



Research Article / Araştırma Makalesi

Güneyce Karayolu Tüneli Sağ Tüp Giriş ve Çıkış Bölümlerinin Jeoteknik ve Destek Sistemi Açısından İncelenmesi

Investigation of Right Tube Inlet and Outlet Sections of Güneyce Highway Tunnel in terms of Geotechnical and Support System

Baki Ömer FURAT¹ , Fikri BULUT² 

¹ İstanbul Üniversitesi - Cerrahpaşa, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Avcılar, 34320 İstanbul

² Karadeniz Teknik Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 61080 Trabzon

Geliş (Received): 21 Mart (March) 2019, Düzeltme (Revised): 27 Haziran (June) 2019, Kabul (Accepted): 10 Eylül (September) 2019

ÖZ

Doğu Karadeniz bölgesinde birçok karayolu tüneli mevcuttur, bu tüneller ulaşım kolaylığı sağlamakla beraber ülke ekonomisinin kalkınmasında önemli rol oynamaktadır. Bu makalede, Rize-İspir Karayolu güzergâhı üzerinde bulunan ve delme patlatma yöntemi ile inşa edilmekte olan Güneyce (İkizdere-Rize) Tüneli'nin sağ tüp giriş ve çıkış bölümleri boyunca farklı kaya sınıflama yöntemleri ile önerilen tünel destek tipleri incelenmiştir. Çalışma kapsamında, birimlerin tanınması ve jeolojik modelin oluşturulabilmesi için 1/100.000 ölçekli jeoloji haritası ve 1/100 ölçekli tünel içi jeoloji haritası hazırlanmıştır. Güneyce Tüneli'nin Geç Kretase yaşlı Kızılıkaya formasyonu ve İkizdere Granitoidi içinde açıldığı belirlenmiştir. Tünel güzergâhında toplamda üç adet sondaj bulunmaktadır ve bu güzergâhta yer alan jeoteknik birimlerden alınan kaya malzemelerine ait fiziksel, mekanik ve elastik özellikler belirlenmesi için Karadeniz Teknik Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü'nde laboratuvar deneyleri yapılmıştır. Süreksizliklerin özelliklerini belirlemek amacıyla, Güneyce (İkizdere-Rize) Tüneli sağ tüp giriş ve çıkış bölümleri boyunca hat etüdü çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Güneyce (İkizdere-Rize) Tüneli sağ tüp giriş ve çıkış bölümleri boyunca yapılan hat etüdü çalışmaları ve kaya malzemeleri üzerinde yapılan laboratuvar deneyleri sonucunda elde edilen veriler kullanılarak Q, RMR₁₄, NATM ve GSI kaya kütle sınıflama sistemlerine göre sınıflandırılmıştır. Ayrıca Q ve RMR₁₄ kaya kütle sınıflamalarına uygun ön destek tasarımları belirlenmiştir. Yapılan bu çalışmalar sonucunda Güneyce Tüneli'ndeki iki ayrı litolojik birimi kaya malzemesi özelliklerine göre dört ayrı jeoteknik birime ayırarak tünel tasarımı açısından kritik olabilecek özellikler tartışılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Kaya Kütle Sınıflaması, Tünel, Rize, NATM

ABSTRACT

There are many highway tunnels built in the Eastern Black Sea Region, these tunnels not only provide convenience for transportation, but also play an important role in country's economic growth and transportation. In this paper, different rock classification methods and proposed tunnel support systems were investigated along the right tube entrance and exit of Güneyce Tunnel (Ikizdere, Rize), which is under construction by drilling and blasting method on Rize-Ispir highway. A geological map of the study area at 1/100.000 scale and another geological map along the tunnel route at 1/100 scale were prepared in order to create the geological model and define geological units. It is determined that Güneyce tunnel is being constructed in Late Cretaceous Kizilkaya formation and Ikizdere Granitoid. There are three boreholes on tunnel route and laboratory tests were carried out in Karadeniz Technical University Geological Engineering Department. The related tests were conducted on rock specimens taken from the

geotechnical units along the tunnel route in order to determine their physical, mechanical and elastic properties. Discontinuity line survey studies were carried out along the right tube entrance and exit of the Güneyce Tunnel to define discontinuity conditions. Using the results from the line survey studies and laboratory tests, geotechnical units along the tunnel route were classified according to Q , RMR_{14} , NATM and GSI rock mass classification systems. Moreover, pre-support designs which were appropriate for Q and RMR_{14} rock mass classifications were identified. As a result of these studies, two different geological units along the Güneyce Tunnel route were divided into 4 different geotechnical units according to the properties of rock materials that could be critical in terms of tunnel design.

Keywords: Rock Mass Classification, Tunnel, Rize, NAT

GİRİŞ

Son yıllarda ülkemizdeki araç sayısı ve trafikte bulunan araç kalitesi, gelişen ve küreselleşen ekonomiye bağlı olarak sürekli artmaktadır. Bu gelişmeye bağlı olarak yeni, büyük ve daha rahat karayolu ulaşım hatlarının yapılması gündeme gelmiştir. Ülkemizin coğrafyasının dağlık olması sebebiyle, yeni inşa edilecek olan yolların standartlarının yüksek tutulması için doğal zorlukların çeşitli mühendislik çalışmalarıyla aşılması gerekmektedir (Kaya, 2012). Bu nedenle, karayolu tünelleri bahsettiğimiz sarp ve dağlık arazi koşullarında önemli bir mühendislik çözümü olarak ortaya çıkmaktadır. Bu tür uygulamaların maliyeti yüksek olsa da son yıllarda tünellerin uzunlukları ve sayıları giderek artmaktadır (Kanık, 2015).

Karadeniz Bölgesi'nde yapılmış olan birçok karayolu tüneli mevcut olmakla beraber bu alanda birçok akademik çalışma da yapılmıştır. Şans (2005) tarafından yapılan çalışmada Karadeniz Sahilyolu projesi Hapan tünel güzergâhının mühendislik jeolojisi ve jeomekanik değerlendirilmesi yapılmıştır. Çalışma sonucunda tünelde ölçülen deformasyonlar incelenmiş ve sorunlu kesimdeki güzergaha ait mühendislik jeolojisi verileri yorumlanmış ve geri hesap yöntemi kullanılarak iyileştirme çalışmaları için öneriler getirilmiştir. Kaya (2008) ise Konakönü Tüneli (Araklı-Trabzon) sol tüpünün giriş portalı jeoteknik açıdan incelenmiştir. Çalışma sonucunda kaya kütlesi sınıflama sistemleri ve laboratuvar verilerinden elde edilen sonuçların

