

T.C.
RECEP TAYYİP ERDOĞAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**T3 TÜNELİ (PEHLİVANTAŞI-RİZE) GÜZERGÂHINDAKİ KAYA
KÜTLELERİNİN KAZILABİLİRLİK AÇISINDAN İNCELENMESİ**

SEYFULLAH AK

TEZ DANIŞMANI
DOÇ. DR. AYBERK KAYA
TEZ JÜRİLERİ
PROF. DR. ORHAN KARSLI
PROF. DR. AYKUT AKGÜN

YÜKSEK LİSANS TEZİ
JEOLojİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

RİZE-2019

Her Hakkı Saklıdır

T.C.
RECEP TAYYİP ERDOĞAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**T3 TÜNELİ (PEHLİVANTAŞI-RİZE) GÜZERGÂHINDAKİ KAYA
KÜTLELERİNİN KAZILABİLİRLİK AÇISINDAN İNCELENMESİ**

Doç. Dr. Ayberk KAYA danışmanlığında, Seyfullah AK tarafından hazırlanan bu çalışma, Enstitü Yönetim Kurulu kararıyla oluşturulan jüri tarafından 11/03/2019 tarihinde Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS** tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri	Unvanı Adı Soyadı
Başkan	: Doç. Dr. Ayberk KAYA
Üye	: Prof. Dr. Orhan KARSLI
Üye	: Prof. Dr. Aykut AKGÜN

İmzası

A. Kaya
Orhan Karşlı
A. Akgün


Doç. Dr. Ferhat KALAYCI
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRÜ

ÖNSÖZ

Bu çalışma Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlanmıştır.

Tez danışmanı olarak çalışmanın tüm aşamasında bilgi ve desteğini esirgemeyen, çalışmanın gerçekleştirilmesi için gerekli ortamı hazırlayarak karşılaşılan güçlüklerin aşılmasında yol gösterici olan Doç. Dr. Ayberk KAYA'ya şükranlarımı sunarım. Yüksek lisans tez jürisinde yer alarak katkıda bulunan Prof. Dr. Aykut AKGÜN'e teşekkür ederim.

Bu çalışmanın yürütülmesinde desteğini gördüğüm Karayolları Genel Müdürlüğü (KGM) 10. Bölge Müdürlüğü'ne sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Çalışma sırasında göstermiş olduğu yardımlardan dolayı AKM Yapı Taah. San. Tic. A.Ş.'ye, tünel şefi Adem DEMİR'e, Jeoloji Müh. Fatih Cengiz DİLSİZ'e ve Jeoloji Müh. Mehdi İLHAN'a şükranlarımı sunarım.

Tez çalışması sırasında her zaman yanımda olan ve desteğini benden esirgemeyen çok kıymetli aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Seyfullah AK

TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Tarafımdan hazırlanan “T3 Tüneli (Pehlivantaşı-Rize) Güzergâhındaki Kaya Kütlelerinin Kazılabilirlik Açısından İncelenmesi” başlıklı bu tezin, Yükseköğretim Kurulu Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Yönergesindeki hususlara uygun olarak hazırladığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal işlemi kabul ettiğimi beyan ederim. 11/03/2019



Seyfullah AK

Uyarı: Bu tezde kullanılan özgün ve/veya başka kaynaklardan sunulan içeriğin kaynak olarak kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

ÖZET

T3 TÜNELİ (PEHLİVANTAŞI-RİZE) GÜZERGÂHINDAKİ KAYA KÜTLELERİNİN KAZILABİLİRLİK AÇISINDAN İNCELENMESİ

Seyfullah AK

Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı
Yüksek Lisans Tezi
Danışmanı: Doç. Dr. Ayberk KAYA

Bu çalışmada, T3 Tüneli (Pehlivantaşı-Rize) güzergâhında bulunan kaya kütlelerinin kazılabilirlik karakteristikleri araştırılmıştır. Arazi, laboratuvar ve analiz çalışmaları olmak üzere yapılan çalışmalar sırasıyla üç aşamada gerçekleştirilmiştir. Süreksizliklerin mühendislik özelliklerini belirlemek için sondajlardan ve hat etüdü çalışmalarından yararlanılmış ve ISRM ölçütlerine göre tanımlanmıştır. Kayaç örneklerinin fiziksel ve mekanik özelliklerini belirlemek için laboratuvar deneyleri yapılmıştır. Elde edilen veriler kullanılarak GSI sistemine göre kaya kütleleri tanımlanmıştır. Son aşamada, Pettifer ve Fookes ile Tsiambaos ve Saroglou tarafından önerilen kazılabilirlik yöntemlerine göre kaya kütleleri sınıflandırılarak kazılabilirlik özellikleri saptanmıştır. Kaya kütlelerinin Pettifer ve Fookes'a göre zor kazılabilir ve kolay sökülebilir; Tsiambaos ve Saroglou'a göre ise kazılabilir ve sökülebilir özellikte olduğu saptanmıştır. Her iki sınıflamaya göre yapılan değerlendirmenin birbirleriyle uyumluluk sağladığı belirlenmiştir. Buna göre sökme işlemi için hidrolik kırıcı, kazma işlemi için ise kepçe kullanılması gerekmektedir. Ancak, tünellerde günlük kazı ilerleme hızının yüksek olması istenildiğinden sökme işleminin hidrolik kırıcı yerine kontrollü patlatma yapılarak yürütülmesi önerilmektedir.

2019, 55 sayfa

Anahtar Kelimeler: Kazılabilirlik Sınıflama Sistemleri, T3 Tüneli, Yeraltı Kazıları

ABSTRACT

INVESTIGATION OF THE EXCAVATABILITY PROPERTIES OF THE ROCK MASSES ALONG THE T3 TUNNEL (PEHLİVANTAŞI-RİZE)

Seyfullah AK

**Recep Tayyip Erdoğan University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Geological Engineering
Master Thesis
Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Ayberk KAYA**

In this study, the excavatability properties of the rock masses along the T3 tunnel (Pehlivan-taş-Rize) alignment were investigated. The engineering geological studies were carried out in three stages as field investigation, laboratory and analyses studies. In order to determine the quantitative descriptions of the discontinuities in rock masses considering the ISRM suggested method, the borehole studies and scanline-surveys were utilized. Laboratory studies were carried out in order to determine the physico-mechanical properties of the intact rocks. In evaluation stage, the rock masses were classified according to the GSI system using the data obtained from field and laboratory studies. Finally, the rock masses were classified according to the excavatability classification systems suggested by Pettifer and Fookes and Tsiambaos and Saroglou, and excavatability characteristics were defined. According to classification of Pettifer and Fookes, the rock masses are hard diggable and easy rippable; diggable and rippable according to Tsiambaos and Saroglou. It was concluded that both methods are compatible with each other. If these results take into account, it is suitable using the hydraulic breaker in ripping process and face shovel in digging process. However, because high daily excavation rate is required in underground excavations, it is suggested to use controlled blasting instead of hydraulic breaker.

2019, 55 pages

Keywords: Excavatability Classification Systems, T3 Tunnel, Underground Excavations

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	I
TEZ ETİK BEYANNAMESİ.....	II
ÖZET	III
ABSTRACT.....	IV
İÇİNDEKİLER	V
ŞEKİLLER DİZİNİ	VII
TABLolar DİZİNİ.....	IX
SEMBOLLER ve KISALTMALAR DİZİNİ	XI
1. GENEL BİLGİLER	1
1.1. Giriş	1
1.2. Çalışmanın Amaç ve Kapsamı	2
1.3. Çalışma Alanının Tanıtılması.....	3
1.4. İklim ve Bitki Örtüsü.....	3
1.5. Sosyo-Ekonomik Bilgiler	4
1.6. Jeomorfoloji.....	4
1.7. Bölgesel Jeoloji.....	5
1.8. Hidrolojik ve Hidrojeolojik Özellikler	6
1.9. Deprem Durumu	7
1.10. Kazılabilirlik Üzerine Literatür Çalışmaları.....	7
1.11. T3 Tünel Güzergâhında Yapılan Önceki Çalışmalar	8
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	9
3. BULGULAR	10
3.1. Tünel Güzergâhının Genel Jeolojisi	10
3.2. Mühendislik Jeolojisi Çalışmaları	13
3.2.1. Jeoteknik Araştırma Sondajları	13
3.2.2. Fiziko-mekanik ve Elastik Özellikler	18
3.2.3. Süreksizliklere Ait Özellikler	19
3.2.4. Kaya Kütlelerinin Sınıflandırılması.....	22
3.2.4.1. Kaya Kütle Puanlaması (RMR) Sistemi.....	22
3.2.4.2. Kaya Kütle Kalitesi (Q) Sistemi.....	27
3.2.4.3. Jeolojik Dayanım İndeksi (GSI) Sistemi	31

3.2.5.	Kaya Kütle �zellikleri.....	33
3.2.6.	Kaya Kütlelerinin Kazılabilirlik Sınıflama Sistemlerine Göre Değerlendirilmesi	37
4.	TARTIşMA ve SONUÇLAR	41
	KAYNAKLAR	43
	EKLER	47
	�ZGE�MIř	55



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.	Çalışma alanına ait yer bulduru haritası	2
Şekil 2.	T3 Tüneli'nin giriş bölümü	3
Şekil 3.	Çağlayan Formasyonu'na ait Aglomeranın mevcut yol şevindeki görünümü	11
Şekil 4.	Tünel güzergâhı ve çevresine ait 1/10000 ölçekli jeoloji haritası ve tünel güzergâhının jeolojik kesiti (Güven, 1993'ten değiştirilerek)	12
Şekil 5.	SK-8 nolu araştırma sondajına ait karot sandıkları	14
Şekil 6.	SK-9 nolu araştırma sondajına ait karot sandıkları	15
Şekil 7.	SK-10 nolu araştırma sondajına ait karot sandıkları	16
Şekil 8.	SK-11 nolu araştırma sondajına ait karot sandıkları	17
Şekil 9.	Hat etüdü yönteminin kaya kütlesi aynalarında uygulanması (ISRM, 2007)	20
Şekil 10.	Kaya kütlelerinin içerdiği süreksizliklerin özelliklerini tanımlayan parametreleri gösteren blok diyagram (ISRM, 2007).....	21
Şekil 11.	RMR puanını hesaplama aşamalarını gösteren akış şeması (Bieniawski, 1989)	23
Şekil 12.	RMR sisteminin son versiyonundaki puanlama grafikleri (Bieniawski, 1989)	24
Şekil 13.	Hoek vd. (2013) tarafından önerilen sayısal GSI abağına göre kaya kütlelerinin değerlendirilmesi	32
Şekil 14.	SK-8 nolu sondajda kesilen kaya kütlesine ait (σ_1 - σ_3) ve (σ - τ) grafikleri	35
Şekil 15.	SK-9 nolu sondajda kesilen kaya kütlesine ait (σ_1 - σ_3) ve (σ - τ) grafikleri	35
Şekil 16.	SK-10 nolu sondajda kesilen kaya kütlesine ait (σ_1 - σ_3) ve (σ - τ) grafikleri	36
Şekil 17.	SK-11 nolu sondajda kesilen kaya kütlesine ait (σ_1 - σ_3) ve (σ - τ) grafikleri	36

Şekil 18. Kaya kütlelerinin Pettifer ve Fookes (1994) tarafından önerilen kazılabilirlik sınıflama sistemine göre değerlendirilmesi	39
Şekil 19. Kaya kütlelerinin Tsiambaos ve Saroglou (2009) tarafından önerilen kazılabilirlik sınıflama sistemine göre değerlendirilmesi ($I_s(50) < 3$ MPa)	40



TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo 1. Tünel güzergâhında yapılan sondajlara ait teknik bilgiler	17
Tablo 2. Karot örneklerine ait fiziksel, mekanik ve elastik özellikler.....	18
Tablo 3. SK 8-11 arasında yer alan kaya kütlelerindeki süreksizlik özelliklerinin ISRM (2007) tanımlama ölçütlerine göre değerlendirilmesi	21
Tablo 4. Kaya kütlelerine ait ortalama RQD ve J_v değerlerinin literatürdeki tanımlama ölçütlerine göre değerlendirilmesi.....	22
Tablo 5. RMR kaya kütle sınıflama sisteminin son versiyonu (Bieniawski, 1989)	24
Tablo 6. RMR sisteminde süreksizlik eğim ve doğrultusunun etkisi (Bieniawski, 1989)	25
Tablo 7. RMR sisteminde süreksizlik yönelimine göre düzeltme (Bieniawski, 1989)	25
Tablo 8. Patlatma ve başlıca zayıflık düzlemleriyle ilgili düzeltme katsayıları (Kondorski vd., 1983)	26
Tablo 9. RMR sınıflama sistemine göre kaya sınıfları ve puanları (Bieniawski, 1989)	26
Tablo 10. SK 8-11 arasındaki kaya kütlelerinin RMR sınıflama sistemine göre değerlendirilmesi.....	27
Tablo 11. Kaya kalite göstergesi - % RQD (Deere, 1964).....	28
Tablo 12. Süreksizlik takım sayısı - J_n (Barton vd., 1974)	28
Tablo 13. Süreksizlik pürüzlülük sayısı - J_r (Barton vd., 1974).....	29
Tablo 14. Süreksizlik yüzeyi bozunma sayısı - J_a (Barton vd., 1974)	29
Tablo 15. Süreksizlik suyu azaltma faktörü - J_w (Barton vd., 1974).....	30
Tablo 16. Gerilme azaltma faktörü - SRF (Barton ve Grimstad, 1994).....	30
Tablo 17. Q değerlerine göre kaya kütlelerinin sınıflandırılması (Barton vd., 1974)	31
Tablo 18. Kaya kütlelerinin Q kaya kütle sınıflama sistemine göre değerlendirilmesi.....	31

Tablo 19. Kaya kütlelerinin GSI sistemine göre değerlendirilmesi	33
Tablo 20. Kaya kütlelerinin ait kaya parametreler	34



SEMBOLLER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Assoc. Prof. Dr.	Associate Professor Doctor
cm	Santimetre
D	Örselenme Faktörü
Doç. Dr.	Doçent Doktor
E_i	Elastisite Modülü (GPa)
E_m	Deformasyon Modülü (GPa)
GSI	Jeolojik Dayanım İndeksi
I_f	Süreksizlik Aralık İndeksi
$I_{S(50)}$	Nokta Yüğü Dayanım İndeksi (MPa)
ISRM	International Society for Rock Mechanics
J_a	Süreksizlik Yüzeyi Bozunma Değeri
$J_{Cond_{89}}$	RMR Sistemi Süreksizlik Koşulu
J_n	Süreksizlik Takımı Sayısı
J_r	Süreksizlik Pürüzlülük Değeri
J_v	Hacimsel Eklem Sayısı
J_w	Süreksizlik Suyu Azaltma Faktörü
KGM	Karayolları Genel Müdürlüğü
KM	Kilometre
L	Sondaj İlerleme Uzunluğu
m	Metre
m_b, s ve a	Hoek-Brown Sabitleri
m_i	Kaya Malzemesi Sabiti
mm	Milimetre
n	İlerleme Aralığındaki Karot Parçalarının Sayısı
NACS	North American Commission on Stratigraphy
NX	54,7 mm. Çaplı Karot
°	Derece
Q	Kaya Kütle Kalitesi
RMR	Kaya Kütle Puanlaması
RQD	Kaya Kalite Göstergesi (%)
SRF	Gerilme Azaltma Faktörü

UTM	Universal Transverse Mercator
σ_{ci}	Kaya Malzemesinin Tek Eksenli Basınç Dayanımı (MPa)
σ_{cm}	Kaya Kütlesinin Tek Eksenli Basınç Dayanımı (MPa)
ν_m	Kaya Kütlesinin Poisson Oranı
σ_1	En Büyük Asal Gerilme (MPa)
σ_3	En Küçük Asal Gerilme (MPa)
$\sigma-\tau$	Normal ve Kayma Gerilmeleri
γ	Birim Hacim Ağırlık (kN/m ³)
%	Yüzde
ν_i	Kaya Malzemesinin Poisson Oranı
°C	Santigrat Derece

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Kazılabilirlik, kaya kütlelerinin bulundukları yerden kazıyıcı aletlerle nasıl koparılabildiklerinin, sökülebilirlik ise ripperli dozer ile nasıl sökülerek parçalanabileceğinin nispi olarak tanımlanmasıdır (Ceylanoglu vd., 2007). Yeraltı ve yerüstü kazı çalışmalarında doğru kazı ekipmanının ve yönteminin saptanması kaya kütlelerinin kazılabilirlik özellikleriyle doğrudan ilişkilidir. Kaya kütlelerinin kazılabilirliklerini saptamak maksadıyla yapılacak gerçekçi araştırmalar, mühendislik projelerinin uygulanabilirliğine katkıda bulunacaktır. Kayaların mühendislik özelliklerinin detaylıca araştırılması ve elverişli kazı metodunun tespiti, kazı sırasında karşılaşılabilecek sorunları ve inşaat maliyetini en aza düşürecektir (Kaya, 2012).

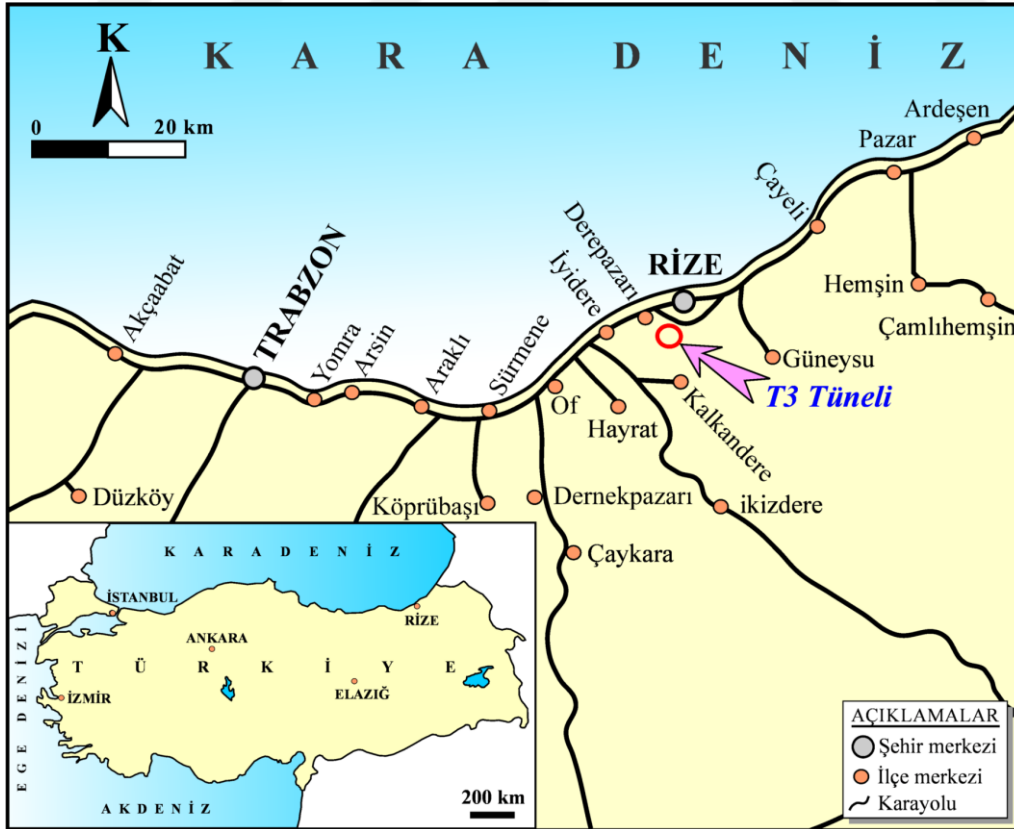
Bu sebeple araştırmacıların birçoğu, kayaçların hem malzeme ve hem de kütle özelliklerinden faydalanarak kazılabilirlik yeteneğini saptamaya yönelik birçok ön tasarım amaçlı görgül kazılabilirlik ve sökülebilirlik yöntemi geliştirmiştir (Franklin vd., 1971; Atkinson, 1971; Bailey, 1975; Weaver, 1975; Kirsten, 1982; Abdullatif ve Cruden, 1983; Scoble ve Müftüoğlu, 1984; Singh vd., 1986; Smith, 1986; Bozdağ, 1988; Paşamehmetoğlu vd., 1988; Karpuz, 1990; Pettifer ve Fookes, 1994; Hoek ve Karzulovic, 2000; Ceylanoglu vd., 2007; Tsiambaos ve Saroglou, 2009). Önerilen bu yöntemlerin çoğu laboratuvar deneylerinden, arazi etütlerinden ve yerinde gerçekleştirilen deneme kazılarından elde edilen bilgileri temel almaktadır.

