analizlerde toplam yer değiştirme değerleri ve eksenel gerilmeler Şekil 9.'de gösterilmiştir. Analizler değerlendirildiğinde depremlerli durumda güvenlik tüneline maksimum yer değiştirmenin 0,4 – 0,6 mm. civarında olduğu görülmektedir. Bu da güvenlik tüneline uygulama sırasında sorunsuz olarak kullanabileceğini göstermektedir. Ancak sayısal analiz çıktılarında özellikle eksenel gerilmelere bakıldığında (Şekil 9e) güvenlik tüneline gerilmelerin arttığı görülmektedir. Özellikle iki trenin aynı anda geçtiği koşullarda rotasyonel gerilmelerin lineer gerilmelere göre daha fazla arttığı görülmektedir. Bu da uygulama sırasında ek tedbirlerin alınması gerektiğini, özellikle ray altı elemanlarının daha rijit bir hale getirilmesi gerektiğini düşündürmektedir. Bununla birlikte gerek maliyet, gerek uygulama süresi gerekse de uygulama kolaylığı açısından önerilen ve uygulanabilir olduğu düşünülen ray altı kaçış modelinin benzer projelerde ana tünel imalatına başlamadan önce düşünülmesi gerekmektedir. Çünkü uygulama sırasında benzer emniyet tedbirlerinin tasarlanması ana tünel tasarımının omurgasını değiştirmekte ve projelere ek yükler getirmektedir.



Şekil 9. Phase analiz sonuçları (a- güvenlik tüneli ve dolgu imalatı sonrası toplam yer değiştirme, b- Grobton ve ray elemanlarının yerleştirilmesi sonrası toplam yer değiştirme, c- Yayılı yük (22,5 ton/dingil) sonrası toplam yer değiştirme, d- 0,4 g. deprem ivmesi sonrası toplam yer değiştirme, e- güvenlik tüneli ve civarı eksenel gerilmeler)

YÜKSEK HIZLI DEMİRYOLU TÜNELLERİNDE GÜVENLİK TÜNELİ MODELLEMELERİ: ANKARA-İSTANBUL HIZLI TREN PROJESİ 26 NUMARALI TÜNEL ÖRNEĞİ**4. SONUÇLAR**

7097 m. uzunluğundaki 26 numaralı tünelde 3 farklı tünel altyapı emniyet modeli, uzunluk, tamamlanma süresi ve maliyet durumları göz önüne alınarak yapılan değerlendirmelerde, ray altı ekipmanların rijit seçilmesi kaydıyla uygulanması en ekonomik, hızlı ve uygulanabilir altyapı tünel güvenlik önerisinin ray altı kaçış tüneli olduğu sonucuna varılmıştır.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma, 26 numaralı tünelin altyapı güvenlik sorununa çözüm getirebilmesi amacıyla yapılmıştır. Yazarlar çalışmalarını sırasında desteklerinden dolayı TCDD yetkililerine, çalışma alanın jeolojisi konusundaki önerilerinden dolayı da Prof. Dr. Okan Tüysüz ile Arş. Gör. Elif Apaydın POŞLUK'a teşekkürlerini sunarlar. Ayrıca çalışmanın son haline gelmesinde katkı, görüş ve önerilerinden dolayı yayını inceleyen hakemlere sonsuz teşekkürlerini sunarlar.