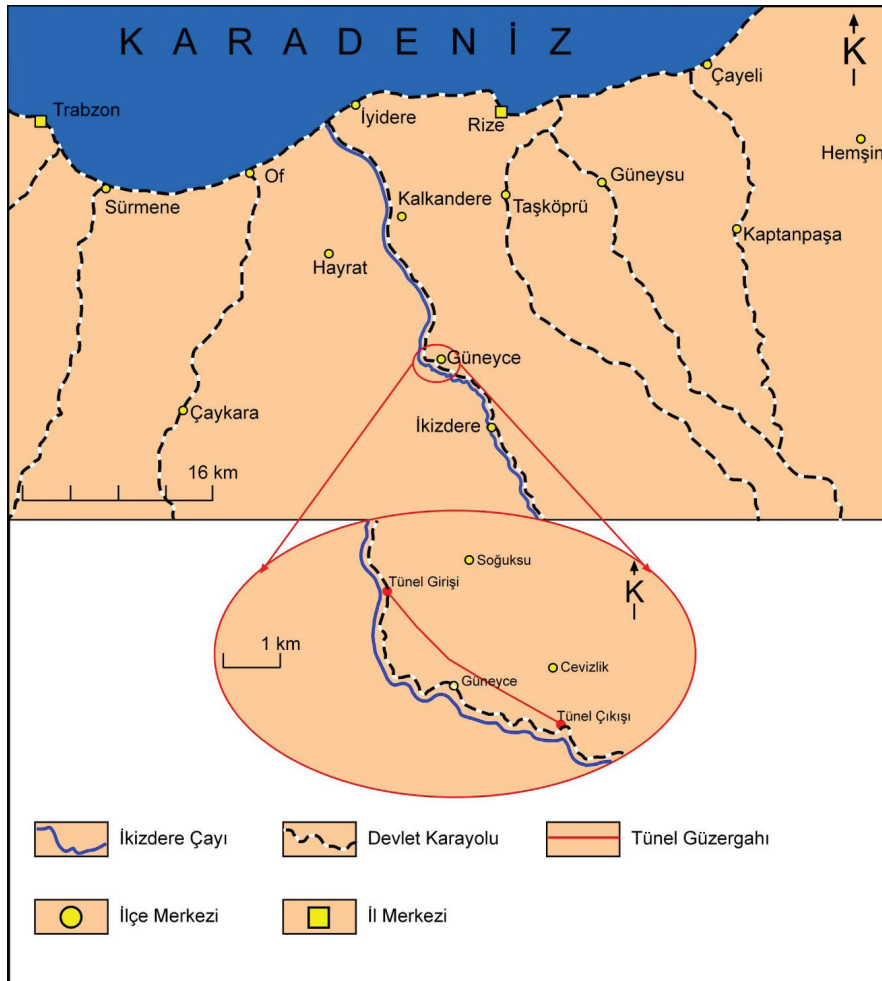
analitik değerlendirmesi ile tünel kazısı sırasında ortaya çıkacak olan gerilme ve deformasyonların analizleri yapılarak, kaya-destek etkileşimleri ile destek elemanları üzerinde meydana gelecek deformasyonlar belirlenmiştir. Kaya (2012), Cankurtaran Tüneli (Hopa-Artvin) güzergâhını ve çevresini jeoteknik açıdan incelemiştir. Çalışma sonucunda fiziko-mekanik özelliklerden, sondaj ve hat etüdü çalışmalarından elde edilen veriler kullanılarak jeoteknik birimler RMR, Q , RMI, NATM ve GSI sistemlerine göre sınıflandırılmış ve tünel için ampirik ön destek elemanları belirlenmiş ve sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak, kaya-destek etkileşimleri ile ampirik destek elemanları üzerinde meydana gelecek deformasyonlar değerlendirilmiştir. Yılmaz (2017), Boztepe Tüneli (Ordu çevre yolu projesi) kazı çalışmalarında süreksizlik düzlemlerinin aşırı sökülme etkisini incelemiştir. Çalışma sonucunda aglomeradan oluşan birim içerisindeki süreksizlik düzlemlerinin kesme dayanımının düşük olduğu değerlendirilmiştir. Bu çalışmada geometrik olarak tünel aynası ile kesişen süreksizlikler boyunca kama türü yenilmelerin geliştiği belirtilmiştir. Ayrıca aşırı sökülme meydana gelen bölgelerdeki durum, geriye dönük analiz yoluyla değerlendirilmiştir.

Güneyce Tüneli; Doğu Karadeniz Bölümü'nde bulunan, 1/25000 ölçekli Tortum G44-b3 ve G45-a4 paftalarının sınırları içerisinde yer almaktadır (Şekil 1). Güneyce Tüneli, 925-01 kontrol kesim numarası kapsamındaki İyidere-İkizdere arası varyant güzergâhının 22. ve 29. kilometreleri arasında inşa edilmektedir

ve İkizdere ilçesinin yaklaşık 15 km kuzeyinde yer almaktadır.

Bu çalışmada, Rize-İspir karayolu güzergâhı üzerinde bulunan ve inşaatı süren Güneyce Tüneli'ne ait 1/100.000 ölçekli genel jeoloji haritası, Güneyce Tüneli'ne ait 1/100 ölçeğinde olan tünel için jeoloji haritaları ve ölçeksiz tünel ayna kesitleri hazırlanmıştır. Tünel içerisinde yapılan çalışmalar sonucunda belirlenen jeolojik birimler için süreksizliklerin özellikleri (Çizelge 2), jeoteknik özellikleri ve bütün jeolojik birimlerin fiziko-mekanik ve elastik özelliklerini belirlemek için laboratuvarında ilgili deneyler yapılmıştır (Çizelge 1).

ön destek türünün belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla çalışma alanı ve çevresine ait 1/100.000 ölçekli genel jeoloji haritası, Güneyce Tüneli'ne ait 1/100 ölçeğinde olan tünel için jeoloji haritaları ve ölçeksiz tünel ayna kesitleri hazırlanmıştır. Tünel içerisinde yapılan çalışmalar sonucunda belirlenen jeolojik birimler için süreksizliklerin özellikleri (Çizelge 2), jeoteknik özellikleri ve bütün jeolojik birimlerin fiziko-mekanik ve elastik özelliklerini belirlemek için laboratuvarında ilgili deneyler yapılmıştır (Çizelge 1).



Şekil 1. Çalışma alanının yer bulduru haritası.

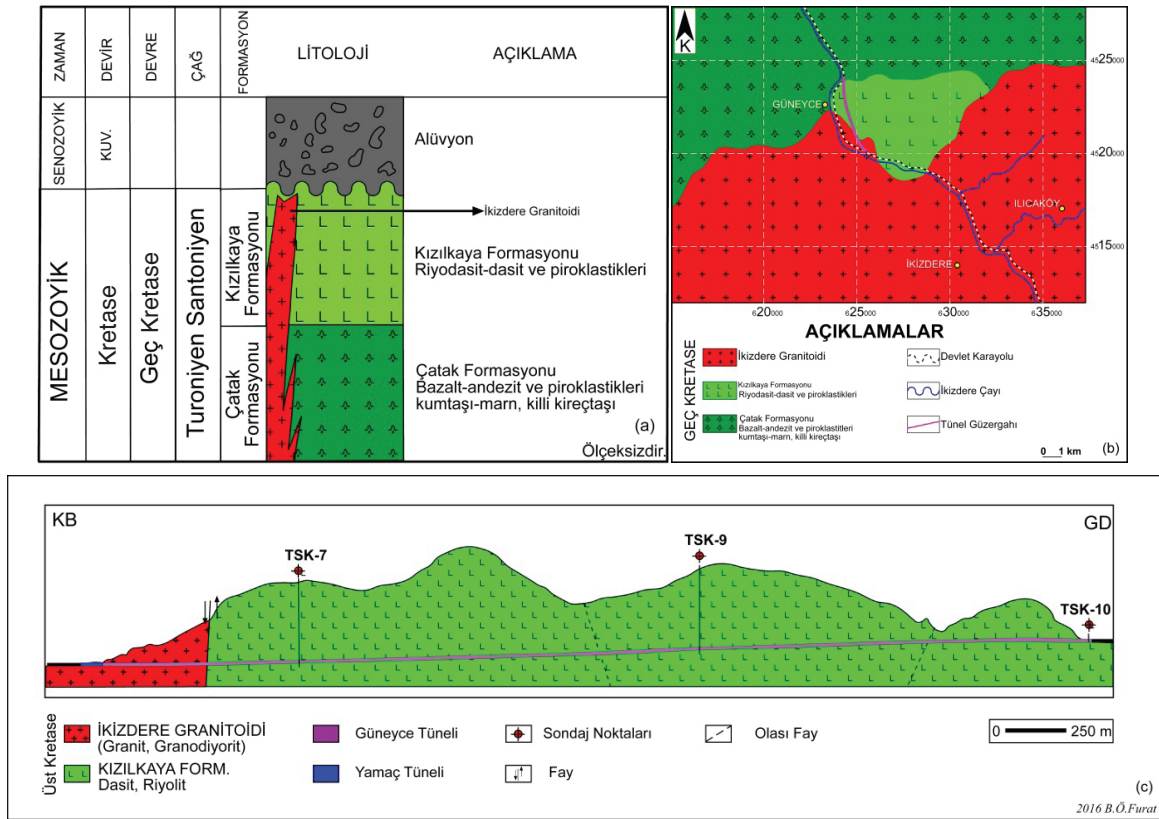
Figure 1. Location map of the study area.