Kaya ortamında bozunmanın etkisi yüzeyden derine doğru gidildikçe azaldığından kazılmaya karşı gösterilen direnç de artmaktadır. Değişik araştırmacıların önerdiği kazılabilirlik sistemlerinin genelinde süreksizliklerin bozunma derecesi, pürüzlülük özellikleri, yüzeylerindeki su koşulu, dolgu özellikleri ve açıklık durumu gibi atmosferik olaylardan rahatça etkilenen değişkenler dikkate alınmaktadır. Tünel gibi yeraltı kazıları için bu değişkenleri temel alarak kazı yöntemini saptamaya çalışmak çoğu kez uygulama sırasında aşılabilir problemlere sebep vermektedir. Yeraltı açıklıklarında yapılan kazılarda kayaçların kazılabilirlik özelliği hem kaya malzemesinin dayanımı hem de blok boyutu tarafından kontrol edilmektedir. Bu

değişkenlerin dikkate alındığı kazılabilirlik sistemlerine göre kazı yöntemini tespit etmek uygulama sırasında daha güvenilir çıktılar vererek kazı projesinin uygulanabilirliğine pozitif katkılar sunmaktadır (Kaya vd., 2011).

1.2. Çalışmanın Amaç ve Kapsamı

Bu çalışmanın ana amacı, pilot çalışma alanı olarak seçilen T3 Tüneli (Pehlivantaş-Rize) güzergâhında yer alan kaya kütlelerinin jeoteknik ve kazılabilirlik özelliklerini belirlemektir (Şekil 1). Bu amaçla tünel güzergâhında bulunan kaya kütlelerine ait mühendislik özellikler arazi çalışmalarıyla, kaya malzemelerine ait özellikler ise laboratuvar çalışmalarıyla belirlenmiştir. Tünel güzergâhında yer alan kaya kütlelerinin kazılabilirlik özelliklerini saptamak için yeraltı kazılarında yaygın olarak kullanılan Pettifer ve Fookes (1994) ve Tsiambaos ve Saroglou (2009) tarafından geliştirilen kazılabilirlik sistemlerinden faydalanılmıştır. Bulunan sonuçlar karşılaştırılarak kazılabilirlik sistemleriyle belirlenen kazı sınıflarının uygulama aşamasında kullanılan metotlarla olan uygunluğu incelenmiştir.



1.3. Çalışma Alanının Tanıtılması

Yapım çalışmaları devam eden Rize-Pehlivan-taşı-Kalkandere Yolu, Rize İli'nin güneybatısında yer alan ve ana arter üzerinde yaklaşık 18,5 km. uzunluğunda bir kesimdir. Bu kesim üzerinde Rize İli şehir merkezinin güneyinden geçecek şekilde dört adet çift tüplü (T1, T2, T3, T4) karayolu tüneli içeren bir geçişin yapılmasına Karayolları 10. Bölge Müdürlüğü tarafından karar verilmiştir. Bu proje kapsamında yapımına devam edilen T3 Tüneli, KM: 3+822 - 4+254 (sağ tüp-435 m.) ve KM: 3+813 - 4+228 (sol tüp-415 m.) kilometreleri arasında yer almaktadır. T3 Tüneli, proje başlangıcı olan Rize-Pehlivan-taşı-Kalkandere yolunun yaklaşık 3,8 km. ilerisindedir. T3 Tüneli'nin ulaşımına açılması ile Rize İli yerleşim yeri içerisinde geçen ve Kalkandere İlçesi'ne ulaşan mevcut yolun ekonomik ve güvenlik açısından standartlarının artırılması sağlanacaktır. Şu an için T3 tünelinin giriş bölümünden itibaren yaklaşık 200 m.'lik kısmının kazı işlemi yapılmış olup, kazı aşaması devam etmektedir (Şekil 2).



Şekil 2. T3 Tüneli'nin giriş bölümü

1.4. İklim ve Bitki Örtüsü

Çalışma alanında Doğu Karadeniz'e özgü ılıman bir iklim hakimdir. Yağış ve sıcaklık üzerindeki etkisi sahil şeridinde daha net, güneye gidildikçe etkisi biraz daha azalır. Türkiye'nin en çok yağış alan çalışma alanı ve çevresinde, yazları ve kışları ılık bir iklim hüküm sürmektedir. Sahil kesiminden yüksek kotlara doğru çıkıldıkça iklim

gittikçe sertleşmektedir. Ortalama yıllık yağış miktarı 2500 mm.'dir. Hemen hemen her mevsim yağış vardır. Yıllık sıcaklık ortalaması ise 15 °C'dir.

Yörede, oldukça sık ve gür bir bitki örtüsü mevcuttur. 800-1400 m. arasındaki kotlarda karışık orman kuşağı bulunmaktadır. Bu yükseklikteki yaygın ağaç türünü kızılğaç, kayın, kestane, gürgen gibi geniş yapraklılar, iğne yapraklı türleri ise ladin ve çam ağaçları oluşturmaktadır. Daha alt kotlardaki bitki örtüsünü ise orman gülü, otsu bitkiler ve çalılıklar oluşturur. 2000-2200 m.'den daha yüksekliklerde ise ormanların yerini çayırlar almaktadır. Bu alanda daha çok dağ zambakları ve papatya gibi çiçek türleri ve orman gülü çalılıkları görülmektedir. Düşük kotlarda ise yoğun biçimde çay ve kivi bahçeleri bulunmaktadır. Bölgede meyve ağaçları olarak mandalina, armut ve elma ağaçları bulunmaktadır.

1.5. Sosyo-Ekonomik Bilgiler

Çalışma alanı ve çevresinde arazinin oldukça engebeli olması nedeniyle tarım faaliyetlerinin yürütüleceği araziler son derece kısıtlıdır. Rakımın düşük olduğu seviyelerde çay tarımı gelir kaynağını sağlamaktadır. Yüksek rakımlarda ise küçük ve büyük baş hayvancılık ile arıcılık halkın geçim kaynaklarında önemli yer tutmaktadır. Yöre, endüstri açısından fazla gelişmemiştir. Bölgedeki sanayinin ekonomiye olan katkısı hemen hemen yok gibidir.

1.6. Jeomorfoloji

Proje güzergâhının da içinde yer aldığı Rize İli, Karadeniz Bölgesi genel morfolojisine uygun olarak üç ana morfolojik ünitelerden oluşmaktadır. Birinci ünite güneyde su bölüm çizgisi boyunca B/GB-D/KD doğrultusunda uzanan dağlık alanlardan oluşur. Karadeniz kıyısı boyunca uzanan ve denizel aşındırma ile şekillenmiş Pleistosen-Aktüel kıyı kuşağı üçüncü üniteyi oluşturur. Bu iki ünite arasında yer alan ve akarsularca derince yarılmış palto alanı ise ikinci üniteyi oluşturur. Çalışma alanı ise birinci ünite içinde yer almaktadır.

1.7. Bölgesel Jeoloji

Ketin (1966), tektonik üniteleri kuzeyden güneye doğru Karadeniz Dağları, Anatolidler, Toridler ve Kenar Kıvrımları Kuşağı olarak dört ana tektonik birliğe ayırmıştır. Ayrıca, Karadeniz Dağlarını, “Doğu ve Batı Karadeniz Dağları” olmak üzere ikiye ayırmıştır (Ketin ve Canitez, 1972). Doğu Karadeniz Dağları’ndaki Geç Kretase yaşlı kayaçlar, kuzey ve güney bölgelerinde farklılıklar gösterdikleri için güney ve kuzey bölümlere ayrılmıştır.

Doğu Karadeniz Dağları Güney Zonu’nda hakim olan Paleozoyik yaşlı kristalen şistler ve granitler (Gedikoğlu vd., 1979), Doğu Karadeniz Dağları Kuzey Zonu’nda seyrek olarak görülürler. Temeli oluşturan metamorfik kayaçlar, Erken Jura öncesinde Paleozoyik yaşlı granitoidik kayaçlar tarafından kesilmişlerdir (Çoğulu, 1975). Erken Jura yaşlı volkanotortul kayaçlar, Gümüşhane bölgesinde Paleozoyik yaşlı Gümüşhane Granitoyidi üzerine aşınma uyumsuzluğu ile gelirler. Giresun-Aksu civarında Erken Jura’dan başlayarak Erken Kretase sonuna kadar devam eden bazik volkanizma “Alt Bazik Seri” olarak adlandırılmaktadır (Schultz-Westrum, 1961).

Geç Jura - Erken Kretase yaşlı Berdiga Kireçtaşları, Erken Jura yaşlı volkanik kayaçlar üzerine uyumlu olarak gelmektedirler. Doğu Karadeniz Dağları Güney Zonu’nda sürekli bir şekilde görülmelerine rağmen, Kuzey Zon’da mercerler ve olistrostromlar halinde bulunurlar. Paleozoyik yaşlı Gümüşhane Granitoyidi, metamorfik kayaçları keserek yerleşmiştir (Çoğulu, 1975). Jura-Kretase-Paleosen granitoidleri yitimle ilişkili volkanik kayaçlarla dokanak ilişkisindedir (Şahin vd., 2004). Eosen ve sonrası granitler ise dar alanlarda tüm serileri kesmiş olarak görülürler (Arslan ve Aslan, 2006).

Doğu Karadeniz Dağları’nda, Geç Kretase iki farklı özellikte görülmektedir. Doğu Karadeniz Dağları Kuzey Zonu’nda magmatik kayaçlar egemen iken, Doğu Karadeniz Dağları Güney Zonu’nda volkanotortul kayaçlar yer alır. Geç Kretase’nin üzerindeki bazik volkanikler kısmen Eosen’de de devam ederek “Üst Bazik Seri”yi oluşturmuşlardır. Bu birimi şarap kırmızısı renkli kırmızı kireçtaşları uyumlu olarak üstlemektedir. Volcano-tortul seriden oluşan birim kırmızı kireçtaşları üzerine uyumlu

olarak gelmektedir (Eren, 1983). Geç Kretase-Paleosen geçişi Doğu Karadeniz Dağları'nda yer yer gözlenmektedir (Şarman, 1975). Geç Kretase yaşlı filişle başlayan istif, uyumsuz olarak konglomera ve mikritik kireçtaşlarından oluşan Paleosen yaşlı Kale Formasyonu'na geçmekte ve Eosen yaşlı Kabaköy Formasyonu ile örtülmektedir (Aliyazıcıoğlu, 1999).

Eosen, Karadeniz Dağları'nda genellikle Kretase ve Paleosen yaşlı birimler üzerine taban konglomerası ile gelmektedir. Oligosen, Trabzon, Ünye ve Fatsa yörelerindeki sahil kesimlerinde görülmektedir. Neojene ait tortullar Trabzon-Akçaabat ve Rize-Pazar sahillerine yakın yerlerde mevcuttur (Özsayar, 1971). Kuvaterner yaşlı oluşuklar traverten ve alüvyonlardan oluşmaktadır.

1.8. Hidrolojik ve Hidrojeolojik Özellikler

Yörede yüksek debilerle akan büyük akarsular fazla yoktur. Ancak, mevsimsel yağışlarla beslenerek Karadeniz ile buluşan çok miktarda dere mevcuttur. Bu akarsulardan en önemlileri Fırtına Deresi, Büyük Dere, Ortaköy Deresi, İyidere ve Çağlayan Deresi'dir. Tünel güzergâhı ve yakın çevresindeki en önemli akarsu İyidere Çayı'dır. Bölgenin önemli akarsularından olan İyidere Çayı; Güneyce yerleşimi ile İkizdere İlçesi güneyinde yer alan Cimil Deresi ve Kabahor Dereleri'nin birleşim noktası arasında İkizdere Çayı ismini almaktadır. Cimil Deresi, Kabahor Deresi, Çamlı Dere'nin birleşiminden oluşan ve yüksek debiye sahip İkizdere Çayı üzerinde üç adet hidroelektrik santrali (HES) projesi bulunmaktadır. Tünelin yakın çevresinde etkili olabilecek bir su kaynağı bulunmamakla birlikte yer yer ufak çaplı su çıkışına rastlanılsa da aglomera-tüf-andezit-bazalt birimlerinden oluşan T3 Tüneli boyunca yapılan sondaj çalışmaları sonucunda, tünel güzergâhı boyunca herhangi bir yeraltı su seviyesi ile karşılaşılmamıştır. Ancak yoğun yağış alan bir bölge olmasından dolayı süreksizlik sistemlerinden tünele yağış suyu erişimi olması kuvvetle muhtemeldir. Düşük geçirgenliğe sahip birimlerden oluşan T3 Tüneli'nde, imalat aşamasında alınacak drenaj önlemleri ile herhangi bir olumsuzluk yaşanması beklenmemektedir.

1.9. Deprem Durumu

Tünel güzergâhı ve çevresi, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı (Mülga Bayındırlık ve İskan Bakanlığı) “Türkiye Deprem Haritası” değerlendirmelerine göre 4. derecede deprem bölgesi içinde yer almaktadır. Türkiye Diri Fay Haritası göre inceleme alanında ve yakın civarında proje yapılarını etkileyecek diri fay bulunmamaktadır. Bölgede beklenen ivme değeri ise 0.20 g ile 0.10 g arasındadır.

1.10. Kazılabilirlik Üzerine Literatür Çalışmaları

Kaya kütlelerinin kazılabilirliği üzerine yakın dönemde araştırmacılar tarafından gerçekleştirilen bilimsel çalışmalardan bazıları aşağıda verilmiştir.

Akın (2006), kazılabilirlik sınıflama sistemleri ile ilgili ayrıntılı ve güncel literatür araştırması yapmıştır. Sınıflama sistemlerinde kullanılan parametreler ve parametrelerin kullanım sıklıklarını ve ağırlıklarını incelemiştir. Yeni bir kazılabilirlik sınıflama sistemi önermiş ve bu sınıflama sistemi için bir bilgisayar programı geliştirmiştir.

Ceryan (2009), Taşönü kireçtaşı ocağındaki (Araklı-Trabzon) jeoteknik birimlerin süreksizlik özelliklerini ölçmüş ve kazılabilirlik değerlendirmesinin “kazılabilirlik indeksi” ile yapılabileceğini belirlemiştir.

Kaya vd. (2011), kazılabilirlik sınıflandırma sistemlerinin yeraltı kazılarında uygulanabilirliğini araştırmıştır. yeraltı kazılarında kazı sınıflarının belirlenmesi için GSI (Jeolojik Dayanım indeksi), $I_{(50)}$ (Nokta yükü dayanım indeksi) ve I_f (Süreksizlik aralığı indeksi) parametrelerin en iyi sonuçları verdikleri belirlenmiştir.

Karaman vd. (2013), bir kireçtaşı ocağındaki kaya şevlerinin duraylılığını ve farklı ampririk yöntemler kullanarak kazılabilirliğini araştırmıştır.

Yaşar (2013), Doğu Karadeniz Bölümü’nün çeşitli bölgelerinden temin ettiği 11 adet farklı kayaç ve cevher numunesinin kazılabilirlik özellikleriyle mekanik ve fiziksel

özellikleri arasındaki ilişkileri araştırmıştır. Ayrıca, kazılabilirlik parametrelerinin dolaylı yollardan tahmin edilmesine yönelik çözümler sunmuştur.

Erdem (2018), Malatya İli Arguvan İlçesi'nde yapımı devam eden Yoncalı Barajı isale tüneli güzergâhındaki kayaların kazılabilme sınıflarını belirlemiştir. Elde edilen sonuçları onyedili farklı ampirik kazılabilme sınıflamasını kullanarak değerlendirmiş ve her bir kaya kütesinin genel kazılabilme sınıflarını ortaya koymuştur.

1.11. T3 Tüneli Güzergâhında Yapılan Önceki Çalışmalar

Karayolları Genel Müdürlüğü (KGM) idaresinde yapım çalışmaları AKM Yapı Taah. San. Tic. A.Ş. tarafından yürütölen “Rize-Pehlivantaşlı-Kalkandere Yolu T3 Tüneli Yapım İşli” kapsamında Kartun Mühendislik tarafından arazi ve laboratuvar çalışmaları yapılmış ve bu veriler yardımıyla Nisan 2018 tarihinde Jeolojik-Jeoteknik Kesin Proje çalışmaları yürütölmüştür.

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

Bu çalışmada, T3 Tüneli (Pehlivantaş-Rize) güzergâhında yer alan kaya kütlelerinin jeoteknik ve kazılabilirlik özellikleri araştırılmıştır. Çalışma alanının ve çevresinin jeolojisini tanımlamak amacıyla 1/10000 ölçekli jeoloji haritası hazırlanmış ve tünel güzergâhının jeolojik kesiti hazırlanmıştır. Tünel güzergâhında bulunan kayalar, litostratigrafik sınıflama ve adlama kuralları (NACS, 1983) esas alınarak tanımlanmıştır. Genel jeoloji çalışmalarıyla elde edilen sonuçlar, inceleme alanı ve çevresinde önceden yapılmış olan araştırmalarla karşılaştırılarak düzenlenmiştir.

Tünel güzergâhında açılan dört adet temel sondaj kuyusundan ve mostralardan alınan ölçümlerden ve örneklerden yararlanılarak mühendislik jeolojisi çalışmaları için gerekli olan ve ISRM (2007) tarafından önerilen tanımlama ölçütlerine göre süreksizliklerin özellikleri tanımlanmıştır. Hat etüdü çalışmaları ve jeoteknik amaçlı sondajlar ile süreksizliklere ait yönelim, ara uzaklık, açıklık, devamlılık, yüzey pürüzlülüğü ve dalgalılığı, bozunma derecesi, dolgu malzemesinin özelliği ve yüzeylerindeki su durumu gibi özellikler tespit edilmiştir. Elde edilen bu veriler yardımıyla tünel güzergâhındaki kaya kütlelerine ait kaya kalite göstergesi (RQD) değeri belirlenmiştir. Anadolu Merkez Laboratuvarı'nda her bir araştırma sondajından alınan örnekler üzerinde çalışmanın amacına uygun fiziksel, mekanik ve elastik deneyler gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda birim hacim ağırlık, tek eksenli basınç ve deformasyon deneyleri yapılmıştır. Elde edilen veriler yardımıyla tünel güzergâhında yer alan birimler, Kaya kütle puanlaması (RMR), Kaya kütle kalitesi (Q) ve Jeolojik dayanım indeksi (GSI) sınıflama sistemleri kullanılarak sınıflandırılmış ve kaya kütleleri ampirik olarak tanımlanmıştır. Kaya kütlelerine ait deformasyon modülü (E_m), tek eksenli basınç dayanımı (σ_{cm}), Poisson oranı (ν_m) ve kaya kütle sabitleri (m_b , s , a) araştırmacılar tarafından geliştirilmiş görgül yöntemler kullanılarak belirlenmiştir.