KAYNAKLAR

- [1] POŞLUK, E., ERTİN, A., KORKANÇ M., PİLATİN, R.Y., ARICA, E., “Ankara-İstanbul Hızlı Tren Projesi 2. Etap 26 Nolu Tünelin TBM Kazı Performansının QTBM Metodu ile Tahmini”, KAYAMEK 2011- X. Bölgesel Kaya Mekaniği Sempozyumu, 8-9 Aralık 2011, s:20-30, Ankara, Türkiye, 2011.
- [2] KRAUSMANN, E., MUSHTAG, F., “Analysis of Tunnel-Accident Data and Recommendations for Data Collection and Accident Investigation”, EU SafeT Project D4.5 Report, Turin, 7-20, 2005.
- [3] AMUNDSEN, F.H., MELVEAR, P., RONES, P., “Studies on Norwegian Road Tunnels, an Analysis of Traffic Accident and Car Fires in Road Tunnels”, Norwegian Public Roads Administration TTS 15 Report, Oslo, 14-16, 1997.
- [4] DIAMANTIDIS, D., ZUCCARELLI, F., WESTHAUSER, A., “Safety Of Long Railway Tunnels”, Reliability Engineering and System Safety, 135–145, 2000.
- [5] ESKESEN, S.D., TENGBORG, P., KAMPMANN, J., VEICHERTS, T.H., “Guidelines for Tunnelling Risk Management: International Tunnelling Association”, Working Group No. 2, Tunnelling and Underground Space Technology 19 217–237 (ITA/AITES Accredited Material), 2004.
- [6] TÜYSÜZ, O., GENÇ, Ş. C., “TCDD Ankara-İstanbul Hızlı Tren Projesi Vezirhan-İnönü Etabı T26 Tünel güzergahının Jeolojisi Raporu”, Avrasya Yer Bilimleri Enstitüsü, İTÜ, İstanbul, 2012.
- [7] ŞENTÜRK, K., KARAKÖSE, C., “Orta Sakarya Bölgesinde Liyas Öncesi Ofiyolitlerinin ve Mavi Şistlerinin Oluşumu ve Yerleşmesi”, Türkiye Jeoloji Kur. Bül., 24-1,1-11, 1981.
- [8] YILMAZ, Y., “Söğüt-Bilecik Bölgesinde Polimetamorfizma ve Bunların Jeoteknik Anlamı”, Türkiye Jeoloji Kur. Bül., 22-1, 85-100, 1979.
- [9] MONOD, O., OKAY, A.I., “Late Triassic Paleo-Tethyan subduction: Evidence from Triassic blueschists in NW Turkey”, Tenth Meeting of the European Union of Geosciences (EUG 10), 28.3.1999- 1.4.1999, Strasbourg. Journal Conference Abstracts, 4, p. 315, 1999.
- [10] INTERNATIONAL SOCIETY FOR ROCK MECHANICS (ISRM), “The Complete ISRM Suggested Methods for Rock Characterization. Testing and Monitoring: 1974-2006”, Suggeste Methods prepared by the Commission on Testing Methods, ISRM, R. Ulusay and .A. Hudson (eds.), Kozan Ofset, Ankara, 628 p, 2007.
- [11] ERGUVANLI, K., Mühendislik Jeolojisi, İTÜ Gümüşsuyu Matbaası, İstanbul, Türkiye, 1975.
- [12] NORWEGIAN GROUP FOR ROCK MECHANICS (NBG) Engineering Geology and Rock Engineering. Handbook No. 2, 1985.
- [13] DEERE, D.U., MILLER, R.P., “Engineering Classification And Index Properties For Intact Rock”, Technical Report No. AFWL-TR-65-116, Air Force Weapons Lab., Kirtland Air force Base, 308 pp, 1966.
- [14] YÜKSEL PROJE ULUSLARARASI A.Ş., “Ankara-İstanbul Hızlı Tren Projesi (Köseköy-İnönü) Proje Raporu”, 2004.
- [15] JEMAS, “Ankara-İstanbul Hızlı Tren Projesi (II. Etap) Vezirhan-İnönü (II. Kısım) Tünel – 26 Sondaj Raporu”, 2010.
- [16] AKADEMİ, “Ankara-İstanbul Hızlı Tren Projesi (2.Etap) Vezirhan-İnönü (Kesim 2); İşleri Kapsamında DT-26 Tüneline Sondaj Yapılması İşİ Sondaj Raporu”, 2013.
- [17] UIC Code 779-9, “Safety in Railway Tunnels”, 2003.

E. POŞLUK, M. KORKANÇ

- [18] TSI, 2008/163/EC “Concerning the Technical Specification of Interoperability Relating to Safety in Railway Tunnels in the Trans-European Conventional and High-Speed Rail System”, 2008.
- [19] ROCSCIENCE, “Phase2 V 8.0 Finite Element Analysis for Excavations and Slopes”, Rocscience Inc., Toronto, Ontario, Canada, 2010.
- [20] MARINOS, P., HOEK, E., “GSI: A Geologically Friendly Tool for Rock Mass Strength Estimation”, Proceedings of the GeoEng2000 at the international conference on geotechnical and geological engineering, Melbourne, Australia, 2000.
- [21] ROCSCIENCE, Roclab v1.032 Rock Mass Strength Analysis Using the Generalized HoekBrown Failure Criterion, Rocscience Inc., Toronto, Ontario, Canada, 2011.
- [22] HOEK, E., DIEDERICHS, M.S., “Empirical Estimation of Rock Mass Modulus”, International Journal of Rock Mechanics and Mining Science, 43, 203-215, 2006.
- [23] HOEK, E., CARRANZA-TORRES, C., CORKUM, B., “Hoek-Brown Failure Criterion 2002 Edition”, Proceedings of the NARMS-TAC 2002, Mining Innovation and Technology, Toronto, Canada, 267-273, 2002.
- [24] TÜRK STANDARTLARI ENSTİTÜSÜ, “TS 500-Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları”, 2000.