JEOLOJİ

Güneyce Tüneli ve çevresinde yer alan kayalar, litostratigrafik isimlendirme ve sınıflama kurallarının (NACS, 1983) temel alınması ile tanımlanmıştır. Çalışma alanı ile çevresinde yaşlıdan genç Geç Kretase yaşlı Çatak formasyonu, Kızilkaya formasyonu ve bunlara sokulum yapan İkizdere Granitoidi ile Kuvaterner yaşlı alüvyonların yüzeylendiği belirlenmiştir (Şekil 2a).

Çatak Formasyonu

Çalışma alanının kuzeyinde bulunan Çatak formasyonu ilk defa Güven (1993) tarafından Trabzon'un Maçka ilçesinde yürütülen çalışma sonrasında isimlendirilmiştir (Şekil 2b). Bu birim otobreşik andezitik lav, ara katmanlar halinde volkanik kumtaşı ile kırmızı-gri renkli karbonatlar ve bazaltlardan oluşmaktadır. Çatak formasyonu, tabanda yeşil renkte olan bazalt-andezitlerle başlayarak üste doğru



Şekil 2. (a) Güneyce Tüneli çevresine ait stratigrafik kolon kesit. (b) Güneyce tüneli ve çevresinin jeoloji haritası (Akbaş vd., 2016'dan değiştirilmiştir). (c) Güneyce Tünel güzergâhına ait jeoloji kesiti.

Figure 2. (a) Stratigraphic columnar section of Güneyce Tunnel. (b) Geological map of Güneyce Tunnel and its vicinity (Modified after Akbaş et al., 2016). (c) Geological cross section of Güneyce Tunnel.

ve yanal olarak piroklastiklere geçmektedir. Volkanizmanın duraksadığı zamanlarda meydana gelen sedimanter–volkanosedimanter oluşumlar, volkanitlerin içinde ara katmanlar halinde bulunmaktadır. Çatak formasyonu'nun sedimanter birimleri ince katmanlı, kırmızı renkli karbonatlardan, şeyllerden ve marn ile gri renkteki kumtaşından meydana gelmektedir.

Kızılkaya Formasyonu

Çatak formasyonu'nun altında uyumlu bir şekilde bulunan ve çalışma alanında yüzeylenen Kızılkaya formasyonu ilk olarak Güven (1993) tarafından isimlendirilmiştir (Şekil 2(b)). Kızılkaya formasyonu, riyodasit lav, dasit ile piroklastikleriyle bazı yerlerde mercek şeklinde kırmızı veya gri renkli karbonatlardan meydana gelmektedir. Kızılkaya formasyonu bazalt, andezit ve piroklastiklerden meydana gelen Çatak formasyonu'nun üzerinde uyumlu bir şekilde yer alır.

İkizdere Granitoyidi

İsmi İkizdere (Rize) ilçesinden alan ve çalışma alanının geniş kısmında batolit şeklinde yüzeylenen İkizdere Granitoyidi tonalit, granodiyorit, diyorit, gabroyikdiyorit granit ve kuvarsmonzonit bileşimli kayaçları ve monzogabro, monzodiyorit ve monzonit bileşimli anklavları içermektedir. İkizdere Granitoyidi Üst Kretase yaşlı Çatak formasyonu ve Kızılkaya formasyonu'nu keserek yerleşmiştir (Güven, 1993).

Alüvyon

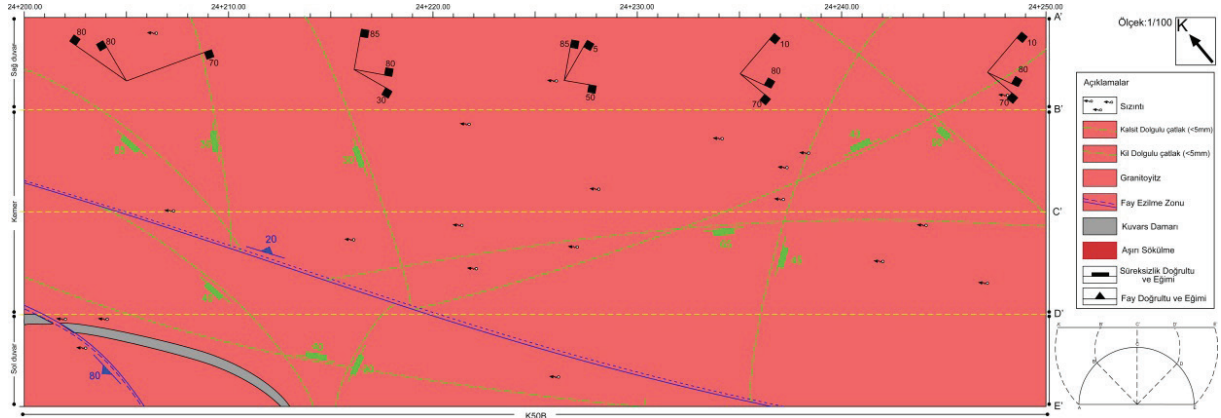
Alüvyonlar, akarsu vadilerinde oluşan bloklu, çakıllı, kumlu ve siltli malzemeler olarak tanımlanmaktadır. Çakılların boyutları genellikle 2-10 cm arasında değişmektedir, blok

boyutlarının ise 20-50 cm arasında değiştiği gözlenmektedir. Çakıllar çoğunlukla yuvarlak şekillidir fakat bloklar köşelidir.

JEOTEKNİK BİRİMLERİN TANIMLANMASI

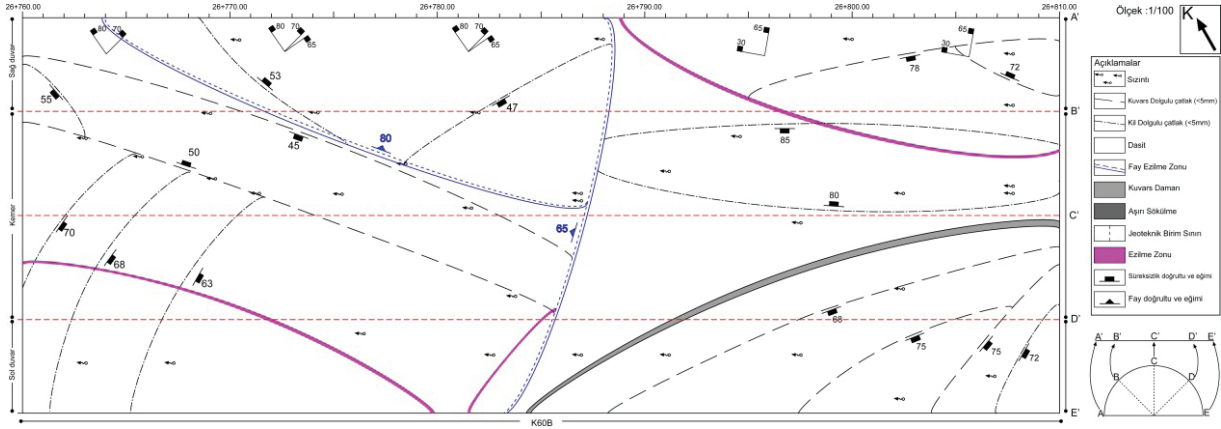
Jeoteknik birimlerin tanımlanmasında bazı ölçütler esas alınmaktadır. Esas alınmakta olan bu ölçütler; mineralojik bileşim, litolojik özellikler, süreksizliklerin sıklığı ve ayrışma durumudur. Bu özelliklerin tanımlanması arazi gözlemleri ile olmuştur. Jeoteknik birimlerin tanımlanması ise tanımlanan özelliklerin değiştiği kısımların saptanması ile olmaktadır. Jeoteknik birimlerin mühendislik özellikleri yapılan çalışmalar doğrultusunda birbirinden farklı olduğu saptanmaktadır.