T3 Tüneli'nin güzergâhında yer alan kayaların kazılabilirlik özelliklerini saptamak amacıyla Pettifer ve Fookes (1994) ve Tsiambaos ve Saroglou (2009) tarafından geliştirilen kazılabilirlik sistemleri kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar incelenerek kazılabilirlik sistemleriyle saptanan kazı sınıflarının uygulama aşamasındaki yöntemlerle benzerlik gösterip göstermediği incelenmiştir.

3. BULGULAR

3.1. Tünel Güzergâhının Genel Jeolojisi

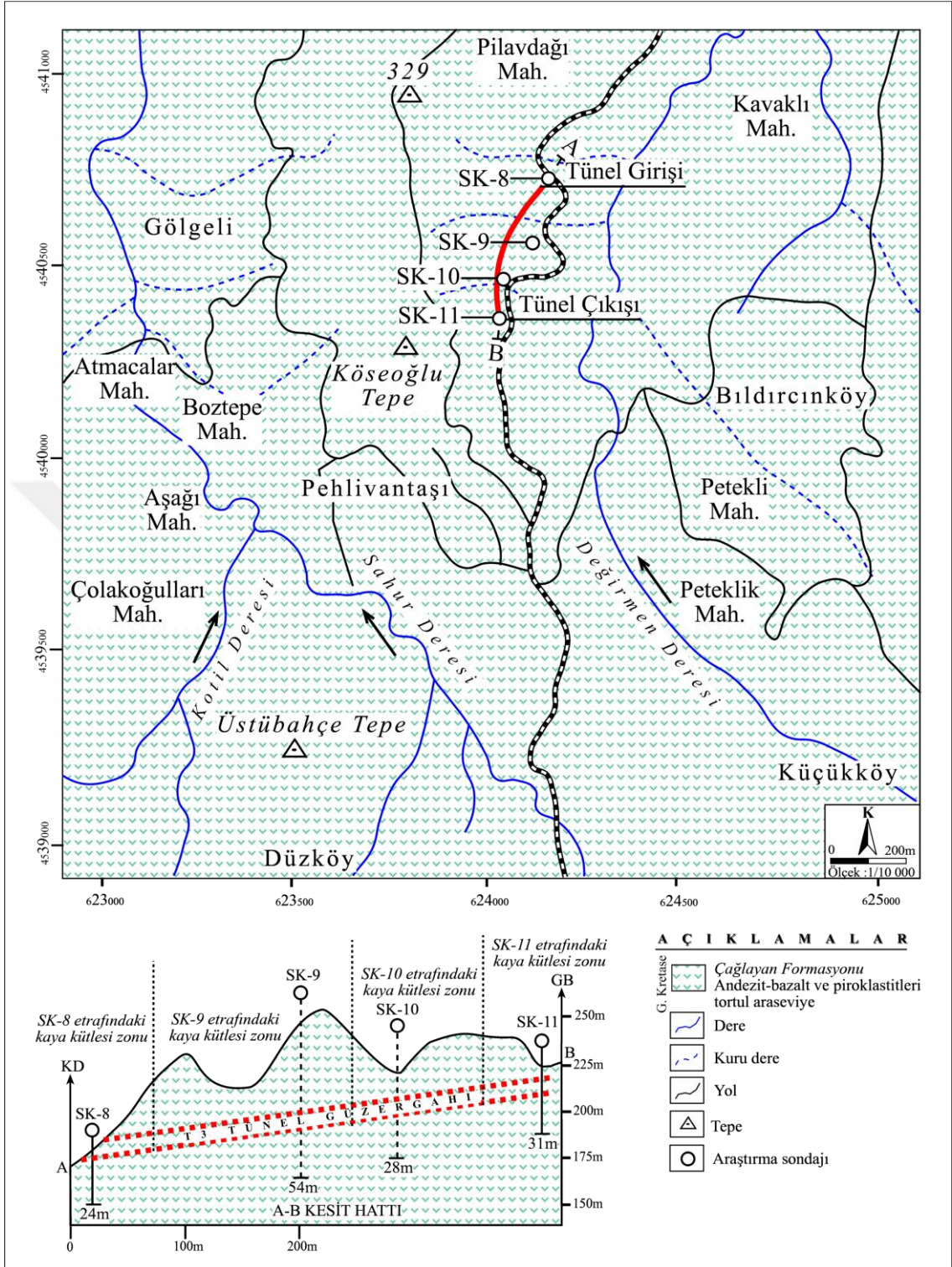
T3 Tüneli güzergâhında yer alan birimler litostratigrafik sınıflama ve adlama kuralları (NACS, 1983) esas alınarak tanımlanmış ve bunun sonucunda Geç Kretase yaşlı Çağlayan Formasyonu'na ait volkanik kayaçların bulunduğu belirlenmiştir. Bu birim, volkano-tortul özellikli bir istif olup, ilk defa Güven (1993) tarafından tanımlanmıştır. Çağlayan Formasyonu koyu gri-yeşil renkli andezit-bazalt ve piroklastitlerinden oluşmaktadır. Ara katkılı olarak yer yer kilaşı, kumtaşı ve tüfit seviyelerine rastlanmaktadır. Doğu Pontidler'in kuzey zonunda Geç Kretase dönemi sonlarına doğru oluşan toleyitik ve kalkalkalen nitelikli volkanitler, derin denizel bir ortamda yayılarak tortullarla birlikte volkanik ve tortul bir istif oluşturmuşlardır. Birimin yaşı, yapılan önceki çalışmalarda Geç Kretase (Kampaniyen-Maastrichtiyen) olarak belirlenmiştir (Güven, 1993). Bu birimin üzerine uyumlu olarak Geç Kretase yaşlı Bakırköy Formasyonu'na ait karbonat ve kırıntılı tortul kayaçlar gelmektedir.

Tünelin giriş ve çıkış bölümünde yüzeyleme veren formasyona ait aglomeralar genel olarak bordo, kahverenkli, koyu kırmızı, kırmızımsı kahve, koyu kahverenkli olup, oldukça zayıf dayanımlıdır. Tüflerden oluşan bağlayıcı malzemenin içindeki köşeli çakıl ve bloklar bazaltik karakterlidir (Şekil 3). Tünelin orta kesiminde açılan SK-9 ve SK-10 nolu araştırma sondajlarında kesilen aglomeralar siyah, bordo kahverenkli, kırmızımsı kahve, gri renkli ve iri bloklu bazalt çakıllarından oluşmaktadır. Bolluk olarak tüfler ağırlıklı bir görünüm sunmaktadır. Sondajlarda kesilen bazaltlar ise koyu gri, gri, koyu kahve, siyah renkli olup, orta dayanımlıdır.

Tünel güzergâhı ve çevresine ait 1/10000 ölçekli jeoloji haritası ve tünel güzergâhına ait jeolojik kesit Şekil 4'te sunulmuştur.



Şekil 3. Çağlayan Formasyonu'na ait aglomeranın mevcut yol şevindeki görünümü



3.2. Mühendislik Jeolojisi Çalışmaları

3.2.1. Jeoteknik Araştırma Sondajları

Bu çalışma kapsamında belirlenen uygun lokasyonlarda derinlikleri 24-54 m. arasında değişen toplamda 168 m. uzunluğunda 4 adet (SK 8-11) NX çaplı (54,7 mm.) araştırma sondaj kuyusu açılmıştır (Şekil 5-8, EK-1). T3 Tüneli'nin güzergâhı yoğun bir bitki örtüsü ve sarp bir arazide yer almasından dolayı SK-9 ve SK-10 nolu sondaj kuyuları planlandığı lokasyonlardan farklı lokasyonlarda yapılmak durumunda kalınmıştır. Farklı lokasyonlarda yapılan sondajlar tünel eksenine izdüşümleri alınarak yerleştirilmiş ve değerlendirmeler buna göre yapılmıştır (Şekil 3). Bu sondajlar yardımıyla tünel güzergâhının jeolojik ve jeoteknik açıdan detaylandırılması, birimlerin mühendislik özelliklerinin belirlenmesi, yeraltı suyu seviyesinin tespiti ve laboratuvar deneyleri için örnekleme yapılması sağlanmıştır. Ayrıca, süreksizliklerin özellikleri ve kaya kalite göstergesi (RQD) ve hacimsel eksem sayısı (J_v) gibi parametreler belirlenmeye çalışılmış ve kuyu logları hazırlanmıştır (EK-1). Tünel güzergâhı bu sondajlarla temsil edilen dört bölüme ayrılmış ve her bir bölüm ayrı bir kaya kütlesi olarak incelenmiştir. Araştırma sondajlarına ait UTM (ED-50) cinsinden 6°'lik koordinatları ve teknik parametreler aşağıdaki Tablo 1'de sunulmuştur.

SK-8 NOLU SONDAJ



Şekil 5. SK-8 nolu araştırma sondajına ait karot sandıkları

SK-9 NOLU SONDAJ



Şekil 6. SK-9 nolu araştırma sondajına ait karot sandıkları

SK-10 NOLU SONDAJ



Şekil 7. SK-10 nolu araştırma sondajına ait karot sandıkları

SK-11 NOLU SONDAJ



Şekil 8. SK-11 nolu araştırma sondajına ait karot sandıkları

Tablo 1. Tünel güzergâhında yapılan sondajlara ait teknik bilgiler

Kuyu No	Lokasyon	Kuyu Derinliği (m)	Kuyu Kotu (m)	YASS Derinliği (m)	Y (Sağa)	X (Yukarı)
SK-8	Giriş bölümü	24,00	186	Yok	4542575	372825
SK-9	Orta bölüm	54,00	228	Yok	4542389	372775
SK-10	Orta bölüm	28,00	208	Yok	4542313	372699
SK-11	Çıkış bölümü	31,00	219	Yok	4542178	372666

3.2.2. Fiziko-mekanik ve Elastik Özellikler

Sondajlardan derlenen NX çaplı karot numuneleri üzerinde tünel güzergâhındaki kayaçların fiziko-mekanik ve elastik özelliklerini belirlemek amacıyla çalışmanın amacına uygun kaya mekaniği deneyleri yapılmıştır. Laboratuvar deneyleri ISRM (2007) tarafından önerilen metotlara göre gerçekleştirilmiştir. Nokta yükü dayanım indeksi ($I_{s(50)}$) değeri hesaplanırken güvenli tarafta kalmak amacıyla tek eksenli basınç dayanımının 20 kat küçüğü alınmıştır.

Tablo 2. Karot örneklerine ait fiziksel, mekanik ve elastik özellikler

Derinlik (m)	γ (kN/m ³)	σ_{ci} (MPa)	$I_{s(50)}$ (MPa)	E_i (GPa)	ν_i
SK-8					
3,10-3,30	25,20	23,80	1,19	13,00	0,21
4,70-4,80	24,81	8,20	0,41	6,40	0,28
9,00-9,20	23,63	27,50	1,375	16,20	0,25
17,25-17,50	23,63	12,00	0,6	10,80	0,30
20,70-21,00	21,77	11,40	0,57	6,40	0,32
23,00-23,55	22,94	38,60	1,93	22,10	0,15
Ortalama	23,66	20,25	1,02	12,48	0,25
SK-9					
9,00-9,15	23,14	32,80	1,64	19,00	0,24
22,50-22,65	21,96	9,30	0,47	9,40	0,28
33,75-34,05	24,71	24,00	1,2	20,40	0,19
36,50-36,65	23,04	10,20	0,51	4,50	0,25
38,50-38,70	25,49	55,70	2,79	26,70	0,20
40,50-40,75	23,14	13,00	0,65	12,60	0,26
42,50-42,70	24,81	26,30	1,32	19,50	0,36
Ortalama	23,86	23,08	1,22	15,52	0,26
SK-10					
7,30-7,50	23,04	14,90	0,75	11,70	0,23
12,05-12,20	25,20	11,50	0,58	6,40	0,34
15,20-15,40	23,43	13,70	0,69	10,50	0,25
18,00-18,25	25,20	50,80	2,54	23,50	0,20
19,50-19,75	25,10	29,80	1,49	21,20	0,27
Ortalama	24,73	26,45	1,21	15,40	0,27
SK-11					
6,50-6,60	24,41	22,20	1,11	10,70	0,24
19,50-19,60	24,71	64,20	3,21	44,00	0,32
21,00-21,15	24,90	68,80	3,44	33,00	0,22
22,80-22,90	24,61	39,50	1,98	19,60	0,20
30,00-30,20	23,33	54,80	2,74	26,70	0,21
Ortalama	24,39	56,83	2,50	30,83	0,24

σ_{ci} : tek eksenli basınç dayanımı, $I_{s(50)}$: nokta yükü dayanım indeksi, γ : birim hacim ağırlık, E_i : statik elastisite modülü, ν_i : statik Poisson oranı

Boyu ϕ nın 2,5-3,0 katı olacak şekilde hazırlanan karot örnekleri üzerinde birim hacim ağırlık (γ), tek eksenli basınç dayanımı (σ_{ci}), statik elastisite modülü (E_i) ve statik Poisson oranı (ν_i) değerlerini belirlemeye yönelik deneyler gerçekleştirilmiş ve sonuçlar Tablo 2’de özet şeklinde verilmiştir.

Yapılan fiziksel γ değerinin SK-8 için 21,77-25,20 kN/m³, SK-9 için 21,96-25,49 kN/m³, SK-10 için 23,04-25,20 kN/m³, SK-11 için 23,33-24,90 kN/m³ arasında değiştiği belirlenmiştir. Dayanım deneyleri sonucunda σ_{ci} değerinin SK-8 için 8,20-38,60 MPa, SK-9 için 9,30-55,70 MPa, SK-10 için 11,50-50,80 MPa, SK-11 için 22,20-68,80 MPa olduğu; $I_{s(50)}$ değerinin SK-8 için 0,41-1,93 MPa, SK-9 için 0,47-2,79 MPa, SK-10 için 0,58-2,54 MPa, SK-11 için 1,11-3,44 MPa arasında olduğu saptanmıştır. Gerçekleştirilen elastik deneylere göre E_i değerinin SK-8 için 6,40-22,10 GPa, SK-9 için 4,50-26,70 GPa, SK-10 için 6,40-23,50 GPa, SK-11 için 10,70-44,00 GPa olduğu; ν_i değerinin SK-8 için 0,15-0,32, SK-9 için 0,19-0,36, SK-10 için 0,20-0,34, SK-11 için 0,20-0,32 olarak hesaplanmıştır.

3.2.3. Süreksizliklere Ait Özellikler

T3 Tüneli güzergâhında yer alan birimlerin içerdiği süreksizliklerin özelliklerini belirlemek için açılan temel sondajından ve mostralarda yapılan hat etüdü çalışmalarından yararlanılmıştır (Şekil 9). Süreksizliklerin karakteristikleri ile ilgili bilgilerin derlenmesinde gerçekçi sonuçların derlendiği hat etüdü yöntemiyle yapılan ölçümler süreksizlik ara uzaklığı ve devamlılığına bağlı olarak mostralarda genellikle tek hat üzerinde yapılmıştır. Bu çalışmada ISRM (2007) tarafından önerilen ölçütlere göre eklemlere ait konum, açıklık, devamlılık, ara uzaklık, pürüzlülük ve dalgalılık, bozunma durumu, dolgu durumu ve su durumu gibi özellikler tanımlanmıştır (Şekil 10).

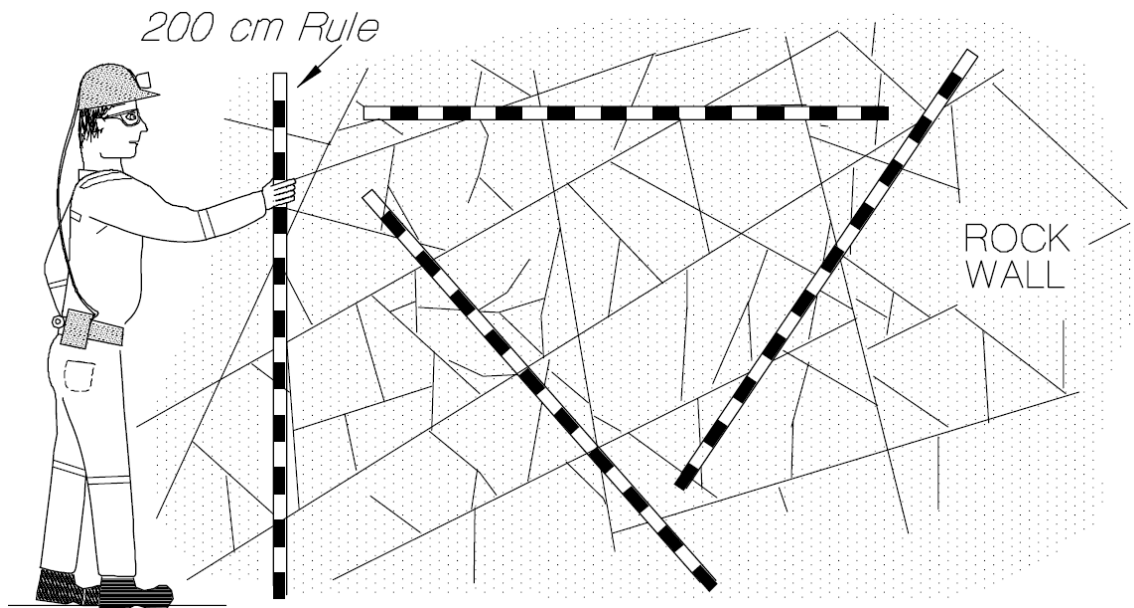
Kaya kalite göstergesinin (RQD) tespitinde ise Deere (1964) tarafından önerilen ve sondaj karotlarının boylarını esas alan yöntemden yararlanılmıştır. Hacimsel eklem sayısının (J_v) belirlenmesinde ise Palmström (2005) tarafından 1 m³’lük kaya bloğu için önerilen ve RQD değerinin kullanıldığı yöntemden yararlanılmıştır. Yararlanılan eşitlikler aşağıda sunulmuştur.

$$RQD = \frac{\sum_{i=1}^n l_i}{L} \quad (1)$$

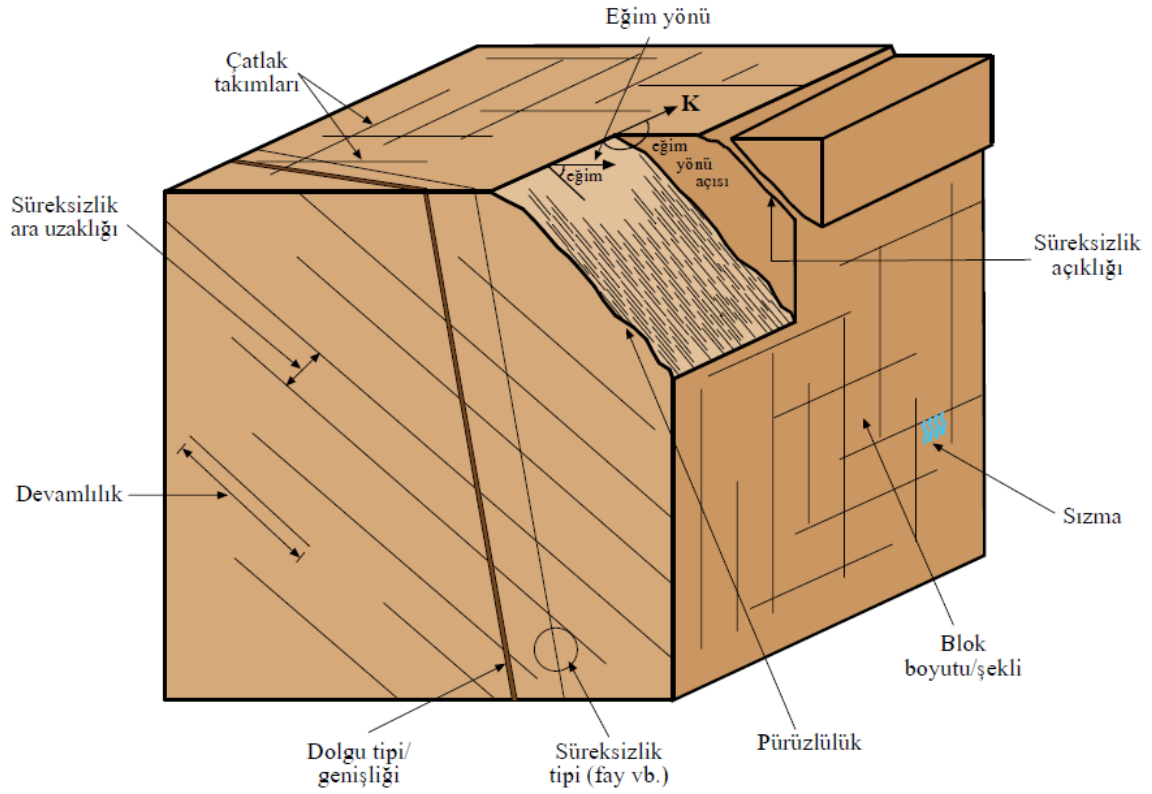
$$J_v = (110 - RQD)/2,5 \quad (2)$$

Burada; n: sondaj ilerleme aralığındaki karot parçalarının adedi; l: 10 cm ve daha uzun olan karotların boyları, L: sondaj ilerleme uzunluğu ve J_v : 1 m³'lük kaya bloğundaki süreksizlik sayısıdır.