Mineralojik bileşim, litolojik özellikler ve jeoteknik özellikler, jeoteknik birimlerin tanımlanması için kullanılmıştır. 1/100 ölçekli olarak hazırlanan tünel içine ait jeoloji haritası, sağ tüp giriş ve çıkış bölümlerindeki jeoteknik birimlerin düşey ve yanal devamlılıklarının saptanması için tünel içinde yapılan çalışmaların sonucunda hazırlanmıştır (Şekil 3 ve 4). Tünel içi jeoloji haritası hazırlanırken ISRM (1976) ve ANON (1976) tarafından önerilmiş olan, Dearman (1981) tarafından revize edilen mineralojik kökene, jeoteknik özelliklere ve litolojiye dayanmakta olan sınıflamadan yararlanılarak, sağ tüp giriş ve çıkış bölümlerindeki kayaçlar iki litolojik ve dört farklı jeoteknik birime ayrılarak incelenmiştir. İkizdere Granitoyidi'nden oluşan birim G jeoteknik birimi olarak, Kızılkaya formasyonu'ndan oluşan birim ise aynı petrografik olarak aynı kayaç grubu çıkmasına rağmen farklı fiziko-mekanik değerler vermesi sebebiyle kendi içerisinde K1, K2 ve K3 jeoteknik birimleri olarak adlandırılmıştır.



Şekil 3. Güneyce Tüneli Sağ Tüp Giriş Portalına ait 1/100 ölçekli tünel içi jeoloji haritası.

Figure 3. 1/100 scale inner-tunnel geological map of Güneyce Tunnel Right Tube Entrance Portal.



Şekil 4. Güneyce Tüneli Sağ Tüp Çıkış Portalına ait 1/100 ölçekli tünel içi jeoloji haritası.

Figure 4. 1/100 scale inner-tunnel geological map of Güneyce Tunnel Right Tube Exit Portal.

FİZİKO-MEKANİK VE ELASTİK ÖZELLİKLER

Güneyce Tüneli sağ tüp giriş ve çıkış bölümlerinde bulunan kaya bloklarından alınan 26 örnek üzerinde Karadeniz Teknik Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü'nün laboratuvar ortamında hazırlanmıştır. Hazırlanan örnekler üzerinde TSE'nin "TS 699 (2009)" ve ISRM (2007)'nin önerdiği yöntemlere göre deneyler yapılmıştır. Kaya malzemesinin, tek eksenli basınç dayanımının bulunması amacı ile

TSE'nin "TS EN 1926 (2013), Doğal Taş Deney Metotları-Tek Eksenli Basınç Dayanımı Tayini" şartnamesine uygun olarak önerilmiş olan standartlar esas alınmıştır. Dinamik elastisite modülünün saptanması amacı ile örneklerin boyuna olan elastik dalga tarafından kat edilme zamanı kullanılmıştır. Youash (1970)'ın önerdiği eşitliğin Bulut (1989)'un metrik sisteme çevrilmiş hali olan (1) numaralı eşitlikten yararlanılması ile doygun ve kuru kaya örneklerine özgü dinamik elastisite modülü hesaplanmıştır.

$$E_d = 1,29 L/d^2.w.l/t^2.10^6 \quad (1)$$

Burada; E_d : dinamik elastisite modülü (kg/cm^2), L: örnek boyu (cm), d: örnek çapı (cm), w: örnek ağırlığı (gr), t: elastik dalgaının örneği kat etme zamanıdır (mikrosaniye).

Daha sonra elde edilen verilerden yararlanılarak ASTM (1980)'nin önerdiği (2) numaralı eşitlikten doymun ve kuru kaya

malzemelerine özgü dinamik Poisson oranı hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar Çizelge 1'de verilmiştir.

$$v_{din} = (V_p^2/V_s^2)-2 / 2[(V_p^2 / V_s^2)-1] \quad (2)$$

Burada; v_{din} : dinamik poisson oranı, V_p : elastik dalgaının boyuna yayılma hızı (m/sn), V_s : elastik dalgaının enine yayılma hızı (m/sn).

Çizelge 1. Jeoteknik birimlere ait kaya örneklerinin fiziko-mekanik ve elastik özellikleri.

Table 1. Physico-mechanical and elastic properties of rock samples of the geotechnical units.

Fiziko-Mekanik ve Elastik Özellikler	G Jeoteknik Birimi	K1 Jeoteknik Birimi	K2 Jeoteknik Birimi	K3 Jeoteknik Birimi	
Doğal Birim Hacim Ağırlık (kN/m^3)	Ortalama	25.07	26.76	25.04	24.12
	Max	25.34	27.09	25.36	24.50
	Min	24.89	26.55	24.80	23.86
Toplam Porozite (%)	Ortalama	1.24	0.68	0.95	1.32
	Max	1.34	0.81	1.11	1.54
	Min	1.18	0.57	0.80	1.11
Hacimce Su Emme (%)	Ortalama	1.18	0.51	0.86	1.14
	Max	1.35	0.68	1.07	1.34
	Min	0.99	0.40	0.69	1.08
Su Muhtevası (%)	Ortalama	0.65	0.34	0.48	0.82
	Max	0.87	0.45	0.59	1.03
	Min	0.59	0.25	0.29	0.78
Tek Eksenli Basınç Dayanımı (MPa)	148.06	182.94	149.40	104.35	
Dinamik elastisite modülü – Ed (kgf/cm^2) (Doymun örnekler)	4.65×10^5	9.25×10^5	4.77×10^5	3.71×10^5	
Dinamik elastisite modülü – Ed (kgf/cm^2) (Kuru örnekler)	7.18×10^5	9.39×10^5	7.37×10^5	5.68×10^5	
Dinamik Poisson oranı - v_{din}	0.45	0.22	0.43	0.62	

Çizelge 2. Jeoteknik birimlerde süreksizlik özelliklerinin tanımlama ölçütlerine göre değerlendirilmesi.

Table 2. Evaluation of discontinuity properties in the geotechnical units according to definition criteria.

Süreksizlik Özellikleri	G Jeoteknik Birimi	K1Jeoteknik Birimi	K2 Jeoteknik Birimi	K3 Jeoteknik Birimi
	4 Eklem takımı	3 Eklem takımı	4 Eklem takımı	3 Eklem takımı
Süreksizlik takımları	(107/85) – (180/24) (235/90) – (95/70)	(110/30) – (280/85) (10/90)	(10/75) – (295/40) (145/55) – (285/20)	(255/42) – (120/85) (95/90)
Süreksizlik ara uzaklığı (m)	0.13	0.29	0.33	0.45
Tanımlama (ISRM, 2007)	Yakın ara uzaklıklı	Orta derecede ara uzaklıklı	Orta derecede ara uzaklıklı	Orta derecede ara uzaklıklı
Süreksizlik devamlılığı (m)	20.59	21.28	21.37	20.28
Tanımlama (ISRM, 2007)	Çok Yüksek Devamlı	Çok Yüksek Devamlı	Çok Yüksek Devamlı	Çok Yüksek Devamlı
Süreksizlik pürüzlülüğü (JRC)	4-6	2-4	6-8	4-6
Süreksizlik açıklığı (mm)	2.7	1.6	2.8	3.1
Tanımlama (ISRM, 2007)	Orta Derece Geniş	Açık	Orta Derece Geniş	Orta Derece Geniş
Süreksizlik yüzeylerinin ayrışma derecesi	W1	W1	W1	W1
Tanımlama (ISRM, 2007)	Kayacın bozunduğuna ilişkin gözle ayırt edilebilir bir belirti olmamakla birlikte, ana süreksizlik yüzeylerinde önemsiz bir renk değişimi gözükmemektedir.	Kayacın bozunduğuna ilişkin gözle ayırt edilebilir bir belirti olmamakla birlikte, ana süreksizlik yüzeylerinde önemsiz bir renk değişimi gözükmemektedir.	Kayacın bozunduğuna ilişkin gözle ayırt edilebilir bir belirti olmamakla birlikte, ana süreksizlik yüzeylerinde önemsiz bir renk değişimi gözükmemektedir.	Kayacın bozunduğuna ilişkin gözle ayırt edilebilir bir belirti olmamakla birlikte, ana süreksizlik yüzeylerinde önemsiz bir renk değişimi gözükmemektedir.
Süreksizlik yüzeylerindeki su durumu	4	4	4	4
Tanımlama (ISRM, 2007)	Süreksizlik yüzeyi nemli ancak su akışı yok	Süreksizlik yüzeyi nemli ancak su akışı yok	Süreksizlik yüzeyi nemli ancak su akışı yok	Süreksizlik yüzeyi nemli ancak su akışı yok
Hacimsel eklem sayısı (Jv) (Palmström, 1996)	19.8	21.75	16.26	11.5
Tanımlama (ISRM, 2007)	Küçük bloklar	Küçük bloklar	Küçük bloklar	Küçük bloklar
Kaya Kalite Göstergesi (% RQD) (Palmström, 2005)	60.5	55.63	69.35	81.25
Tanımlama (Deere, 1964)	Orta	Orta	Orta	İyi

GÜNEYCE TÜNELİ KAYA KÜTLELERİNİN MÜHENDİSLİK ÖZELLİKLERİ

Süreksizlik Özellikleri

Güneyce Tüneli sağ tüp giriş ve çıkış bölümleri boyunca yapılmış olan ölçümler ve gözlemler aracılığıyla bütün jeoteknik birimlere özgü temel süreksizlik takımları ile bu takımların özellikleri saptanmıştır, süreksizliklere özgü olan bu özellikler ISRM (2007)'nin tanımladığı kriterlere göre, Çizelge 2'de gösterilmiştir.

Güneyce Tünelinin Sağ Tüp Giriş ve Çıkış Bölümlerinin Kaya Kütlelerinin Sınıflandırılması ve Tünel Destek Sistemi Tasarımı

Uluslararası uygulamalarda, tünel için destek tasarımında, deneysel anlamda farklı türlerdeki kaya sınıflamalarından yararlanılmaktadır. Kullanılan bu kaya sınıflamalarında iki sayısal sınıflandırma mevcuttur. Sayısal sınıflandırma sistemlerinden birisi, "Tünel Destekleme Tasarımı İçin Kaya Kütlelerinin Mühendislik Sınıflaması (Barton vd.,1974)"dir. Bir diğeri ise güncel olan "Geliştirilmiş Deneyime dayalı RMR Sistemi ile Yenilikçi Tünel Tasarımı (Celada vd., 2014)"dir. Bazı Avrupa ülkelerinde kullanılmakta olan NATM (Yeni Avusturya Tünelcilik Metodu) kaya sınıflaması (ÖNORM-B2203, 1994) ise, tanımsal bir niteliğe sahiptir.

Bu çalışmada, RMR_{14} ve Q sistemlerine uygun olarak kaya kütle özellikleri bulunmuştur. Gereken destek sistemleri; Q, Q sisteminden elde edilen RMR_{89} ve NATM sınıflandırmaları temel alınarak önerilmiştir. Ayrıca, RMR_{14} 'ün destek sistemi tasarımı kullanılmıştır.

Q Sınıflama Sistemi

Bu çalışmada, Güneyce Tüneli sağ tüp giriş ve çıkış bölümleri boyunca bulunan bütün jeoteknik birimlere özgü Q değeri sınıflaması için gereken değişkenler değerlendirilerek her birimin Q değerleri farklı olarak hesaplanmıştır. G ve K1 jeoteknik birimler "zayıf kaya", K2 ve K3 jeoteknik birimler de "orta kaya" olarak Barton vd. (1974)'e uygun olarak değerlendirilmiştir. Bütün jeoteknik birimlere özgü hesaplanan Q değerleri Çizelge 3'de gösterilmiştir.

Logaritmik ölçekte daha önce hazırlanan tünelin destek sistemine ait grafik ile saptanan Q değerine karşılık gelen Eşdeğer Boyut değeri (D_e), grafikte kesiştirilerek bütün jeoteknik birimlere özgü duvarlar ve tavan için önerilmiş olan destek sınıfları saptanmıştır.

Jeoteknik birimler için önerilen destek türleri, RMR ve Q kaya kütle sınıflamalarının ilişkileri Barton vd. (1974), Grimstad ve Barton (2002), Barton (2002) ve Barton ve Grimstad (2004) tarafından önerilmiş olan formüller ile saptanmıştır ve elde edilen sonuçlar Çizelge 4'te gösterilmiştir. Ayrıca Kumar vd. (2004) tarafından önerilen (3) numaralı eşitlik ile Q sisteminden RMR_{89} puanı elde edilmiştir.

$$RMR_{89} = 6.4 \ln Q + 50 \quad (3)$$

Burada; RMR_{89} : Kaya Kütle Sınıflama Sistemi, Q: Q Kaya Kütle Sınıflama Sistemidir.

Furat, Bulut

Çizelge 3. Jeoteknik birimlerin Q kaya kütle sınıflamasına göre değerlendirilmesi.

Table 3. Evaluation of the geotechnical units according to Q rock mass classification.

	G Jeoteknik Birimi	K1 Jeoteknik Birimi	K2 Jeoteknik Birimi	K3 Jeoteknik Birimi
RQD (Kaya Kalite Göstergesi)	60.5	55.63	69.4	81.3
Tanımlama (Deere, 1964)	Orta	Orta	Orta	İyi
Jn (Eklem takım sayısı)	15	12	15	12
Tanımlama (Barton vd., 1974)	Dört veya daha fazla eklem takımı, geliş güzel, çok fazla sayıda, küp şeker görünümünde	Üç eklem takımı ve gelişigüzel eklemler	Dört veya daha fazla eklem takımı, geliş güzel, çok fazla sayıda, küp şeker görünümünde	Üç eklem takımı ve gelişigüzel eklemler
Jr (Eklem pürüzlülük sayısı)	1.5	1.5	3	3
Tanımlama (Barton vd., 1974)	Pürüzlü veya düzensiz, düzlemsel	Pürüzlü veya düzensiz, düzlemsel	Pürüzlü veya düzensiz, dalgalı	Pürüzlü veya düzensiz, dalgalı
Ja (Eklem yüzeyi bozunma sayısı)	1	1	1	1
Tanımlama (Barton vd., 1974)	Bozunmamış eklem yüzeyleri, yalnızca yüzeysel kirlenme	Bozunmamış eklem yüzeyleri, yalnızca yüzeysel kirlenme	Bozunmamış eklem yüzeyleri, yalnızca yüzeysel kirlenme	Bozunmamış eklem yüzeyleri, yalnızca yüzeysel kirlenme
Jw (Eklem suyu azaltma faktörü)	1	1	1	1
Tanımlama (Barton vd., 1974)	Kuru kazılar ya da küçük sızma, örneğin yerel olarak < 5 lt/dk	Kuru kazılar ya da küçük sızma, örneğin yerel olarak < 5 lt/dk	Kuru kazılar ya da küçük sızma, örneğin yerel olarak < 5 lt/dk	Kuru kazılar ya da küçük sızma, örneğin yerel olarak < 5 lt/dk
SRF (Gerilme azaltma faktörü)	2.5	2.5	2.5	2.5
Tanımlama (Barton ve Grimstad, 1994)	Kil içermeyen dayanımlı kayada tek bir makaslama zonu, (kazı derinliği >50 m)	Kil içermeyen dayanımlı kayada tek bir makaslama zonu, (kazı derinliği >50 m)	Kil içermeyen dayanımlı kayada tek bir makaslama zonu, (kazı derinliği >50 m)	Kil içermeyen dayanımlı kayada tek bir makaslama zonu, (kazı derinliği >50 m)
RQD/Jn (Blok boyutu)	4.03	4.63	4.62	6.77
Jr/Ja (Bloklar arası kayma direnci)	1.5	1.5	3	3
Jw/SRF (Aktif gerilme)	0.4	0.4	0.4	0.4
Q (RQD/Jn) x (Jr/Ja) x (Jw/SRF)	2.41	2.77	5.54	8.12
Kaya sınıfı (Barton vd., 1974)	Zayıf	Zayıf	Orta	Orta

Çizelge 4. Q kaya kütle sınıflamasına göre jeoteknik birimler için önerilen destek türleri ve RMR_{89} değeri arasındaki ilişki.

Table 4. Proposed support types for the geotechnical units according to Q rock mass classification and relationship between Q and RMR_{89} value.