Tünel güzergâhındaki kaya kütlelerine ait süreksizliklerin özellikleri Tablo 3'te, tünel tavan ve taban kotu arasındaki kaya kütlelerine ait ortalama RQD ve J_v değerleri ise Tablo 4'te verilmiştir.



Şekil 9. Hat etüdü yönteminin kaya kütlesi aynalarında uygulanması (ISRM, 2007)



Şekil 10. Kaya kütlelerinin içerdiği süreksizliklerin özelliklerini tanımlayan parametreleri gösteren blok diyagram (Wyllie ve Mah, 1999)

Tablo 3. SK 8-11 arasında yer alan kaya kütlelerindeki süreksizlik özelliklerinin ISRM (2007) tanımlama ölçütlerine göre değerlendirilmesi

	SK-8	SK-9	SK -10	SK-11
Süreksizlik takımları	İki adet ana eklem takımı ve gelişmiş güzel eklemler			
Süreksizlik ara uzaklığı (cm)	5,00	9,00	6,00	5,00
Tanımlama (ISRM, 2007)	Dar ara uzaklıklı	Yakın ara uzaklıklı	Dar ara uzaklıklı	Dar ara uzaklıklı
Süreksizlik açıklığı (mm)	0,0-4,0	0,0-4,0	0,0-4,0	0,0-4,0
Tanımlama (ISRM, 2007)	Açık	Açık	Açık	Açık
Süreksizliklerdeki dolgu malzemesi	Genel olarak yumuşak kil dolgu, yer yer kil sıvaması ve demiroksit boyaması			
Süreksizlik devamlılığı (m)	10-20	10-20	3-10	10-20
Tanımlama (ISRM, 2007)	Yüksek devamlı	Yüksek devamlı	Orta derecede devamlı	Yüksek devamlı
Süreksizlik pürüzlülüğü	Dalgalı	Dalgalı	Dalgalı	Dalgalı
Tanımlama (ISRM, 2007)	düz	pürüzlü	pürüzlü	düz
Süreksizlik yüzeylerinin bozunma derecesi (ISRM, 2007)	İleri derecede bozunmuş	Orta derecede bozunmuş	Orta derecede bozunmuş	İleri derecede bozunmuş
Süreksizlik yüzeylerindeki su durumu (ISRM, 2007)	Nemli	Nemli	Nemli	Nemli

Tablo 4. Kaya kütlelerine ait ortalama RQD ve J_v değerlerinin literatürdeki tanımlama ölçütlerine göre değerlendirilmesi

Sondaj No	Derinlik (m)	Kaya kalite göstergesi (RQD, %) Tanımlama (Deere, 1964)	Hacimsel eklem sayısı (J_v , eklem/m ³) Tanımlama (ISRM, 2007)
SK-8	24,00	10/Çok zayıf	40/Çok küçük bloklar
SK-9	54,00	50/Zayıf	24/Küçük bloklar
SK-10	28,00	20/Çok zayıf	36/Çok küçük bloklar
SK-11	31,00	10/Çok zayıf	32/Çok küçük bloklar

Buna göre kaya kütlelerinde iki adet eklem takımının olduğu, süreksizlik ara uzaklığının “dar ve yakın” arasında değiştiği, süreksizlik açıklığının “açık” olduğu, süreksizliklerdeki dolgu malzemesinin genel olarak yumuşak kil dolgu, yer yer kil sıvaması ve demiroksit boyaması olduğu, süreksizlik devamlılığının “yüksek ve orta derece” arasında değiştiği, yüzey pürüzlülüğünün “dalgalı düz-dalgalı pürüzlü” arasında değiştiği, bozunma derecesinin “ileri ve orta derecede bozunmuş” arasında değiştiği, su durumunun ise “nemli” olduğu tespit edilmiştir.

Kaya kütlelerine ait tünel kotundaki kaya kalite göstergesinin (RQD) % 10-50 arasında değiştiği ve Deere (1964)’e göre kaya kütlelerinin “çok zayıf-zayıf” arasında olduğu ve hacimsel eklem sayısının (J_v) 24,00-40,00 eklem/m³ arasında olduğu ve ISRM (2007)’ye göre blok boyutunun “küçük bloklar-çok küçük bloklar” arasında değiştiği saptanmıştır.

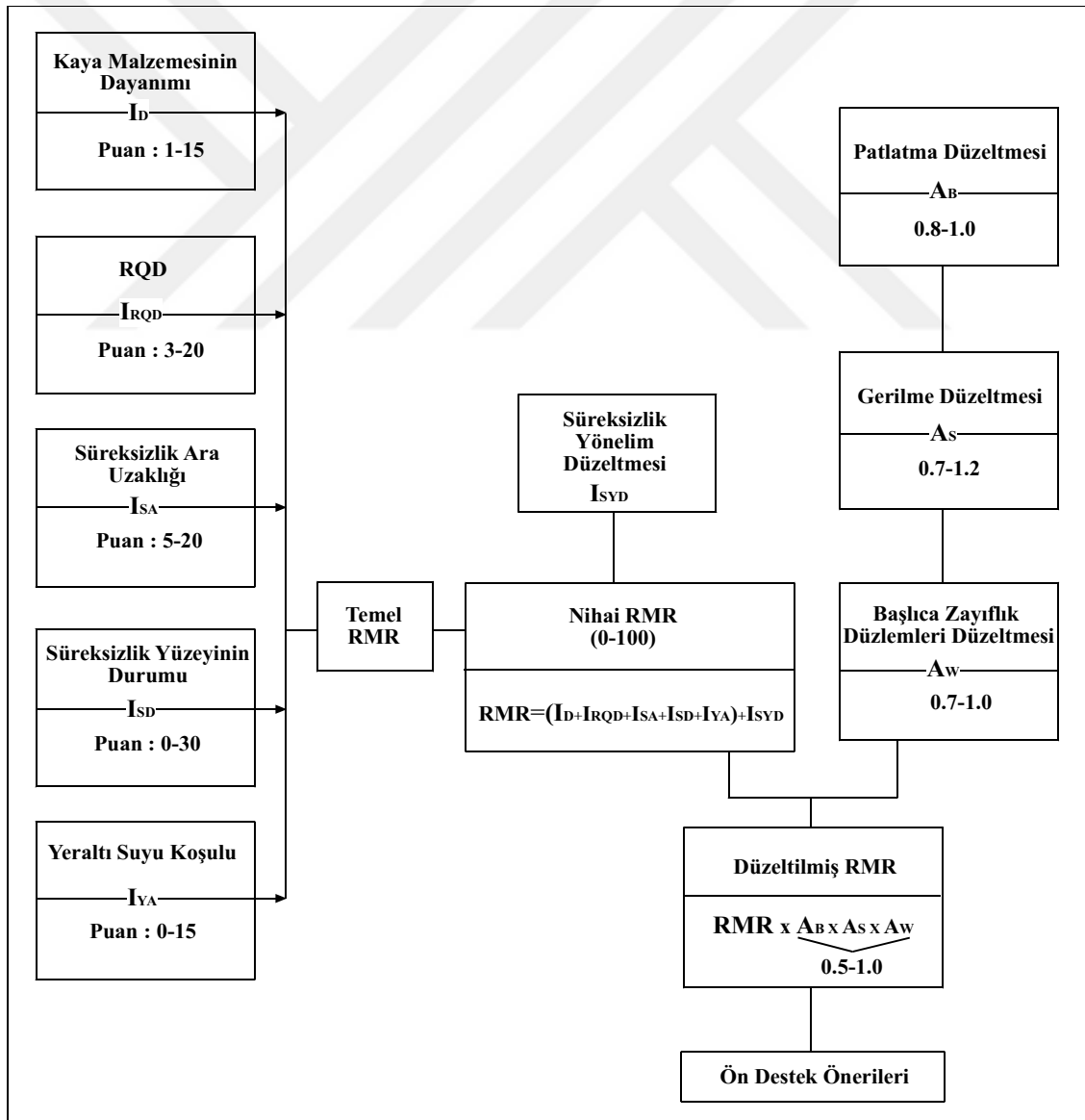
3.2.4. Kaya Kütlelerinin Sınıflandırılması

3.2.4.1. Kaya Kütle Puanlaması (RMR) Sistemi

RMR sistemi, ilk defa Bieniawski (1973) tarafından geliştirilmiş bir kaya kütle sınıflama sistemi olup, sonraki dönemlerde karşılaşılan mühendislik sorununun amacına yönelik modifiye edilmiştir (Bieniawski, 1989). RMR sistemine göre kaya kütlelerinin sınıflandırılmasında kaya malzemesinin nokta yük dayanım indeksi veya tek eksenli basınç dayanımı, Kaya kalitesi göstergesi (RQD), Süreksizliklerin ara uzaklığı ve durumu (dolgu durumu, bozunma derecesi, yüzey pürüzlülüğü, devamlılık, açıklılık), süreksizliklerin konumu ve yeraltı suyu koşulları gibi girdi parametreleri kullanılmaktadır.

Bu çalışmada, hat etüdlerinden, sondajlardan ve laboratuvar deneyinden elde edilen sonuçlara göre parametrelere verilen puanlar saptanarak bunların toplamından temel RMR puanları elde edilmiştir. Sonraki aşamada kazı ilerleme yönü dikkate alınarak tünel doğrultusu ve süreksizliklerin yönelimleri arasındaki ilişki durumuna göre RMR puanlarına düzeltme uygulanarak nihai RMR puanı saptanmıştır.

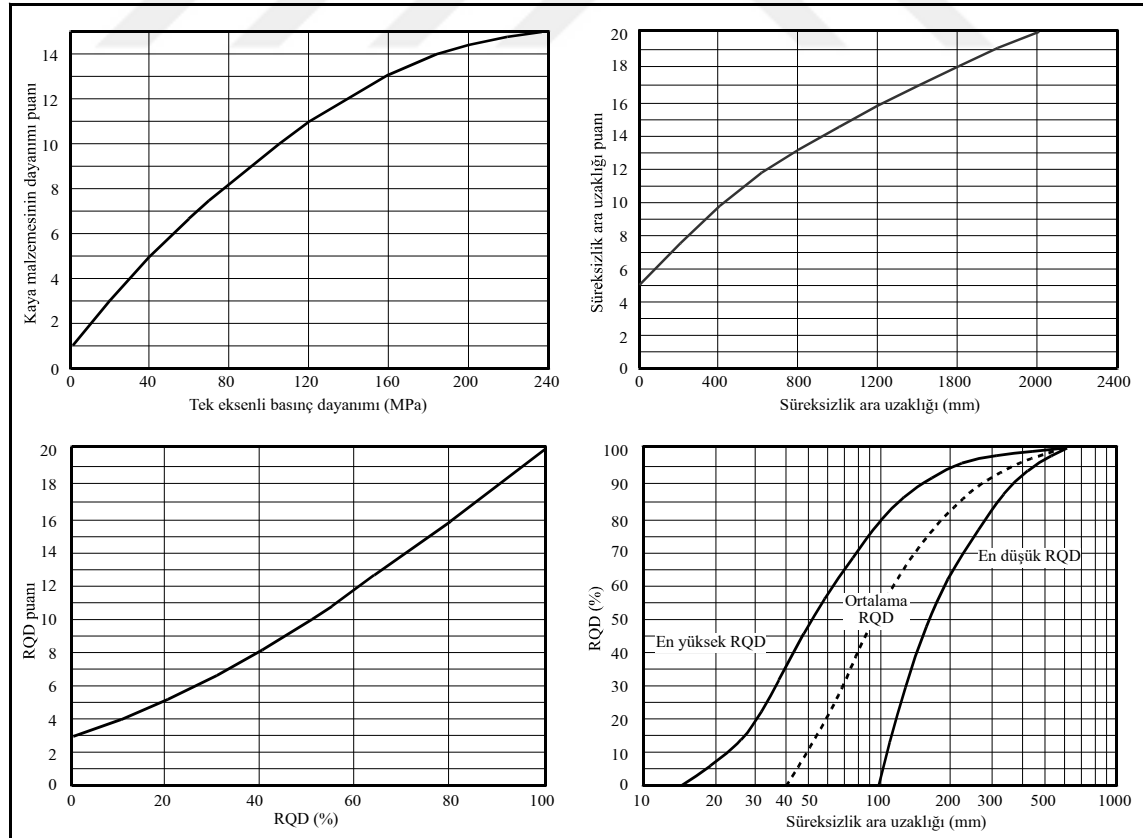
Son olarak yapılan patlatmalar, yerinde gerilmeler ve fayların durumu gibi faktörler dikkate alınarak nihai RMR değerinde azaltmaya gidilerek düzeltilmiş RMR puanları belirlenmiştir. Çalışmada, RMR sistemi yardımıyla düzeltilmiş RMR puanının saptanmasında izlenmiş olan akış şeması Şekil 11’de verilmiştir.



Şekil 11. RMR puanının hesaplama aşamalarını gösteren akış şeması (Bieniawski, 1989)

Tablo 5. RMR kaya kütle sınıflama sisteminin son versiyonu (Bieniawski, 1989)

1	Kaya malzemesinin dayanımı (MPa)	Nokta yük dayanım indeksi	> 10	4-10	2-4	1-2	Düşük aralıklar için tek eksenli dayanım
		Tek eksenli basınç dayanımı	> 250	100-250	50-100	25-50	5-25 1-5 <1
2	Kaya kalite göstergesi, RQD (%)		90-100	75-90	50-75	25-50	<25
3	Süreksizlik ara uzaklığı (cm)		>200	60-200	20-60	20-6	<6
4	Süreksizlik durumu	Devamlılık (m)	<1	1-3	3-10	10-20	>20
		Puan	6	4	2	1	0
		Açıklık (mm)	Yok	<0,1	0,1-1	1-5	>5
		Puan	6	5	4	1	0
		Pürüzlülük	Çok pürüzlü	Pürüzlü	Az pürüzlü	Düz	Kaygan
		Puan	6	5	3	1	0
		Dolgu	Yok	<5 mm. (sert)	>5 mm. (sert)	<5 mm. (yumuşak)	>5 mm. (yumuşak)
		Puan	6	4	2	2	0
		Bozunma	Bozunmamış	Az bozunmuş	Orta derecede bozunmuş	Bozunmuş	Çok bozunmuş
		Puan	6	5	3	1	0
5	Yeraltı suyu (lt/dk)	10 m'lik Kısımdan gelen su	Yok	10	25	25-125	>125
		Genel koşullar	Tamamen kuru	Nemli	Islak	Damlama	Su akışı
		Puan	15	10	7	4	0



Şekil 12. RMR sisteminin son versiyonunda önerilen grafikler (Bieniawski, 1989)

Yukarıda verilen Tablo 5’de RMR kaya sınıflama sistemine göre kullanılan puanlamalar sunulmuştur. Kaya malzemesinin dayanımı, RQD ve süreksizlik ara uzaklığı parametrelerine ait puanlar ise Şekil 12’de verilen grafikler yardımıyla belirlenmektedir.

RMR sınıflama sisteminde süreksizlik takımının yönelimi göz ardı edilmemiş ve Bieniawski (1989) tarafından kazıya süreksizlik yönelimi düzeltmesinin yapılmasını önerilmiştir. Tablo 6’da süreksizlik yöneliminin etkisi, Tablo 7’de ise süreksizliklerin konumuna göre düzeltme katsayıları sunulmuştur.

Tablo 6. RMR sisteminde süreksizlik eğim ve doğrultusunun etkisi (Bieniawski, 1989)

Doğrultu tünel eksenine dik				Doğrultu tünel eksenine paralel		Doğrultuya bakılmaksızın
Eğim yönünde ilerleme	Eğime karşı yönde ilerleme	Eğim	Eğim	Eğim	Eğim	Eğim
45°-90°	20°-45°	45°-90°	20°-45°	45°-90°	20°-45°	0°-20°
Çok uygun	Uygun	Orta	Uygun değil	Hiç uygun değil	Orta	Orta

Tablo 7. RMR sisteminde süreksizlik yönelimine göre düzeltme (Bieniawski, 1989)

Süreksizliklerin doğrultu ve eğimi		Çok uygun	Uygun	Orta	Uygun değil	Hiç uygun değil
Puan	Tüneller	0	-2	-5	-10	-12
	Temeller	0	-2	-7	-15	-25
	Şevler	0	-5	-25	-50	-60

RMR sistemi, tünelticilik ve madencilik uygulamalarında da yaygın olarak kullanıldığından, yapılacak olan patlatmalarda, arazi gerilmeleri ve güzergahı kesen varsa faylar da göz önüne alınarak gerekirse bu etmenler için indirgeme yapılarak nihai RMR puanında düzeltme yapılmalıdır (Laubscher, 1977; Kendorski vd., 1983). Buna ek olarak, düşey ve yatay arazi gerilmeler yerinde deneylerle çok pahalıya ölçüldüğünden gerilme düzeltme katsayısı uygulamada göz ardı edilmektedir. Tablo 8’de zayıflık düzlemleri ve patlatmayla ilgili uygulama metotları ve bunların düzeltme katsayıları sunulmuştur.