	G Jeoteknik Birimi	K1 Jeoteknik Birimi	K2 Jeoteknik Birimi	K3 Jeoteknik Birimi
Kazı genişliği (m)			14	
Kazı yüksekliği (m)			9	
Kazı destek oranı (ESR)			1	
Kazı tipi			Tünel portalı	
D_e (Eşdeğer boyut) Kazı genişliği / Kazı destek oranı			14 / 1 = 14	
B_{max} (m) (Tavan ve duvar için desteksiz kalabilecek en büyük açıklık)	2.84	3.00	3.96	4.62
Q (tavan)	2.41	2.77	5.54	8.12
Q_w (duvar)	6.05	6.92	13.85	20.30
P tavan (kg/cm^2) (Kalıcı tavan destek basıncı)	0.99	0.94	0.37	0.33
P duvar (kg/cm^2) (Kalıcı duvar destek basıncı)	0.73	0.69	0.27	0.24
Tavan bulonları uzunluğu (m)			4.1	
Duvar bulonları uzunluğu (m)			3.35	
E_m (GPa) (Kaya kütleinin deformasyon modülü) (Barton, 2002)	15.28	17.18	20.23	20.39
Destekleme sınıfı	5	5	4	4
	Kaya bulonlu, çelik kafes takviyeli 5-9 cm kalınlığında püskürtme beton (Sfr+B)			
	Sistemik kaya bulonlama ve 4-10 cm kalınlığında donatsız püskürtme beton (B+S)			
RMR_{89} (Kumar vd., 2004)	55.62	56.52	60.95	63.40

RMR_{14} (Rock Mass Rating) Sınıflama Sistemi

Bu çalışmada, Güneyce Tüneli sağ tüp giriş ve çıkış bölümleri boyunca bulunan bütün jeoteknik birimlere özgü RMR_{14} sınıflamasında gereken bütün esaslar değerlendirilerek RMR_{14} değerleri her birim için farklı olarak hesaplanmıştır (Çizelge 5). RMR 'nin daha önceki versiyonlarından süreksizlik aralığı ve RQD

parametreleri için Bieniawski (1989) ve ISRM (1981) tarafından çeşitli grafikler hazırlanmıştır. Ancak RQD'nin belirlenmesi çoğu zaman kolay olmamıştır. RMR_{89} 'daki RQD zorluklarından dolayı RMR_{14} 'te 'bir metredeki süreksizlik sayısı' eklenmiştir. Bu parametre RMR_{89} 'un süreksizlik açıklığı parametresini kapsamaktadır. RMR_{14} 'e yeni eklenen bir parametre ise kayaçların altere

olabilirlik yüzdesidir ve bu parametre ASTM D4644-87 standartlarına göre yapılan Slake Durability (I_d) deneyi verisine dayandırılmıştır (Celada vd., 2014).

RMR₁₄'ün kaya kütlesi sınıflamasından yararlanılarak ortaya çıkan temel RMR puanı elde edilmiştir, bu temel RMR puanın hesaplanmasından sonra ilk olarak tünel güzergahındaki süreksizliklerin eğim ve eğim yönü etkisine (F_0) göre düzeltmeler yapılmaktadır. Gerilme-deformasyon davranışı (F_s) ve kazı metodu (F_c) düzeltmeleri, süreksizliklerin yönelimleri (F_0) düzeltmesinin bir sonraki aşamasıdır. Gerilme-deformasyonu davranışı ve kazı metodu düzeltmelerinin yapılması sırasında çeşitli eşitliklerden yararlanılmaktadır. Düzeltilmiş RMR₁₄ puanı hesaplandıktan sonra bütün jeoteknik birimler için farklı destek sınıfları belirlenmiştir (Çizelge 6).

RMR₁₄ puanı hesaplandıktan sonra sıra destek sistemi tasarımına gelmektedir ve bunun için birçok abak ve grafik vardır. İlk olarak kaya yükünün bulunması gerekmektedir. Kaya yükünün bulunması için RMR puanı ve kazı açıklığı değişkenleri kullanılmaktadır (Lawson, 2013). Kazı açıklığıyla ilişkili olan desteklenecek kaya yüksekliğinin belirlenmesi RMR₁₄'ün bize getirdiği en son yeniliklerden birisidir. Buradaki en önemli nokta bu abaklardaki kaya yükünün yerçekiminin kontrolünde olduğu ve aşırı gerilmenin bulunmadığı alanlarda kullanılabilir olmasıdır. Bir diğer destek sistemi için kullanılan parametre Bieniawski (1989)'nin önerdiği desteksiz durma süresidir. Lawson'nun 2013 yılında önerdiği bulon aralıklarının saptanması diğer destek sistemi belirlediğimiz husustur. Burada püskürtme betonunun kemerlenmeyi tek başına muhafaza edemediği durumlarda, bulon aralıklarının belirlenmesi gerekmektedir. Çatlak sıklığını ve bulonlar ile kaya arasındaki

uygun desteğin sağlanacağı püskürtme betonun kalınlığının ve özelliklerinin iyi belirlenmesi, bulonlar arasındaki mesafe seçiminde dikkat edilecek en önemli husustur. RMR₁₄ sisteminin getirmiş olduğu bir başka yenilik ise bulonların taşıyacakları yük kapasitesi için hazırlanan grafiklerdir. Grafikte kullanılacak bulon türünün 25 tonluk kuvvete dayanabilecek kapasiteye ve 25 mm çapa sahip olması buradaki en önemli noktadır. Lawson (2013) tarafından önerilen püskürtme beton dayanımı, bulonların kullanılması ile alakalı bütün özelliklerin saptanmasından sonra yapılmaktadır. Püskürtme beton ile bulon dayanımı kapasiteleri ve açıklık-RMR ilişkisinden yararlanılarak püskürtme beton kalınlığının belirlenmesi ise destek sistemimizin son elemanıdır. Her bir jeoteknik birimlere özgü önerilmiş olan destek türleri Çizelge 6'da bulunmaktadır.

Yeni Avusturya Tünel Açma (NATM) Yöntemine Temel Oluşturan Sınıflama Sistemi

Bu çalışmada, kaya kütlelerinin sınıflandırılması, Güneyce Tüneli sağ tüp giriş ve çıkış bölümünde bulunan bütün jeoteknik birimler için ayrı hesaplanmış olan Q ve Kumar vd.'nin 2004 yılında yayınladıkları 3 numaralı eşitlik kullanılarak elde edilen RMR₈₉ değerlerinin NATM sınıflamasıyla beraber değerlendirilmesi ile yapılmıştır. ÖNORM B2203 (1994)'a uygun olarak Q sisteminden elde edilen verilere göre, G ve K1 jeoteknik birimi "B2 Sınıfı", K2 ve K3 jeoteknik birimleri de "B1 Sınıfı" olarak, RMR₈₉ sisteminden elde edilen verilere göre ise G ve K1 jeoteknik birimi "B2 Sınıfı", K2 ve K3 jeoteknik birimleri de "B1 Sınıfı" olarak belirlenmiştir. NATM'a göre her bir jeoteknik birimlere özgü önerilmiş olan destek elemanları Çizelge 7'de verilmiştir.

Çizelge 5. Jeoteknik birimlerin RMR_{14} kaya kütle sınıflamasına göre değerlendirilmesi.

Table 5. Evaluation of the geotechnical units according to RMR_{14} rock mass classification.

	RMR_{14}	G Jeoteknik Birimi	K1 Jeoteknik Birimi	K2 Jeoteknik Birimi	K3 Jeoteknik Birimi
Kaya Malzemesinin Dayanımı (MPa)		148.06	182.94	149.41	104.35
	Puan	10.80	12.43	10.83	8.57
Bir Metredeki Süreksizlik Sayısı (I)		7.63	3.51	3.00	2.20
	Puan	23.52	28.50	29.17	30.52
Devamlılık (m)		>10	>10	>10	>10
	Puan	0	0	0	0
Süreksizlik Durumu	Pürüzlülük	Pürüzlü	Pürüzlü	Pürüzlü	Pürüzlü
	Puan	3	3	3	3
Dolgu		Yumuşak <5mm	Sert <5 mm	Yumuşak <5mm	Sert <5 mm
	Puan	2	5	2	5
Bozunma		Bozunmamış	Bozunmamış	Bozunmamış	Bozunmamış
	Puan	5	5	5	5
Su Durumu		Nemli	Nemli	Nemli	Nemli
	Puan	10	10	10	10
Altere Olabilirlik (%)		>85	>85	>85	>85
	Puan	10	10	10	10
Temel RMR_{14}		64.32	73.93	70	72.09
Süreksizlik Eğim ve Eğim Yönü Etkisi (F_0)		-5	-5	-5	-5
Kazı metodu (F_1)		1.12	1.09	1.10	1.09
Gerilme-Deformasyon Davranışı (F_2)		1	1	1	1
RMR_{14}		66.55	74.92	71.5	73.32

Çizelge 6. RMR_{14} değerleri için önerilen destek türleri.