Kaya kütlelerinin kalitesi, yukarıda anlatılan işlemlerin gerçekleştirilmesiyle hesaplanan RMR puanına göre Tablo 9’dan belirlenmektedir.

Tablo 8. Patlatma ve başlıca zayıflık düzlemleriyle ilgili düzeltme katsayıları (Kendorski vd., 1983)

Patlatma düzeltmesi (A_B)			
	Koşullar/Yöntem	Uygulanabilir terim	Düzeltilme katsayısı
1	Makineyle kazı	Hasarsız	1,0
2	Denetimli patlatma	Çok az hasar	0,94-0,97
3	İyi klasik patlatma	Orta derecede hasar	0,90-0,94
4	Kötü klasik patlatma	Şiddetli hasar	0,80-0,90
Başlıca zayıflık düzlemleriyle ilgili düzeltme (A_w)			
	Koşul		Düzeltilme katsayısı
1	Zayıflık düzlemi yok		1,00
2	Sert dayklar		0,90
3	Yumuşak cevher zonları		0,85
4	Ana kaya/cevher dokanak zonları		0,80
5	Kıvrımlar		0,75
6	Fay zonları		0,70

Tablo 9. RMR sınıflama sistemine göre kaya sınıfları ve puanları (Bieniawski, 1989)

Sınıf No	I	II	III	IV	V
Tanımlama	Çok iyi kaya	İyi kaya	Orta kaya	Zayıf kaya	Çok zayıf kaya
Puan	100-81	80-61	60-41	40-21	20-0

Bu çalışmada, T3 Tüneli güzergâhında yer alan her bir kaya kütlesi RMR sistemi ile sınıflandırılarak kaya kütle kaliteleri açısından değerlendirilmiştir. RMR puanı hesaplamalarında kullanılan değişkenlerin en düşük değerleri dikkate alınmış ve kaya kütle tanımlamaları düzeltilmiş RMR puanlarına göre yapılmıştır. Tünel güzergâhındaki birimlere ait RMR puanının 21-31 arasında değiştiği, kaya sınıflarının ise “zayıf kaya” olduğu saptanmıştır. Kaya kütleleri için hesap edilen RMR puanları aşağıdaki Tablo 10’da verilmiştir.

Tablo 10. SK 8-11 arasındaki kaya kütlelerinin RMR sınıflama sistemine göre değerlendirilmesi

		SK-8	SK-9	SK -10	SK-11
1	σ_{ci} (MPa)	20,25	23,08	26,45	56,83
	Puan	3	3	4	7
2	RQD (%)	10	50	20	10
	Puan	2	6	3	2
3	Süreksizlik ara uzaklığı (cm.)	5,00	9,00	6,00	5,00
	Puan	5	5	5	5
4	Süreksizlik durumu				
	Devamlılık (m.)	10-20	10-20	3-10	10-20
	Puan	1	1	2	1
	Açıklık (mm.)	4,0	4,0	4,0	4,0
	Puan	1	1	1	1
	Pürüzlülük	Düz	Pürüzlü	Pürüzlü	Düz
	Puan	1	5	5	1
	Dolgu	<5 mm. (yumuşak)	<5 mm. (yumuşak)	<5 mm. (yumuşak)	<5 mm. (yumuşak)
	Puan	2	2	2	2
	Bozunma	Bozunmuş	Orta derecede bozunmuş	Orta derecede bozunmuş	Bozunmuş
	Puan	1	6	6	1
5	Yeraltı suyu (lt/dk)				
	Genel koşullar	Nemli	Nemli	Nemli	Nemli
	Puan	10	10	10	10
	Temel RMR	26	39	38	30
	Süreksizlik yönelim düzeltmesi	-5	-5	-5	-5
	Nihai RMR	21	34	33	25
	Patlatma düzeltmesi	1	0,9	0,9	1
	Gerilme düzeltmesi	İhmal edildi	İhmal edildi	İhmal edildi	İhmal edildi
	Zayıflık düzeltmeleri düzeltmesi	1	1	1	1
	Düzeltilmiş RMR	21	31	30	25
	Tanımlama (Bieniawski, 1989)	Zayıf kaya	Zayıf kaya	Zayıf kaya	Zayıf kaya

3.2.4.2. Kaya Kütle Kalitesi (Q) Sistemi

Q sistemi, Barton vd. (1974) tarafından önerilmiştir. Bu sınıflama sisteminin uzun süreli tecrübeler sonrasında destek seçimlerine yönelik bölümünü Grimstad ve Barton (1993) tarafından, SRF (Gerilme Azaltma Faktörü) ve ESR (Kazı Destek Oranı) parametreleri ise Barton ve Grimstad (1994) tarafından yeniden düzenlenmiştir. Q değeri Barton vd. (1974) tarafından önerilen aşağıdaki eşitlikle belirlenmektedir.

$$Q = \left(\frac{RQD}{J_n} \right) \left(\frac{J_r}{J_a} \right) \left(\frac{J_w}{SRF} \right) \quad (3)$$

Burada; RQD: kaya kalite göstergesi (%), J_n : süreksizlik takımı sayısı, J_r : süreksizlik pürüzlülük değeri, J_a : süreksizlik yüzeyi bozunma değeri, J_w : süreksizlik suyu azaltma faktörü ve SRF: gerilme azaltma faktörüdür.

Q sınıflama sistemindeki girdi parametrelerinin belirlenmesi için önerilen kategoriler Tablo 11-17’de verilmiştir.

Tablo 11. Kaya kalite göstergesi - % RQD (Deere, 1964)

	RQD	KAYA KALİTE GÖSTERGESİ TANIMI
1	0-25	Çok zayıf
2	25-50	Zayıf
3	50-75	Orta
4	75-90	İyi
5	90-100	Çok iyi (Mükemmel)

Not: $RQD < 10$ (0 dahil) ise, Q ’nun hesaplanmasında RQD için 10 gibi nominal bir değer kullanılır. RQD için 100,95,90,....vb. gibi 5’lik aralıklar yeterlidir.

Tablo 12. Süreksizlik takım sayısı - J_n (Barton vd., 1974)

	SÜREKSİZLİK TAKIM SAYISI	J_n
A	Masif, eklem çok az veya hiç yok	0,5-1,0
B	Bir süreksizlik takımı	2
C	Bir süreksizlik takımı ve gelişigüzel eklemler	3
D	İki süreksizlik takımı	4
E	İki süreksizlik takımı ve gelişigüzel eklemler	6
F	Üç süreksizlik takımı	9
G	Üç süreksizlik takımı ve gelişigüzel süreksizlikler	12
H	Dört veya daha fazla süreksizlik takımı, gelişigüzel, çok fazla sayıda, küp şeker görünümünde	15
I	Parçalanmış kaya, toprak görünümünde	20

Not: *Arakesitler (kesişen tüneller) için $(3.0 \times J_n)$ kullanılır.

*Portallar (girişler) için $(2.0 \times J_n)$ kullanılır.

Tablo 13. Süreksizlik pürüzlülük sayısı - J_r (Barton vd., 1974)

SÜREKSİZLİK PÜRÜZLÜLÜK SAYISI	J_r
Süreksizlik yüzeyi temasta veya 10 cm'den az makaslama hareketiyle temasta	
<i>Not: Bu sıralamada tanımlamalar, küçük ve ara ölçekli özellikler göstermektedir</i>	
A Süreksiz	4
B Pürüzlü veya düzensiz, dalgalı	3
C Düz, dalgalı	2
D Sürtünme izli, dalgalı	1.5
E Pürüzlü veya düzensiz, düzlemsel	1.5
F Düz, düzlemsel	1.0
G Sürtünme izli düzlemsel	0.5
<i>Not: *İlgili süreksizlik takımının ortalama aralığı 2m'den daha büyük ise, J_r'ye 1.0 ilave edilebilir.</i>	
<i>*En az dirence göre yönlenmesi koşuluyla, çizgiselliklere sahip düz sürtünme yüzeyli süreksizlikler için $J_r = 0.5$ alınabilir.</i>	
Makaslama hareketiyle süreksizlik yüzeylerinin teması sağlanmadığında	
H Süreksizlik yüzeylerinin birbirine temasını önleyecek yeterli kalınlıkta kil minerali içeren zon	1,0
I Süreksizlik yüzeylerinin birbirine temasını önleyecek yeterli kalınlıktaki kumlu, çakıllı ya da parçalanmış zon	1,0

Tablo 14. Süreksizlik yüzeyi bozunma sayısı - J_a (Barton vd., 1974)

SÜREKSİZLİK YÜZEYİ BOZUNMA SAYISI	J_a	ϕ°
a) Süreksizlik yüzeyleri temasta (Mineral dolgu yada kil kaplaması yok)		
A Sıkıca bağlanmış sert, yumuşamayan, geçirimsiz dolgu (örneğin kuvars veya epidot)	0,75	-
B Bozunmamış süreksizlik yüzeyleri, yalnızca yüzeysel kirlenme	1,0	25-35
C Az bozunmuş süreksizlik yüzeyleri, yumuşamayan mineral kaplamaları, kum taneleri, kum içermeyen kaya parçaları vd.	2,0	25-30
D Siltli veya kumlu-kil sıvımaları, küçük kil fraksiyonu (yumuşak değil)	3,0	20-25
E Yumuşamayan veya düşük sürtünmeli kil mineral sıvımaları, örneğin kaolen veya mika. Ayrıca klorit, talk, jips, grafit vs. ve az miktarda şişen killer	4,0	8-16
b) 10 cm'den az bir kayma hareketiyle süreksizlik yüzeylerinin teması sağlanabildiğinde (İnce mineral dolgu)		
F Kum taneleri, kil içermeyen parçalanmış kaya vd.	4,0	25-30
G Aşırı konsolide olmuş, yumuşamayan kil mineral dolguları (sürekli ancak kalınlığı 5 mm'den az)	6,0	16-24
H Orta veya düşük derecede konsolide olmuş yumuşamayan kil minerali dolguları (sürekli ancak kalınlığı 5 mm'den az)	8,0	12-16
I Şişen kil dolguları, örneğin; montmorillonit (sürekli ancak kalınlığı 5 mm'den az) J_a değeri şişen kil boyutundaki tanelerin yüzdesine ve suyun etkisine bağlıdır	8-12	6-12
c) Süreksizlik yüzeylerinde kayma durumunda temas yok (İnce mineral dolgu)		
J Parçalanmış kaya veya kil zonları veya bantları (kilin tanımlanması için G, H ve J maddelerine bakınız)	6-8 veya 8-12	6-24
K Siltli veya kumlu kil zonları veya bantları, düşük kil fraksiyonu (yumuşamayan)	5.0	-
L Kalın, sürekli kil zonları veya bantları (kilin tanımlanması için G, H ve J maddelerine bakınız)	10-13 veya 13-20	6-24

Tablo 15. Süreksizlik suyu azaltma faktörü - J_w (Barton vd., 1974)

SÜREKSİZLİK SUYU AZALTMA FAKTÖRÜ	J_w	Yaklaşık su basıncı (kgf/cm ²)
A Kuru kazılar ya da küçük sızma, örneğin yerel olarak < 5 lt/dk	1,0	<1
B Orta derecede su gelişi veya basınç, yer yer süreksizliklerdeki dolguların yıkanması	0,66	1-2,5
C Dolgusuz, süreksizlik içeren, dayanımlı kayada büyük miktarda su gelişi veya yüksek basınç	0,5	2,5-10
D Büyük miktarda su gelişi veya yüksek basınç, süreksizlik dolgularının aşırı derecede yıkanması	0,33	2,5-10
E Patlatmada son derece aşırı su gelişi veya su basıncı, zamanla azalan	0,2-0,1	10
F Zamanla azalmaksızın devam eden son derecede aşırı su gelişi veya basıncı	0,1-0,05	>10

Not: *C ve F faktörleri kaba tahminlerdir. Drenaj ölçümleri yapılırsa J_w arttırılır.

*Buz oluşumundan kaynaklanan özel problemler dikkate alınmamıştır.

Tablo 16. Gerilme azaltma faktörü - SRF (Barton ve Grimstad, 1994)

GERİLME AZALTMA FAKTÖRÜ		SRF		
a) Kazıyı kesen zayıf zonlar, tünel kazılırken kaya kütlelerinin gevşemesine neden olabilirler				
A	Kil veya kimyasal olarak ayrılmış kaya içeren zayıf zonlar, çok gevşek çevre kayacı (herhangi bir derinlikte)		10	
B	Kil veya kimyasal olarak ayrılmış kaya içeren tek bir zayıf zon (kazı derinliği < 50 m)		5	
C	Kil veya kimyasal olarak ayrılmış kaya içeren tek bir zayıf zon (kazı derinliği > 50 m)		2,5	
D	Kil içermeyen dayanımlı kayada birden fazla makaslama zonu, gevşek çevre kayacı (herhangi bir derinlikte)		7,5	
E	Kil içermeyen dayanımlı kayada birden fazla makaslama zonu, (kazı derinliği < 50m)		5,0	
F	Kil içermeyen dayanımlı kayada tek bir makaslama zonu, (kazı derinliği > 50 m)		2,5	
G	Gevşek ve açık süreksizlikler, fazla süreksizlik içeren “küp şekeri” görünümlü (herhangi bir derinlikte)		5,0	
Not: *Kayma zonları yalnızca kazıyı etkiliyor, ancak kesmiyorsa, SRF için yukarıda verilen değerler %25-50 dolaylarında azaltılmaktadır				
b) Dayanımlı kaya, kaya gerilmesi sorunları		σ_c/σ_1	$\sigma_\theta/\sigma_{ci}$	SRF
H	Düşük gerilme, yüzeye yakın	>200	<0,01	25
I	Orta derecede gerilme	200-10	0,01-0,3	1
J	Yüksek gerilme, çok sıkı yapı (genellikle duraylı, yan duvar duraylılığı açısından uygun olmayabilir)	10-5	0,3-0,4	0,5-2
K	Masif kayada 1 saatlik bir süreden sonra orta derecede dilimlenme	5-3	0,5-0,65	5-50
L	Masif kayada 1 birkaç dakikadan sonra dilimlenme ve kaya patlaması	3-2	0,65-1	50-200
M	Masif kayada aşırı kaya patlaması ve ani dinamik deformasyon	<2	>1	200-400
Not: *Oldukça anizotrop bakir bir gerilme alanı için (ölçülebilirse): $5 \leq \sigma_1/\sigma_3 \leq 10$ olduğunda, σ_c $0.75\sigma_{ci}$ ’ye, $\sigma_1/\sigma_3 > 10$ ise ve $0.5\sigma_c$ ’ye düşürülür. Burada: σ_{ci} tek eksenli basınç dayanımı, σ_θ en büyük teğetsel gerilme (elastik kuramdan tahmin edilen) ve σ_1 ile σ_3 de en büyük ve en küçük asal gerilmelerdir.				
*Tavan yüksekliğinin genişliğinden az olduğu durumlarla ilgili birkaç vaka kaydı mevcuttur. Bu tip durumlarda SRF’nin 2,5’den 5’e çıkarılması önerilir.				
*Sıkışan kaya vakaları $H > Q^{1/3}$ derinlik koşulunda meydana gelebilir (Singh vd., 1993). Kaya kütlelerinin basınç dayanımı $\sigma_{cm} = 0.7\gamma Q^{1/3}$ (MPa) eşitliğinden tahmin edilebilir. Burada: γ kayanın birim hacim ağırlığıdır (kN/m ³)				
c) Yüksek kaya basıncının etkisi altında dayanımsız kayada plastik akma				
N	Az sıkıştıran kaya basıncı		1-5	5-10
O	Aşırı sıkıştıran kaya basıncı		>5	10-20
d) Suyun varlığına bağlı olarak kimyasal şişme aktivitesi				
P	Düşük kaya basıncı		5-10	
R	Çok yüksek kaya basıncı		10-15	

Yukarıda verilen ölçütlere göre Q değerleri bilinen kaya kütlelerinin kalitesi Tablo 17’ye göre tanımlanmaktadır.

Tablo 17. Q değerlerine göre kaya kütlelerinin sınıflandırılması (Barton vd., 1974)

Q değeri	Kaya sınıfı
0,001-0,01	Son derecede zayıf
0,01-0,1	Çok fazla zayıf
0,1-1	Çok zayıf
1-4	Zayıf
4-10	Orta
10-40	Sağlam
40-100	Çok sağlam
100-400	Çok fazla sağlam
400-1000	Son derece sağlam

İncelenen tüneli güzergâhında yer alan kaya kütleleri Q sistemi ile sınıflandırılarak kaya kütlelerinin kaliteleri saptanmıştır. Tünel güzergâhındaki kaya kütlelerine ait Q değerinin 0,04-2,50 arasında değiştiği, kaya sınıfının “çok fazla zayıf kaya”, “çok zayıf kaya” ve “zayıf kaya” olduğu saptanmıştır. Kaya kütleleri için hesaplanan Q değerleri Tablo 18’de sunulmuştur.