Table 6. Recommended support types for RMR_{14} values.

	RMR_{14}	G Jeoteknik Birimi	K1 Jeoteknik Birimi	K2 Jeoteknik Birimi	K3 Jeoteknik Birimi
Destek Sisteminin Tasarımı	Kaya Yüku (MPa)	0.16	0.12	0.14	0.13
	Desteklenecek Kaya Zonunun Kalınlığı (m)	6.18	4.71	5.10	4.90
	Desteksiz Durma Süresi (gün)	41	334	165	270
	Bulonların Ara Mesafesi (m)	2.29	2.61	2.48	2.55
	Bulon Uzunluğu (m)	6.77	5.19	5.77	5.46
	Bulon Tasarım Kapasitesi (kN)	143.81	155.80	151.29	153.75
	Püskürtme Beton Dayanımı (MPa)	12.69	14.37	13.67	14.04
	Püskürtme Beton Kalınlığı (ihsasız) (mm)	89.28	52.28	61.11	58.33
	Püskürtme Beton Kalınlığı (mm)	89.58	59.37	69.79	64.58

Jeolojik Dayanım İndeksi (GSI) Sınıflama Sistemi

Bu çalışmada Güneyce Tüneli sağ tüp giriş ve çıkış bölümlerindeki jeoteknik birimleri teşkil eden kaya kütlelerinin jeolojik dayanım indeksi (GSI) (Hoek vd., 2013) sınıflama sistemi kullanılmıştır. Jeoteknik birimlere özgü Jeolojik Dayanım İndeksi değerleri, Hoek vd. (2013)'nin

önerdiği eşitlikler ve grafikler ile saptanmıştır. Bulunan değerler Çizelge 8'de verilmiştir ve Hoek vd. (2013) GSI tanımlama parametresi gereğince tanımlanmıştır. Hoek vd. (2013)'e göre G ve K1 jeoteknik birimi "Çok Bloklu", K2 ve K3 jeoteknik birimi de "Bloklu" olarak sınıflandırılmıştır.

Çizelge 7. Jeoteknik birimlerin NATM kaya kütle sınıflamasına göre değerlendirilmesi ve önerilen destek türleri.

Table 7. Evaluation of the geotechnical units according to NATM rock mass classification and recommended support types.

RMR ₁₄	G Jeoteknik Birimi	K1 Jeoteknik Birimi	K2 Jeoteknik Birimi	K3 Jeoteknik Birimi
Q (RQD/Jn) x (Jr/Ja) x (Jw/SRF)	2.41	2.77	5.54	8.12
Kaya sınıfı (Barton vd., 1974)	Zayıf	Zayıf	Orta	Orta
NATM kaya sınıfı (ÖNORM B 2203, 1994)	B2 / Çok Kırılgan		B1 / Kırılgan	
NATM'a göre destek elemanları	Tünel tavan ve duvarlarında sistematik destekleme gereklidir. Gerektiğinde tavanda süren kullanılacaktır.		Sınırlı bölgelerde sistematik destekleme yapılmalıdır. Lokal olarak ön destekleme gerekebilir.	
RMR ₈₉ (Kumar vd., 2004)	55.62	56.52	60.95	63.40
Kaya sınıfı (Bieniawski, 1989)	Orta	Orta	Orta	İyi
NATM kaya sınıfı (ÖNORM B 2203, 1994)	B2 / Çok Kırılgan		B1 / Kırılgan	
NATM'a göre destek elemanları	Tünel tavan ve duvarlarında sistematik destekleme gereklidir. Gerektiğinde tavanda süren kullanılacaktır.		Sınırlı bölgelerde sistematik destekleme yapılmalıdır. Lokal olarak ön destekleme gerekebilir.	

Çizelge 8. Jeoteknik birimlere ait Jeolojik Dayanım İndeksi hesapları ve tanımlaması.

Table 8. Geological Strength Index calculations and identification of the geotechnical units.

	G Jeoteknik Birimi	K1 Jeoteknik Birimi	K2 Jeoteknik Birimi	K3 Jeoteknik Birimi
1.5 JCond ₈₉	31.2	31.2	39	39
RQD/2	30.25	27.81	34.67	40.62
GSI	61.45	59.01	73.67	79.62
Tanımlama (Hoek vd., 2013)	Çok Bloklü	Çok Bloklü	Bloklü	Bloklü

SONUÇ VE ÖNERİLER

Ülkemiz tünelciliğinde yaygın olarak kullanılan Q sistemi ve RMR_{89} kaya kütle sınıflama sistemleri kendi içlerinde ön destek sınıflarını belirleyebileceğimiz kaya kütle sınıflama sistemleridir. Q sistemi ve RMR_{89} sınıflama sistemlerinden elde edilen sonuçlardan geçiş yapılarak ulaştığımız NATM destekleme sistemi; makineli kazı veya delme patlatma metodu ile kazılan şehir ve dağ tünelciliğinin neredeyse hepsinde kullanılmıştır. Ancak gerek Q ve/veya RMR_{89} sistemlerinden elde edilen ön destek sistemleri, gerekse NATM destekleme sistemleri geçmişten günümüze kadar kullanılmış olsa bile, gerçekte çok doğru çözümler üretmemektedir. Destek sisteminin yetersiz kaldığı durumlarda göçmelere sebep olabilir, can ve mal kayıplarına yol açabilir.

Tünel jeolojisinin iki önemli parametresi olan gerilme-deformasyon ve tünel açıklığı Q sistemi ve RMR_{89} aksine RMR_{14} sisteminde kullanılmış ve alışlagelmiş sistemlerinden bir farklılık yaratmıştır. Bu nedenle RMR_{14} sisteminin yeni parametre ve düzeltmeleri sayesinde elde edilen sonuçlar tünel açıklığı ile destek sınıfı belirlenerek her bir RMR puanı için ayrı sonuçlar vermiştir. Özellikle gerilme-deformasyon davranışı düzeltilmesi hesaplanırken, ilk olarak yatay ilksel gerilmenin düşey ilksel gerilmeye oranı hesabına göre elastik davranış indeksi (ICE) parametresi belirlenmiştir. Bu düzeltme de bizlere yeni tünel jeolojisine yeni bir bakış açısı sağlamaktadır.

Geçmişten günümüze kadar gelen kaya kütle sınıfları sadece birbirinin türevleri olduğunu unutmamız gerekmektedir. Bu yüzden daha efektif bir sonuca varmak için kaya kütle sınıflamaları ile elde edilen ön destek sistemlerinin tünel en kesitlerinin her adımında elde edilen jeomekanik parametreler ile bilgisayar

ortamında iki veya üç boyutlu programlar yardımıyla nümerik analizlerle desteklenmelidir. Kazı öncesi ve sonrası tünel duvarları ve tepe noktasında ki plastik zon kalınlığı ile yer değiştirmeler incelenerek destek sisteminin yeterli olup olmadığına karar verilmelidir.

Bu çalışmada ise, Rize-İspir Karayolu güzergâhı üzerinde bulunan ve inşaatı süren Güneyce Tüneli'nin sağ tüp giriş ve çıkış bölümlerinde mühendislik jeolojisine ait incelemeler ve farklı kaya sınıflama yöntemleri ile önerilen tünel destek tipleri vurgulanmaktadır.