Tablo 18. Kaya kütlelerinin Q kaya kütle sınıflama sistemine göre değerlendirilmesi

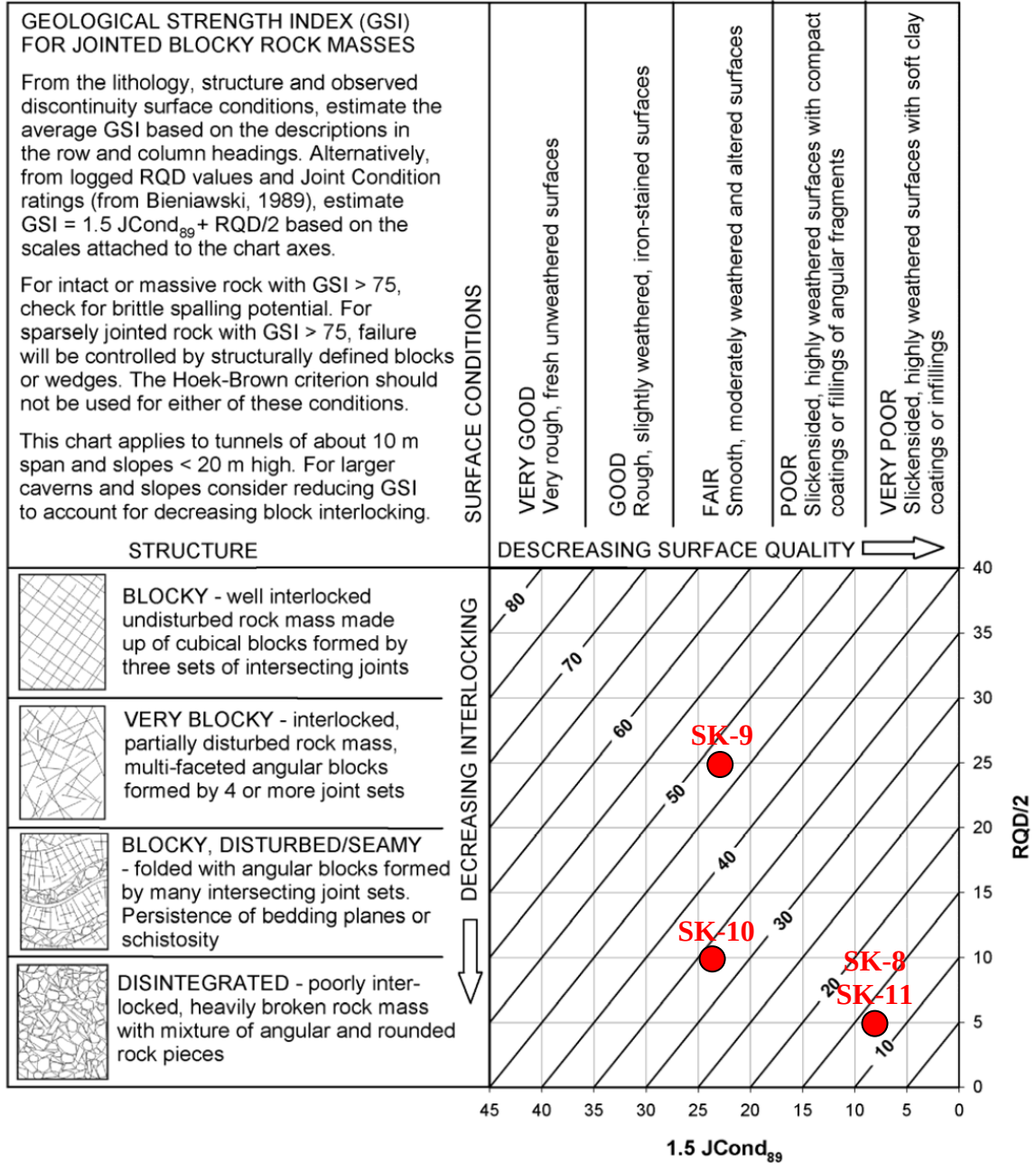
Sondaj No	RQD (%)	J _n	J _r	J _a	J _w	SRF	Q Tanımlama (Barton vd., 1974)
SK-8	10	6x2	1	4	1	5	0,04/Çok fazla zayıf
SK-9	50	6	3	4	1	2,5	2,50/Zayıf
SK-10	20	6	3	4	1	5	0,50//Çok zayıf
SK-11	10	6x2	1	4	1	5	0,04/Çok fazla zayıf

3.2.4.3. Jeolojik Dayanım İndeksi (GSI) Sistemi

İlk kez Hoek vd. (1995) tarafından tanımlanan GSI sistemi, arazi tecrübelerinden faydalanarak değişen jeolojik-jeoteknik koşullara göre kaya kütlesi dayanımının kestirilmesi temeline dayanmaktadır. Kaya kütlesinin özellikleri, kayanın bloklu yapısı ve süreksizliklerin durumu (pürüzlülük, bozunma ve dolgu vb.) gibi görsel tanımlamalara bağlıdır. GSI yardımıyla kaya kütlelerinin dayanım ve deformasyon özellikleri ve kütle sabitleri ampirik olarak belirlenebilmektedir. Kaya kütlelerine ait GSI değerini belirlemek için Hoek vd. (2013) tarafından önerilen aşağıdaki formül, kaya yapısı sınıfını belirlemek için ise Şekil 13’te verilen sayısal GSI abağı kullanılmıştır.

$$GSI = 1,5JCond_{89} + \frac{RQD}{2} \quad (4)$$

Burada; RQD: kaya kalite göstergesi (%) ve JCond₈₉: RMR sisteminin 1989 versiyonundaki toplam süreksizlik durumu puanıdır.



Şekil 13. Hoek vd. (2013) tarafından önerilen sayısal GSI abağına göre kaya kütlelerinin değerlendirilmesi

Buna göre Jeolojik Dayanım İndeksi (GSI) değerinin 14-48 arasında değiştiği ve kaya kütlelerinin “örselenmiş”, “örselenmiş-bloklu kaya” ve “örselenmiş kaya” sınıfında olduğu belirlenmiştir (Tablo 19).

Tablo 19. Kaya kütlelerinin GSI sistemine göre değerlendirilmesi

Sondaj No	RQD (%)	RQD/2 (%)	JCond ₈₉	1,5xJCond ₈₉	GSI Tanımlama (Hoek vd. 2013)
SK-8	10	5	6	9	14/Örselenmiş
SK-9	50	25	15	23	48/Çok bloklu
SK-10	20	10	16	24	34/Bloklu, örselenmiş
SK-11	10	5	6	9	14/Örselenmiş

3.2.5. Kaya Kütle Özellikleri

T3 Tüneli güzergâhındaki kaya kütlelerinin dayanım özellikleri Hoek-Brown (Hoek vd., 2002) yenilme kriteri ile belirlenmiştir. m_b , s ve a kaya kütle sabitlerinin belirlenmesi için Hoek vd. (2002) tarafından önerilen aşağıdaki eşitliklerden yararlanılmıştır;

$$m_b = m_i \exp \left[\frac{GSI - 100}{28 - 14D} \right] \quad (3)$$

$$s = \exp \left[\frac{GSI - 100}{9 - 3D} \right] \quad (4)$$

$$a = \frac{1}{2} + \frac{1}{6} \left[e^{-GSI/15} - e^{-20/3} \right] \quad (5)$$

Burada; m_i : kırısız kaya için malzeme sabiti değeri ve D : örselenmemiş kaya kütleleri için 0'dan başlayarak, çok örselenmiş kayalarda 1'e kadar değişen bir faktördür. Bu çalışmada delme-patlatma yöntemiyle kazılan ve SK-9 ve SK-10 ile temsil edilen kaya kütleleri için örselenme faktörü, kontrollü patlatma uygulandığından dolayı 0 olarak seçilmiştir.

Kaya kütlelerine ait tek eksenli basınç dayanımı (σ_{cm}) Hoek vd. (2002), deformasyon modülü (E_m) ise Hoek ve Diederichs (2006) tarafından önerilen aşağıdaki eşitlikler yardımıyla hesaplanmıştır.

$$\sigma_{cm} = \sigma_{ci} \cdot S^a \text{ (MPa)} \quad (6)$$

$$E_m = E_i \left(\frac{1 - (D/2)}{1 + e^{(60+15D-GSI)/11}} \right) \text{ (GPa)} \quad (7)$$

Kaya kütlelerine ait Poisson oranı (ν_m) hesaplanırken Aydan vd. (1993) tarafından tanımlanan aşağıdaki görgül denklemden yararlanılmıştır.

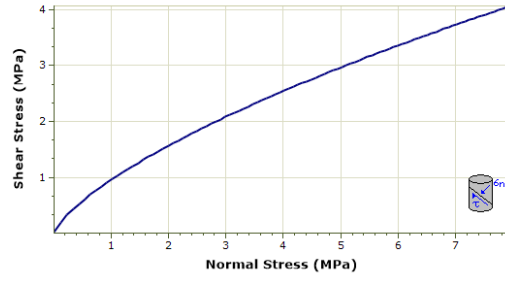
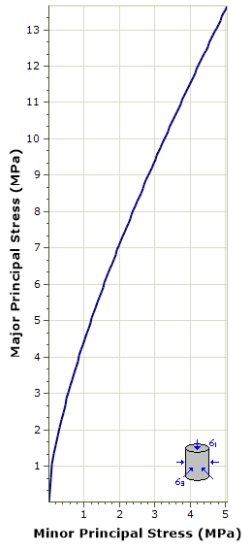
$$\nu_m = 0,25 \left(1 + e^{-\sigma_{cm}/4} \right) \quad (8)$$

Elde edilen sonuçlar Tablo 20’de, Hoek-Brown yenilme kriterine göre kaya kütleleri için RocData v5.0 programında çizilen (σ_1 - σ_3) ve (σ - τ) grafikleri ise Şekil 14-17’de sunulmuştur.

Tablo 20. Kaya kütlelerine ait parametreler

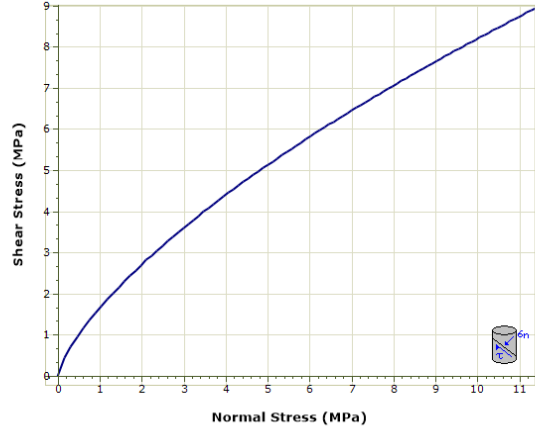
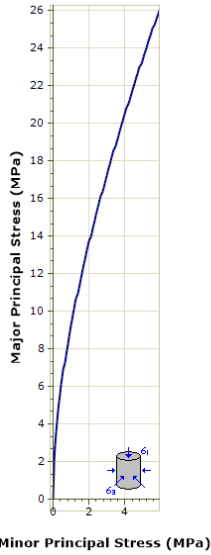
Sondaj No	m_b	s	a	m_i	D	σ_{cm} (MPa)	E_m (GPa)	ν_m
SK-8	0.88	0.0001	0.565	19	0	0.09	0.44	0.49
SK-9	2.97	0.0031	0.507	19	0	1.24	4.21	0.43
SK-10	1.80	0.0007	0.517	19	0	0.60	1.63	0.47
SK-11	0.88	0.0001	0.565	19	0	0.26	1.06	0.48

Yapılan hesaplamalar sonucunda Hoek-Brown yenilme kriteri kullanılarak belirlenen kaya kütle parametrelerinin m_b : 0,88-2,77, s: 0,0001-0,0031, a: 0,507-0,565 arasında değiştiği, tek eksenli basınç dayanımının (σ_{cm}) 0,09-1,24 MPa, deformasyon modülünün (E_m) 0,44-4,21 GPa, Poisson oranının (ν_m) 0,43-0,49 arasında değiştiği belirlenmiştir.



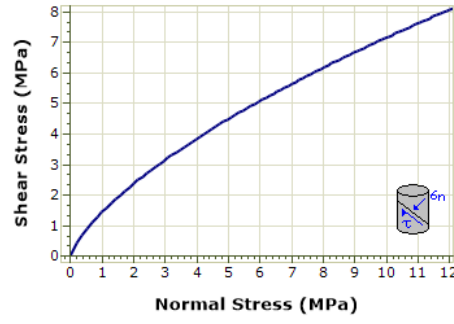
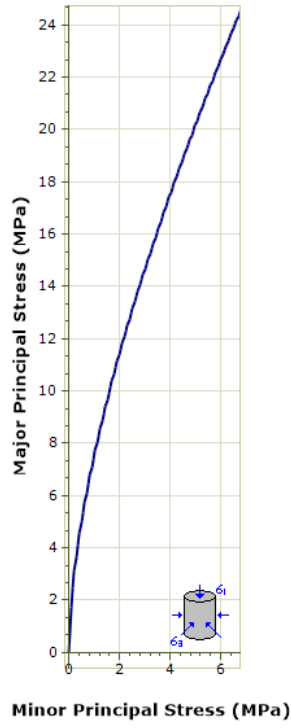
SK-8 NOLU SONDAJ	
Hoek Brown Classification	
intact uniaxial compressive strength	20.25 MPa
GSI	14
mi	19
disturbance factor	0
intact modulus	12480 MPa
Hoek Brown Criterion	
mb	0.881
s	7.081e-005
a	0.565
Failure Envelope Range	
application	general
sig3max	5.063 MPa
Mohr Coulomb Fit	
cohesion	0.598 MPa
friction angle	24.704 deg
Rock Mass Parameters	
tensile strength	-0.002 MPa
uniaxial compressive strength	0.091 MPa
global strength	1.866 MPa
modulus of deformation	437.312 MPa

Şekil 14. SK-8 nolu sondajda kesilen kaya kütlesine ait (σ_1 - σ_3) ve (σ - τ) grafikleri



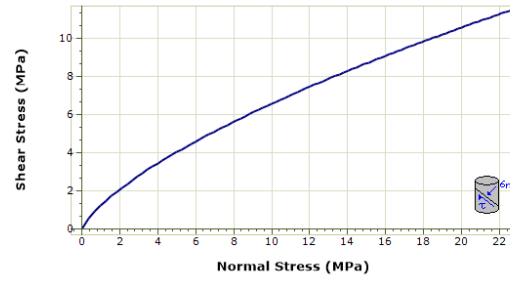
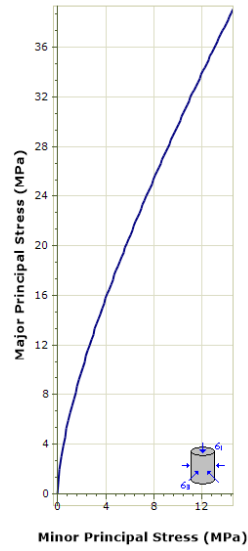
SK-9 NOLU SONDAJ	
Hoek Brown Classification	
intact uniaxial compressive strength	23.08 MPa
GSI	48
mi	19
disturbance factor	0
intact modulus	15520 MPa
Hoek Brown Criterion	
mb	2.966
s	0.003
a	0.507
Failure Envelope Range	
application	general
sig3max	5.77 MPa
Mohr Coulomb Fit	
cohesion	1.356 MPa
friction angle	35.447 deg
Rock Mass Parameters	
tensile strength	-0.024 MPa
uniaxial compressive strength	1.236 MPa
global strength	5.261 MPa
modulus of deformation	4212.859 MPa

Şekil 15. SK-9 nolu sondajda kesilen kaya kütlesine ait (σ_1 - σ_3) ve (σ - τ) grafikleri



SK-10 NOLU SONDAJ	
Hoek Brown Classification	
intact uniaxial compressive strength	26.45 MPa
GSI	34
mi	19
disturbance factor	0
intact modulus	15400 MPa
Hoek Brown Criterion	
mb	1.799
s	6.534e-004
a	0.517
Failure Envelope Range	
application	general
sig3max	6.612 MPa
Mohr Coulomb Fit	
cohesion	1.254 MPa
friction angle	31.191 deg
Rock Mass Parameters	
tensile strength	-0.01 MPa
uniaxial compressive strength	0.597 MPa
global strength	4.45 MPa
modulus of deformation	1632.215 MPa

Şekil 16. SK-10 nolu sondajda kesilen kaya kütesine ait (σ_1 - σ_3) ve (σ - τ) grafikleri



SK-11 NOLU SONDAJ	
Hoek Brown Classification	
intact uniaxial compressive strength	56.83 MPa
GSI	14
mi	19
disturbance factor	0
intact modulus	30830 MPa
Hoek Brown Criterion	
mb	0.881
s	7.081e-005
a	0.565
Failure Envelope Range	
application	general
sig3max	14.208 MPa
Mohr Coulomb Fit	
cohesion	1.678 MPa
friction angle	24.704 deg
Rock Mass Parameters	
tensile strength	-0.005 MPa
uniaxial compressive strength	0.256 MPa
global strength	5.237 MPa
modulus of deformation	1080.315 MPa

Şekil 17. SK-11 nolu sondajda kesilen kaya kütesine ait (σ_1 - σ_3) ve (σ - τ) grafikleri

3.2.6. Kaya Kütlelerinin Kazılabilirlik Sınıflama Sistemlerine Göre Değerlendirilmesi

Kaya vd. (2011) yaptığı çalışmada yüzey ortamında yazılan kazılar için uygulama sırasında sıklıkla tercih edilen Franklin vd. (1971), Kirsten (1982), Abdullatif ve Cruden (1983), Pettifer ve Fookes (1994), Hoek ve Karzulovic (2000), Tsiambaos ve Saroglou (2009) tarafından geliştirilen kazılabilirlik yöntemlerinin tüneller gibi yeraltı kazılarında uygulanabilirliklerini incelemiştir. Bu sebeple uygulamada yapılan in-situ kazı metotları ile kazılabilirlik yöntemlerine göre saptanan kazı sınıflarını karşılaştırmış ve Pettifer ve Fookes (1994) ile Tsiambaos ve Saroglou (2009) tarafından önerilmiş yöntemlerin, in-situ kazı metotlarıyla uyumluluk içinde olduğunu saptamıştır. Yeraltı kazılarında kayaçların kazılabilirlik karakteristiği malzeme dayanımı ve blok boyutu tarafından denetlenmektedir. Bu değişkenlerin dikkate alındığı kazılabilirlik sistemlerine göre kazı metodunu saptamak uygulama aşamasında daha güvenilir çıktılar sunmakta ve kazı işinin uygulanabilirliğine hem ekonomiklik hem de zamanlama açısından olumlu yönde katkıda bulunmaktadır. Belirtilen bu yöntemler GSI, $I_{s(50)}$ ve I_f parametrelerini doğrudan girdi olarak kullandığından hem yüzey hem de yeraltı kazıları için de uygulanabilir (Kaya vd., 2011).

Bu çalışmada, T3 Tüneli hattında bulunan kaya kütlelerinin kazılabilirlik özelliklerini saptamak amacıyla Pettifer ve Fookes (1994) ile Tsiambaos ve Saroglou (2009) tarafından ortaya konulan kazılabilirlik yöntemlerinden faydalanılmıştır.

Pettifer ve Fookes (1994) tarafından geliştirilen yöntemde değişken olarak süreksizlik aralık indeksi (I_f) ve nokta yükü dayanım indeksi ($I_{s(50)}$) parametreleri dikkate alınmaktadır. Süreksizlik aralık indeksi (I_f) değeri, hacimsel eklem sayısından (J_v) faydalanılarak iki süreksizlik seti içeren kaya ortamlarında ISRM (2007) tarafından önerilmiş aşağıdaki denklemle hesaplanmaktadır.

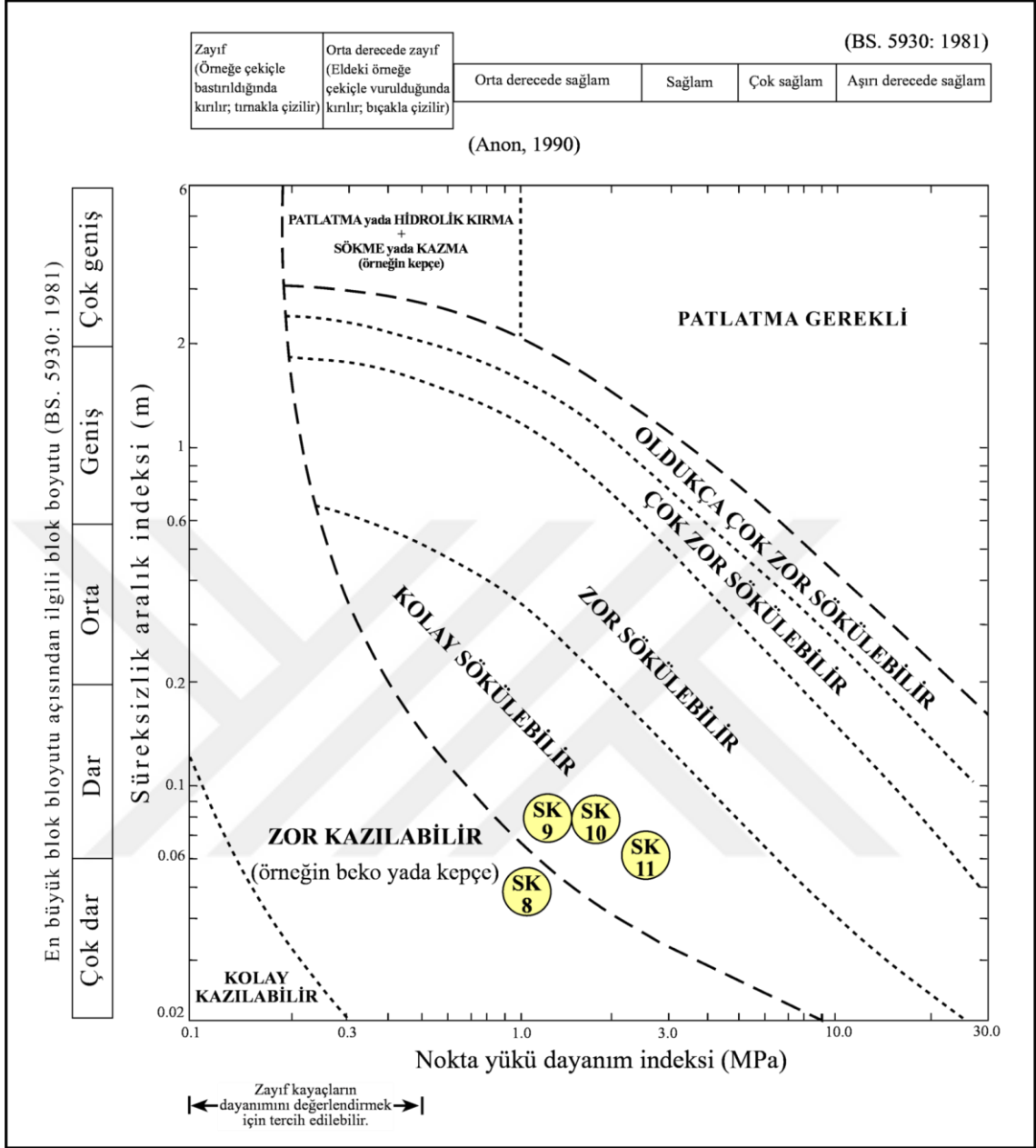
$$I_f = \frac{2}{J_v} \quad (9)$$

Pettifer ve Fookes (1994) tarafından önerilen sınıflandırmaya göre giriş bölümündeki SK-8 nolu sondajla temsil edilen kaya kütleleri, “zor kazılabilir”, orta bölümdeki SK-9 ve SK-10 ile çıkış bölümündeki SK-12 nolu sondajlarla tanımlanan kaya kütleleri “kolay sökülebilir” kaya sınıflarındandır (Şekil 18).

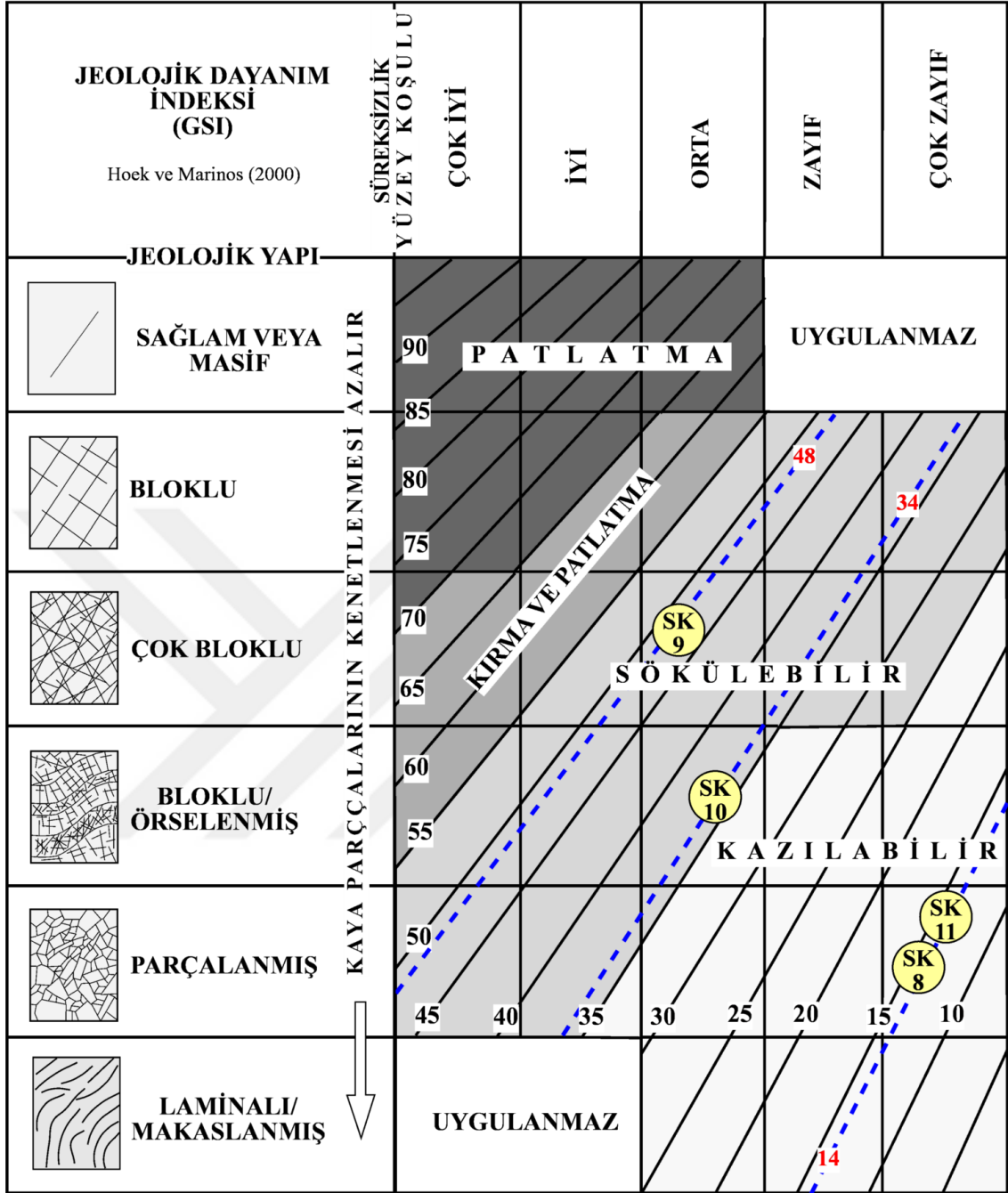
Tsiambaos ve Saroglou (2009) tarafından geliştirilen yöntemde girdi olarak GSI ve $I_{s(50)}$ parametreleri dikkate alınmaktadır. $I_{s(50)} \geq 3$ MPa ve $I_{s(50)} < 3$ MPa koşulu için kaya ortamlarını kazılabilirlik açısından değerlendirmek için iki farklı GSI abağı geliştirmiştir. Kaya malzemelerine ait $I_{s(50)}$ değerleri 1,02-2,50 MPa arasında olduğundan kaya kütlelerinin kazı sınıfını belirlemek için $I_{s(50)} < 3$ MPa koşuluna göre önerilmiş GSI abağı kullanılmıştır. Tsiambaos ve Saroglou (2009) tarafından önerilen sınıflandırmaya göre giriş ve çıkış bölümlerindeki kaya kütleleri “kazılabilir”, orta bölümdeki kaya kütleleri ise “sökülebilir” kaya sınıfındadır (Şekil 19).

Yapılan analizler sonucunda T3 Tüneli’nin giriş ve çıkış bölümlerindeki kaya kütlelerinin kepçeyle kazılabilir, orta bölümdeki kaya kütlelerinin ise hidrolik kırıcıyla sökülebilir özellikte olduğu belirlenmiştir. Ancak, tünel güzergâhındaki kaya kütlelerine yeraltı kazısı uygulanacağından hidrolik kırıcı kullanılarak sökme işleminin yapılacağı orta bölümde kontrollü patlatma yaparak kazı işlemini yürütmenin hızlı ilerleme açısından faydalı olacağı önerilmektedir.

Kazılabilirlik sınıflama sistemleri ile belirlenen kazı yöntemleriyle benzer şekilde T3 Tüneli’nin giriş ve çıkış bölümlerinin kazısı sırasında mekanik kazı işlemi uygulanmıştır. Orta bölümdeki kaya kütlelerinin kazısı da ise kontrollü patlatma yapılarak tünel açma işlemi devam etmektedir.



Şekil 18. Kaya kütlelerinin Pettifer ve Fookes (1994) tarafından önerilen kazılabilirlik sınıflama sistemine göre değerlendirilmesi



Şekil 19. Kaya kütlelerinin Tsiambaos ve Saroglou (2009) tarafından önerilen kazılabilirlik sınıflama sistemine göre değerlendirilmesi ($I_{s(50)} < 3$ MPa)

4. TARTIŞMA ve SONUÇLAR

Bu çalışmada, T3 Tüneli (Pehlivantaşı-Rize) güzergâhında yer alan kaya kütlelerinin jeoteknik ve kazılabilirlik özellikleri incelenmiştir. Gerçekleştirilen çalışmalar ile saptanan sonuçlar aşağıda sunulmuştur;

1) Tünel güzergâhında yer alan birimler litostratigrafik sınıflama ve adlama kuralları (NACS, 1983) esas alınarak tanımlanmış ve Geç Kretase yaşlı Çağlayan Formasyonu'na ait bazalt, aglomera ve tuf türü volkanik kayaların bulunduğu saptanmıştır.

2) Kaya malzemelerinin fiziko-mekanik ve elastik özelliklerini belirlemek için yapılan laboratuvar deneyleri sonucunda SK-8 nolu sondajdan derlenen örnekler için ortalama γ değerinin $23,66 \text{ kN/m}^3$, σ_{ci} değerinin $20,25 \text{ MPa}$, $I_{S(50)}$ değerinin $1,02 \text{ MPa}$, E_i değerinin $12,48 \text{ GPa}$ ve ν_i değerinin $0,25$ olduğu belirlenmiştir. SK-9 nolu sondajdan derlenen örnekler için ortalama γ değerinin $23,86 \text{ kN/m}^3$, σ_{ci} değerinin $23,08 \text{ MPa}$, $I_{S(50)}$ değerinin $1,22 \text{ MPa}$, E_i değerinin $15,52 \text{ GPa}$ ve ν_i değerinin $0,26$ olduğu saptanmıştır. SK-10 nolu sondajdan derlenen örnekler için ortalama γ değerinin $24,73 \text{ kN/m}^3$, σ_{ci} değerinin $26,45 \text{ MPa}$, $I_{S(50)}$ değerinin $1,21 \text{ MPa}$, E_i değerinin $15,40 \text{ GPa}$ ve ν_i değerinin $0,27$ olduğu tespit edilmiştir. SK-11 nolu sondajdan derlenen örnekler için ortalama γ değerinin $24,39 \text{ kN/m}^3$, σ_{ci} değerinin $56,83 \text{ MPa}$, $I_{S(50)}$ değerinin $2,50 \text{ MPa}$, E_i değerinin $30,83 \text{ GPa}$ ve ν_i değerinin $0,24$ olduğu belirlenmiştir.

3) Süreksizliklere ait konum, ara uzaklık, açıklık, devamlılık, pürüzlülük ve dalgalılık, bozunma durumu, dolgu malzemesi ve su durumu gibi özellikler ISRM (2007) tarafından önerilen ölçütlere göre tanımlanmıştır. Buna göre tünel güzergahındaki kaya kütlelerinde iki adet eklem takımının olduğu, süreksizlik ara uzaklığının “dar ve yakın” arasında değiştiği, süreksizlik açıklığının “açık” olduğu, süreksizliklerdeki dolgu malzemesinin genel olarak yumuşak kil dolgu, yer yer kil sıvaması ve demiroksit boyaması olduğu, süreksizlik devamlılığının “yüksek ve orta derece” arasında değiştiği, dalgalılık pürüzlüğün ve “dalgalı-düz ve dalgalı-pürüzlü” olduğu, bozunma derecesinin “ileri ve orta derece bozunmuş” arasında değiştiği, su durumunun ise “nemli” olduğu değiştiği tespit edilmiştir.

4) Kaya kütlelerine ait kaya kalite göstergesinin (RQD) % 10-50 arasında ve hacimsel eksem sayısının (J_v) 24-40 eklem/m³ arasında değiştiği saptanmıştır.

5) Tünel güzergâhında yer alan kaya kütlelerine ait RMR puanının 21-31 arasında değiştiği, kaya sınıfının ise “zayıf” olduğu belirlenmiştir. Tünel güzergâhında yer alan kaya kütlelerine ait Q değerinin 0,04-50 arasında değiştiği, kaya sınıfının “çok fazla zayıf kaya”, “çok zayıf kaya” ve “zayıf kaya” olduğu tespit edilmiştir. Kaya kütlelerine ait GSI değerinin 14-48 arasında değiştiği ve kaya kütlelerinin “örselenmiş”, “örselenmiş-bloklu kaya” ve “örselenmiş kaya” sınıfında olduğu saptanmıştır.

6) Kaya kütlelerine ait tek eksenli basınç dayanımının (σ_{cm}) 0,09-1,24 MPa arasında, deformasyon modülünün (E_d) 0,44-4,21 GPa arasında ve Poisson oranının (ν_m) 0,43-0,49 arasında değiştiği tespit edilmiştir.

7) Pettifer ve Fookes tarafından önerilen kazılabilirlik sınıflama sistemine göre giriş bölümündeki SK-8 nolu sondajla temsil edilen kaya kütleleri, “zor kazılabilir”, orta bölümdeki SK-9 ve SK-10 ile çıkış bölümündeki SK-12 nolu sondajlarla tanımlanan kaya kütleleri “kolay sökülebilir” kaya sınıflarındandır. Tsiambaos ve Saroglou tarafından önerilen kazılabilirlik sınıflama sistemine göre giriş ve çıkış bölümlerindeki kaya kütleleri “kazılabilir”, orta bölümdeki kaya kütleleri ise “sökülebilir” kaya sınıfındadır.

8) Yapılan analizler sonucunda, Pettifer ve Fookes ve Tsiambaos ve Saroglou tarafından önerilen yöntemlerin birbirleriyle uyumlu olduğu saptanmıştır. T3 Tüneli’nin giriş ve çıkış bölümlerindeki kaya kütlelerinin kepçeyle kazılabilir, orta bölümdeki kaya kütlelerinin ise hidrolik kırıcıyla sökülebilir özellikte olduğu belirlenmiştir. Bu nedenle orta bölümdeki birimlerin kazısı sırasında hızlı ilerleme açısından kontrollü patlatma yönteminin uygulanması önerilmektedir. Yeraltı kazılarında kayaçların kazılabilirlik özelliği blok boyutu ve kaya malzemesinin dayanımı tarafından kontrol edilmektedir. Pettifer ve Fookes ile Tsiambaos ve Saroglou tarafından önerilen kazılabilirlik yöntemleri bu değişkenleri doğrudan kullanmaktadır. Bu iki sınıflama sisteminin yüzey kazılarının yanı sıra yeraltı kazıları için de uygulanabilir özellikte olduğu söylenebilir.

KAYNAKLAR

- Abdullatif, O.M. and Cruden, D.M., 1983.** The relationship between rock mass quality and ease of excavation. Bulletin of the International Association of Engineering Geology, 28, 183-187.
- Akın, A., 2006.** Kazılabilirlik ve Riperlenebilirlik Sınıflama Sistemlerinin Araştırılması ve Değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sivas, Türkiye, 86 s.
- Aliyazıcıoğlu, İ., 1994.** Kale (Gümüşhane) Yöresi Volkanik Kayaçlarının Petrografik, Jeokimyasal ve Petrolojik İncelemesi. Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, Türkiye, 96 s.
- Arslan, M. ve Aslan, Z., 2006.** Minerology, petrography and whole-rock geochemistry of Tertiary granitic intrusion in the Eastern Pontides, Turkey. Journal of Asian Earth Sciences, 27, 177-193.
- Atkinson, T., 1971.** Selection of open-pit excavating and loading equipment. Transactions of the Institution of Mining and Metallurgy, 80, A101-129.
- Aydan, Ö., Akagi, T. and Kawamoto, T., 1993.** The squeezing potential of rocks around tunnels; theory and prediction. Rock Mechanics and Rock Engineering, 26, 2, 137-163.
- Bailey, A.D., 1975.** Rock types and seismic velocities versus rippability. Highway Geology Symposium, Proceedings, 26, 135-142.
- Barton, N. and Grimstad, E., 1994.** The Q-system following twenty years of application in NTM support selection. Felsbau, 428-436.
- Barton, N.R., Lien, R. and Lunde, J., 1974.** Engineering classification of rock masses for the design of tunnel support. Rock Mechanics, 4, 189-239.
- Bieniawski, Z.T., 1973.** Engineering classification of jointed rock masses. Transactions of South African Institution of Civil Engineering, 15, 335-344.
- Bieniawski, Z.T., 1989.** Engineering rock mass classifications, Wiley, New York, 251 p.
- Bozdağ, T., 1988.** Indirect Rippability Assessment of Coal Measure Rocks. Yüksek Lisans Tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, Türkiye, 86 s.
- Ceryan, N., 2009.** Taşönü Kalker Ocağındaki (Trabzon) Kaya Şevleri Duraylılığının Olasılık Yöntemle Analizi ve Kazılabilirlik. Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, Türkiye, 204 s.

- Ceylanoglu, A., Gül, Y. ve Akın, A., 2007.** Kazılabilirlik ve ripirlenebilirlik sınıflama sistemlerinin incelenmesi ve yeni bir sınıflama sisteminin önerilmesi. Madencilik Dergisi, 46, 2, 13-26.
- Çoğulu, E., 1975.** Gümüşhane ve Rize Granitik Plütonlarının Mukayeseli Petrojeolojik ve Jeokronometrik Etüdü. Doçentlik Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Maden Fakültesi, İstanbul.
- Deere, D.U., 1964.** Technical description of rock cores for engineering purposed. Rock Mechanics and Rock Engineering, 1, 17-22.
- Erdem, O., 2018.** Yoncalı Barajı (Malatya) İsale Tüneli Güzergahındaki Kaya Kütlelerinin Kazılabilme Özellikleri. Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, Türkiye, 131 s.
- Eren, M., 1983.** Gümüşhane-Kale Arasının Jeolojisi ve Mikrofasiyes İncelemesi. Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, Türkiye.
- Franklin, J.A., Broch, E. and Walton, G., 1971.** Logging the mechanical character of rock. Transactions of the Institution of Mining and Metallurgy, 80, A, 1-9.
- Gedikoğlu, A., 1979.** Harşit Granit Karmaşığı ve Çevre Kayaçları. Doçentlik Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Yer Bilimleri Fakültesi, Trabzon, Türkiye.
- Grimstad, E. and Barton, N., 1993.** Updating the Q-system for NMT. International Symposium on Sprayed Concrete-Modern Use of Wet-Mix Sprayed Concrete for Underground Support, May, Norwegian Concrete Association, Oslo, Proceedings book: 44-66.
- Güven, İ.H., 1993.** Doğu Pontidlerin jeolojisi ve 1/250000 ölçekli komplikasyonu. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Hoek, E., Carter, T.G. and Diederichs, M.S., 2013.** Quantification of the geological strength index chart. 47th US Rock Mechanics and Geomechanics Symposium, San Francisco, 23-26 June, 1-9.
- Hoek, E., Diederichs, M.S., 2006.** Empirical estimation of rock mass modulus. International Journal of Rock Mechanics and Mining Science, 43, 203-215.
- Hoek, E., Carranza-Torres, C. and Corkum, B., 2002.** Hoek-Brown failure criterion. 5th North American Rock Mechanics Symposium and 17th Tunneling Association of Canada Conference, Toronto, 7-10 July, 267-273.
- Hoek, E., Kaiser, P.K. and Bawden, W.F., 1995.** Support of underground excavations in hard rock. Balkema, Rotterdam, 215 p.
- Hoek, E. and Karzulovic, A., 2000.** Rock mass properties for surface mines, Slope stability in surface mining. Society for Mining, Metallurgical and Exploration

(SME), Colorado, 59-70.