Çalışma alanı ve çevresinde bulunan birimlerin tanınması ve jeolojik modelin yapılabilmesi için 1/100.000 ölçekli genel jeoloji haritası ve 1/100 ölçekli olan tünel içinin jeoloji haritası hazırlanmıştır.

Çalışma alanındaki kayalar, litostratigrafik sınıflama ve isimlendirme kuralları (NACS, 1983) doğrultusunda tanımlanmış ve yaşlıdan gence doğru Üst Kretase yaşlı Çatak formasyonu, Üst Kretase yaşlı Kızılkaya formasyonu, Üst Kretase yaşlı İkizdere Granitoyidi, Kuvaterner yaşlı alüvyonlar ve yamaç molozları şekilde birimler sıralanmıştır.

Tünel güzergâhında yer alan kayalar jeoteknik, litolojik, mineralojik ve fiziko-mekanik özelliklere göre sınıflandırılarak dört farklı jeoteknik birime ayrılmıştır. Bunlar, İkizdere Granitoyidi'nden oluşan G jeoteknik birimi ve Kızılkaya formasyonu'ndan K1, K2 ve K3 jeoteknik birimi olarak isimlendirilmiştir.

Tünel güzergâhında yer alan jeoteknik birimlerden alınan kaya malzemelerine ait fiziko-mekanik ve elastik özellikler laboratuvar ortamında yapılmış olan deneyler ile saptanmıştır.

Güneyce Tüneli boyunca yapılmış olan hat etüdü çalışmaları ile jeoteknik birimlere özgü süreksizliklerin özellikleri ve yeraltı

suyunun mevcut durumu araştırılmıştır ve kaya kütlelerine ait Kaya Kalite Değeri (RQD) değerleri saptanmıştır.

Güneyce Tüneli'ndeki kaya kütleleri Q, RMR₁₄, NATM ve GSI kaya kütleleri sınıflandırma sistemlerine göre sınıflandırılmıştır. Q ve RMR₁₄ kaya kütle sınıflama sistemleri kullanılarak çeşitli ön destek sistemleri belirlenmiştir.

KAYNAKLAR

- Akbaş, B., Akdeniz, N., Aksay, A., Altun, İ., Balcı, V., Bilginer, E., Bilgiç, T., Duru, M., Ercan, T., Gedik, İ., Günay, Y., Güven, İ.H., Hakyemez, H. Y., Konak, N., Papak, İ., Pehlivan, Ş., Sevin, M., Şenel, M., Tarhan, N., Turhan, N., Türkecan, A., Ulu, Ü., Uğuz, M.F., Yurtsever, A. ve diğerleri, 2016. Türkiye Jeoloji Haritası Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Yayını. Ankara Türkiye. Değiştirilmiş.
- ANON, 1976. Engineering geological maps, a guide to their preparation, UNESCO Publishing House, Paris, 79.
- ASTM (American Society for Testing and Materials), 1980. Annual Book of ASTM Standards, Natural Building Stones, Soil and Rock, Part 19, ASTM Publication, 634.
- Barton, N., Lien, R., Lunde, J., 1974. Engineering classification of rock masses for the design of tunnel support. *Rock Mechanics*, 6, 189-239.
- Barton, N., Grimstad, E., 1994. The Q-System following twenty years of application in NTM Support Selection, *Felsbau*, 428-436.
- Barton, N., 1995. The Influence of joint properties in modelling jointed rock masses, Keynote Lecture, Proceedings 8th ISRM Congress, Tokyo, 3, Balkema, Rotterdam, 1023-1032.
- Barton, N., 2002. Some New Q-Value correlations to assist in site characterization and tunnel design. *International Journal Rock Mechanics Mining Science*, 39, 185- 216.
- Bieniawski, Z. T., 1989. Engineering rock mass classifications. Wiley, New York, 238.
- Bulut, F., 1989. Çambaşı (Çaykara-Trabzon) Barajı ve Hidroelektrik Santral yerlerinin mühendislik jeolojisi açısından incelenmesi. Doktora Tezi, KTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Celada, B., Tardaguila, I., Varona, P., Rodriguez A., Bieniawski, Z.T., 2014. Innovating tunnel design by an improved experience-based RMR system. *World Tunnel Congress 2014, Iguassu Falls Brazil*.
- Dearman W. R., 1981. Engineering geology of carbonate rocks, Symposium on Engineering Geological Problems of Construction on Soluble Rocks, General Report, Session 1, United Kingdom, 24, 3-17.
- Deere, D.U., 1964. Technical description of rock cores for engineering purposed, *Rock Mechanics Rock Engineering*, 1, 17-22.
- Grimstad, E., Barton, N., 2002. Updating the Q-System for NMT. Proceedings International Symposium on Sprayed Concrete-Modern Use of Wet Mix Sprayed Concrete for Underground Support, Oslo, Norwegian Concrete Association, 44-66.
- Güven, İ. H., 1993. Doğu Pontidlerin 1/25 000 Ölçekli Jeolojisi ve Komplikasyonu, MTA, (Ankara) Yayınlanmamış.
- Hoek, E., Carter, T.G., Diederichs, M.S., 2013. Quantification of the Geological Strength Index Chart, USA.
- ISRM (International Society for Rock Mechanics), 1976. Engineering geological maps. The UNESCO Press, 15, 78.
- ISRM (International Society for Rock Mechanics), 1981. ISRM Suggested Methods, Rock Characterization, Testing and Monitoring, E. T. Brown (Ed), Pergamon Press London, 211.
- ISRM (International Society for Rock Mechanics), 2007. The Complete ISRM Suggested Methods for Rock Characterization, Testing and Monitoring, eds: Ulusay R., J.A. Hudson, Kazan Offset Pres, Ankara, 628 s.

- Kanık, M., 2015. Maçka (Trabzon) Tüneli destek sistemlerinin görgül ve sayısal analizi. Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- Kaya, A., 2008. Konakönü (Araklı-Trabzon) Tüneli sol tüp giriş portalının jeoteknik açıdan incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, KTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Kaya, A., 2012. Cankurtaran (Hopa-Artvin) tünel güzergahının ve çevresinin jeoteknik açıdan incelenmesi. Doktora Tezi, KTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Kumar, N., Samadhiya, N.K., Anbalagan, R., 2004. Application of rock mass classification system for tunneling in Himalaya, India. International Journal of Rock Mechanics Mining Science, 41 (3), 531. SINOROCK2004 Symposium, Paper 3B 14.
- Lawson, A., Bieniawski, Z.T. 2013. Critical assessment of RMR-based tunnel design Practices: A practical Engineer's Approach. In: Proceedings. RETC 2013. Washington, DC: Society of Mining Engineers, p. 180-198.
- NACS (North American Commission On Stratigraphy), 1983. The American Association of Petroleum Geologists Bulletin, 67(5), 841-875.
- ÖNORM B2203, 1994. Untertagebauarbeiten Werkvertragsnorm, Österreichischer Normen, Österreich.
- Palmström, A., 1996. RMI-A System for rock mass strength for use in rock engineering. Journal of Rock Mechanics and Tunneling, Technique, India, L-2, 69-108.
- Palmström, A., 2005. Measurements of and correlations between block size and rock quality designation (RQD). Tunnels and Underground Space Technology, 20, 326-377.
- Şans, G., 2005. Karadeniz Sahilyolu Projesi Hapan Tünel güzergahının mühendislik jeolojisi ve jeomekanik değerlendirmesi. Yüksek Lisans Tezi, İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- TSE, 2009. TS 699, Doğal Yapı Taşları – İnceleme ve Laboratuvar Deney Yöntemleri, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TSE, 2013. TS EN 1926, Doğal Taşlar - Deney Yöntemleri - tek eksenli basınç dayanımı tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Yılmaz, Z., 2017. Boztepe Tüneli (Ordu Çevre Yolu Projesi) kazı çalışmaları sırasında meydana gelen aşırı sökülme süreksizlik düzlemlerinin etkisi. Yüksek Lisans Tezi, YYÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Van.
- Youash, Y. Y., 1970. Dynamic physical properties of rock, Proceedings 2nd Congress International Society, Rock, Mechanics, Belgrade, Part -1, Theory and Procedure, 171 -183.