ISRM, 2007. The complete ISRM suggested methods for rock characterization, testing and monitoring: 1974-2006 (Editors: Ulusay and Hudson). International Society for Rock Mechanics, Kozan Ofset, Ankara, 628 p.

Karaman, K., Erçikdi, B. and Kesimal, A., 2013. The Assessment of Slope Stability and Rock Excavatability in a Limestone Quarry. Earth Sciences Research Journal, 17, 169-181.

Karpuz, C., 1990. A classification system for excavation of surface coal measures. Mining Science and Technology, 11, 157-163.

Kaya, A., 2012. Cankurtaran (Hopa-Artvin) Tünel Güzergahının ve Çevresinin Jeoteknik Açısından İncelenmesi. Doktora Tezi. Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, Türkiye, 218 s.

Kaya, A., Bulut, F. and Alemdag, S., 2011. Applicability of excavatability classification systems in underground excavations: a case study. Scientific Research and Essays, 6, 25, 5331-5341.

Kendorski, F.S., Cummings, R.A., Bieniawski, Z.T. and Sinner, E.H., 1983. Rock mass classification for block caving mine drift support. 5th International Congress on Rock Mechanics, International Society for Rock Mechanics, October, Melbourne, Proceedings book: B, 51-63.

Ketin, İ., 1966. Tectonic units of Anatolia. Journal of General Directorate of Mineral Research and Exploration (MTA), 66, 23-34.

Ketin, İ. ve Canitez, N., 1972. Yapısal Jeoloji. İstanbul Teknik Üniversitesi, Kütüphanesi, İstanbul, Türkiye, 520 s.

Kirsten, H.A.D., 1982. A classification system for excavation in natural materials. The Civil Engineering in South Africa, 24, 293-308.

Laubscher, D.H., 1977. Geomechanics classification of jointed rock masses-mining applications. Transactions of the Institution of Mining and Metallurgy, 86, A, 1-8.

NACS, 1983. The American association of petroleum geologists bulletin. North American Commission on Stratigraphy, 67, 5, 841-875.

Özsayar, T., Pelin, S. ve Gedikoğlu, A., 1981. Doğu Pontidler’de Kretase. Karadeniz Teknik Üniversitesi, Yerbilimleri Dergisi, 1, 65-114.

Palmström, A., 2005. Measurements of and correlations between block size and Rock Quality Designation (RQD). Tunnels and Underground Space Technology, 20, 362-377.

- Paşamehmetoğlu, A.G., Karpuz, C., Müftüoğlu, Y., Özgenoğlu, A., Bilgin A., Ceylanoğlu, A., Bozdağ, T., Toper, Z. ve Dinçer, T., 1988.** Jeoteknik ve performans verilerinin değerlendirilmesi, kazılabilirlik sınıflama sisteminin önerilmesi. Nihai Rapor, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, 150 s.
- Pettifer, G.S. and Fookes, P.G., 1994.** A revision of the graphical method for assessing the excavatability of rock. *Quarterly Journal of Engineering Geology*, 27, 145–164.
- Schultz-Westrum, H.H., 1961.** Kuzeydoğu Anadolu’da Doğu Pontus mineral bölgesinin jeolojisi ve maden yatakları ile ilgili mütalaalar. *Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Dergisi*, 57, 63-71.
- Scoble, M.J. and Müftüoğlu, Y.V., 1984.** Derivation of a diggability index for surface mine equipment selection. *Mining Science and Technology*, 1, 305-322.
- Singh, R.N., Denby, B., Eğretli, İ. and Pathan, A.G., 1986.** Assessment of ground rippability in opencast mining operations. *University of Nottingham Mining Department Magazine*, 38, 21-34.
- Smith, H.J., 1986.** Estimating rippability of rock mass classification. The 27th U.S. Symposium on Rock Mechanics, Proceedings, University of Alabama, 443-448.
- Şahin, S.Y., Güngör, Y. and Boztug, D., 2004.** Comparative petrogenetic investigation of composite Kaçkar batholith granitoids in Eastern pontide magmatic arc, Northern Turkey. *Earth Planets Space*, 56, 429-446.
- Şarman, E., 1975.** İsrail ve Eseli Güneyindeki G41-b1, b2, b3, b4, G42-a1, a4 Paftalarına ait sahanın 1/10000 ölçekli jeolojik etüd raporu. *Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Maden Etüd Raporu*, No: 1259, Ankara, Türkiye.
- Tsiambaos, G. and Saroglou, H., 2009.** Excavatability assessment of rock masses using the Geological Strength Index (GSI). *Bulletin of Engineering Geology and the Environmental*, 69 (1),13-27.
- Weaver, J.M., 1975.** Geological factors significant in the assessment of rippability. *The Civil Engineering in South Africa*, 17, 12, 313-316.
- Wyllie, D.C. and Mah, C.W., 1999.** *Rock Slope Engineering*, Spon Press, NewYork, 437 p.
- Yaşar, S., 2013.** Doğu Karadeniz Bölgesinde Bulunan Çeşitli Kayaçların ve Cevherlerin Kazılabilirlik Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, Türkiye, 150 s.

EKLER

EK-1. Sondaj logları

SONDAJ LOGU															Sayfa	1							
															Sondaj No	SK-8							
PROJE ADI			RİZE PEHLİVANTAŞI - KALKANDERE (DOKAP) Yolu Km:0-00 - 18+520.00 Arası Sondaj Çalışmaları																				
SONDAJ YERİ			Rize Pehlivan taşı Merkez/RİZE			KOORDİNAT Y			372825														
						KOORDİNAT X			4542575														
SONDAJ DERİNLİĞİ			24.00 m			BAŞLANGIÇ TARİHİ			14.2.2018														
SONDAJ KOTU			186.99 m			BİTİŞ TARİHİ			17.2.2018														
MUH.BORUSU DERİNLİĞİ			10.00 m			DELİK ÇAPI			75 mm														
SONDAJ MAK. Ve YÖNT.			TSM -750			TOPLAM (Adet)																	
Sondaj Derinliği (m)	Y.S.S. Seviyesi	Numune Tipi ve No.	Numune Derinliği	YERİNDE DENEYLER											Pr. VST Per m	JEO TEKNİK TANIMLAMA	PROFİL	DAYANIMLILIK	AYRIŞMA	KIRIK / 30 cm	KAROT TCR %	KAROT SRC %	RQD %
				SPT DENEYİ																			
				DARBE SAYISI		N	SPT GRAFİĞİ																
				0-15 cm	15-30 cm		30-45 cm	30 cm için	10	20	30	40	50										
0																	V	V	>20	12	0	0	
1																	V	IV	>20	30	15	12	
2																	V	IV	>20	34	5	0	
3																	V	IV	>20	33	23	20	
4																	V	IV	>20	33	23	20	
5																	V	IV	>20	30	18	13	
6																	V	IV	>20	18	4	0	
7																	V	IV	>20	18	4	0	
8																	IV	IV	>20	30	19	18	
9																	IV	III	2-10	77	40	20	
10																	IV	IV	10-20	43	40	24	
11																	IV	IV	10-20	43	40	24	
12																	III	III	2-10	85	35	23	
13																	III	III	10-20	73	35	5	
14																	III	III	10-20	73	35	5	
15																	IV	IV	>20	40	5	0	
16																	IV	IV	>20	40	5	0	
17																	III	III	2-10	93	63	5	
18																	III	III	10-20	100	50	14	
19																	IV	IV	10-20	55	10	0	
20																	IV	IV	10-20	55	10	0	
21																	III	III	1-2	100	70	50	
22																	III	III	2-40	100	70	50	
23																	III	III	1-2	100	75	30	
24																							
25																							
KIVAM DURUMU / (İnce daneli)				SİKILIK / (İri daneli)				ORANLAR				AÇIKLAMALAR											
N = 0 - 2				Çok yumuşak				N = 0 - 4				Çok gevşek											
N = 3 - 4				Yumuşak				N = 5 - 10				Gevşek											
N = 5 - 8				Orta katı				N = 11 - 30				Orta sıkı											
N = 9 - 15				Katı				N = 31 - 50				Sıkı											
N = 16 - 30				Çok katı				N > 50				Çok sıkı											
N > 30				Sert																			
AYRIŞMA				DAYANIMLILIK				KIRIKLAR / 30 cm				KAYA KALİTESİ TANIMI / RQD											
I: TAZE				I: ÇOK ZAYIF				<1 SEYREK				% 0-25 ÇOK KÖTÜ											
II: AZ AYRIŞMIŞ				II: ZAYIF				1-2 ORTA				% 25 -50 KÖTÜ											
III: ORTA DER. AYRIŞMIŞ				III ORTA ZAYIF				2-10 SIK				% 50-75 ORTA											
IV: ÇOK AYRIŞMIŞ				IV DAYANIMLI				10-20 ÇOK SIK				% 75-90 İYİ											
V TAMAMEN AYRIŞMIŞ				V: ÇOK DAYANIMLI				>20 PARÇALI				% 90-100 ÇOK İYİ											
LOGU YAPAN/KONTROL				ONAY				TARİH															
Yakup ARDIC																							

SONDAJ LOGU																				Sayfa	1	
																				Sondaj No	SK-9	
PROJE ADI				RİZE PEHLİVANTAŞI - KALKANDERE (DOKAP) Yolu Km:0-00 - 18+520.00 Arası Sondaj Çalışmaları																		
SONDAJ YERİ				Rize Pehlivan taşı Merkez/RİZE				KOORDİNAT Y				372775,5										
SONDAJ DERİNLİĞİ				54.00 m				BAŞLANGIÇ TARİHİ				23.2.2018										
SONDAJ KOTU				228.94 m				BİTİŞ TARİHİ				27.2.2018										
MUH.BORUSU DERİNLİĞİ				34.00 m				DELİK ÇAPİ				75 mm										
SONDAJ MAK. Ve YÖNT.				TSM -750				TOPLAM (Adet)														
Sondaj Derinliği (m)	Y.S.S. Seviyesi	Numune Tipi ve No.	Numune Derinliği	YERİNDE DENEYLER										JEO TEKNİK TANIMLAMA	PROFİL	DAYANIMLILIK	AYRIŞMA	KIRIK / 30 cm	KAROT TCR %	KAROT SRC %	RQD %	
				SPT DENEYİ																		
				DARBE SAYISI			N	SPT GRAFİĞİ														Pr. VST Per m
				0-15 cm	15-30 cm	30-45 cm		30 cm için	10	20	30	40	50									
0																						
1																						
2																						
3																						
4																						
5																						
6																						
7																						
8																						
9																						
10																						
11																						
12																						
13																						
14																						
15																						
16																						
17																						
18																						
19																						
20																						
21																						
22																						
23																						
24																						
25																						
KIVAM DURUMU / (İnce daneli)				SİKLİLİK / (İri daneli)				ORANLAR				AÇIKLAMALAR										
N = 0 - 2		Çok yumuşak		N = 0 - 4		Çok gevşek		% 5> Pek Az				UD:Örselenmemiş Numune										
N = 3 - 4																						

[illegible]

[illegible]

SONDAJ LOGU															Sayfa	1	
															Sondaj No	SK-10	
PROJE ADI				RİZE PEHLİVANTAŞI - KALKANDERE (DO KAP) Yolu Km:0-00 - 18+520.00 Arası Sondaj Çalışmaları													
SONDAJ YERİ				Rize Pehlivan taşı Merkez/RİZE				KOORDİNAT Y				372699,15					
SONDAJ DERİNLİĞİ				28.00 m				KOORDİNAT X				4542313,19					
SONDAJ KOTU				208.63 m				BAŞLANGIÇ TARİHİ				18.2.2018					
MUH.BORUSU DERİNLİĞİ				5.00 m				BİTİŞ TARİHİ				23.2.2018					
SONDAJ MAK. Ve YÖNT.				TSM -750				DELİK ÇAPI				75 mm					
SONDAJ DERİNLİĞİ (m)				Y.S.S. Seviyesi				Numune Tipi ve No.				Numune Derinliği					
				YERİNDE DENEYLER										Pr. VST Per m			
				SPT DENEYİ													
				DARBE SAYISI		N		SPT GRAFİĞİ									
				0-15 cm	15-30 cm	30-45 cm	30 cm için	10	20	30	40	50					
0																	
1																	
2																	
3																	
4																	
5																	
6																	
7																	
8																	
9																	
10																	
11																	
12																	
13																	
14																	
15																	
16																	
17																	
18																	
19																	
20																	
21																	
22																	
23																	
24																	
25																	
KIVAM DURUMU /(İnce daneli)				SİKILIK /(İri daneli)				ORANLAR				AÇIKLAMALAR					
N = 0 - 2	Çok yumuşak			N = 0 - 4	Çok gevşek			% 5> Pek Az				UD.Örselenmemiş Numune					
N = 3 - 4	Yumuşak			N = 5 - 10	Gevşek			% 10-20 Az				D : Örselenmiş Numune					
N = 5 - 8	Orta katı			N = 11 - 30	Orta sıkı			% 20-35 Çok				SPT : Standart Penetrasyon Deneyi					
N = 9 - 15	Katı			N = 31 - 50	Sıkı			% 35> Ve				Pr. : Presiyometre Deneyi					
N = 16 - 30	Çok katı			N > 50	Çok sıkı							KN : Karot Numunesi					
N > 30	Sert											VST : Veyn Deneyi					
AYRIŞMA				DAYANIMLILIK				KIRIKLAR / 30 cm				KAYA KALİTESİ TANIMI / RQD					
I: TAZE				I: ÇOK ZAYIF				<1 SEYREK				% 0-25 ÇOK KÖTÜ					
II: AZ AYRIŞMIŞ				II: ZAYIF				1-2 ORTA				% 25 -5					

[illegible]

[illegible]

Sayfa
2

SONDAJ LOGU

Sondaj
No
SK-11

PROJE ADI		RİZE PEHLİVANTAŞI - KALKANDERE (DO KAP) Yolu Km:0-00 - 18+520.00 Arası Sondaj Çalışmaları														
SONDAJ YERİ		Rize Pehlivan taşı Merkez/RİZE	KOORDİNAT Y		372825											
		31.00 m	KOORDİNAT X		4542575											
SONDAJ DERİNLİĞİ		31.00 m	BAŞLANGIÇ TARİHİ		2.3.2018											
SONDAJ KOTU		219.84 m	BİTİŞ TARİHİ		4.3.2018											
MUH.BORUSU DERİNLİĞİ		15.00 m	DELİK ÇAPI		75 mm											
SONDAJ MAK. Ve YÖNT.		TSM -750	TOPLAM (Adet)													
Sondaj Derinliği (m)	Y.S.S. Seviyesi	Numune Tipi ve No.	Numune Derinliği	YERİNDE DENEYLER				Pr. VST Per m	JEO TEKNİK TANIMLAMA	PROFİL	DAYANIMLILIK	AYRIŞMA	KIRIK / 30 cm	KAROT TCR %	KAROT SRC %	RQD %
SPT DENEYİ																
DARBE SAYISI		N	SPT GRAFIĞI													
0-15 cm	15-30 cm	30-45 cm	30 cm için	10	20	30	40									
26									0,00-31,00 m. Çağlayan Formasyonu		iv	iv	>20	40	14	0
27											iv	iv	>20	40	14	0
28											iv	iv	>20	30	18	15
29											iv	iv	>20	25	6	35
30											iii	iii	2-10	35	23	14
31									Kuyu Sonu: 31,00 m.							
32																
33																
34																
35																
36																
37																
38																
39																
40																
41																
42																
43																
44																
45																
46																
47																
48																
49																
50																
51																

KIVAM DURUMU /(İnce daneli)		SIKILIK /(İri daneli)		ORANLAR		AÇIKLAMALAR	
N = 0 - 2	Çok yumuşak	N = 0 - 4	Çok gevşek	% 5>	Pek Az	UD.Örselenmemiş Numune	
N = 3 - 4	Yumuşak	N = 5 - 10	Gevşek	% 10-20	Az	D : Örselenmiş Numune	
N = 5 - 8	Orta katı	N = 11 - 30	Orta sıkı	% 20-35	Çok	SPT : Standart Penetrasyon Deneyi	
N = 9 - 15	Katı	N = 31 - 50	Sıkı	% 35>	Ve	Pr. : Presiyometre Deneyi	
N = 16 - 30	Çok katı	N > 50	Çok sıkı			KN : Karot Numunesi	
N > 30	Sert					VST : Veyn Deneyi	
AYRIŞMA		DAYANIMLILIK		KIRIKLAR / 30 cm		KAYA KALİTESİ TANIMI / RQD	
I: TAZE		I: ÇOK ZAYIF		<1	SEYREK	% 0-25	ÇOK KÖTÜ
II: AZ AYRIŞMIŞ		II: ZAYIF		1-2	ORTA	% 25 -50	KÖTÜ
III: ORTA DER. AYRIŞMIŞ		III ORTA ZAYIF		2-10	SIK	% 50-75	ORTA
IV: ÇOK AYRIŞMIŞ		IV DAYANIMLI		10-20	ÇOK SIK	% 75-90	İYİ
V TAMAMEN AYRIŞMIŞ		V: ÇOK DAYANIMLI		>20	PARÇALI	% 90-100	ÇOK İYİ
LOGU YAPAN/KONTROL				ONAY		TARİH	
Yakup ARDIC							

ÖZGEÇMİŞ

Seyfullah AK, 29/09/1994 tarihinde Erzurum’da doğdu. İlk ve ortaöğretimini 2008 yılında Rize Vakıflar İlköğretim Okulu’nda ve lise eğitimini 2012 yılında Rize Anadolu Sağlık Meslek Lisesi’nde tamamladı. Lisans eğitimini 13/06/2016 tarihinde Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü’nde tamamladı. 18/05/2017 tarihinde C Sınıfı İş Güvenliği Uzmanı belgesini aldı. 09/09/2015 tarihinde başladığı Anadolu Üniversitesi, Sağlık Kurumları İşletmeciliği Bölümü’ndeki eğitimini 15/01/2018 tarihinde tamamladı. 25/09/2018 tarihinde başladığı Anadolu Üniversitesi, Sağlık Yönetimi öğrenimine halen devam etmektedir. 18/07/2016 tarihinde Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı’nda başladığı yüksek lisans öğrenimini halen devam ettirmektedir. Sağlık Bakanlığı Rize Acil Sağlık Hizmetlerinde Acil Tıp Teknisyeni olarak çalışmaktadır. Orta derecede İngilizce bilen Seyfullah AK, evlidir.