

**T.C.**  
**RECEP TAYYIP ERDOĞAN ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**OVİT (İKİZDERE-RİZE) TÜNELİ SAĞ TÜPÜNÜN**  
**(KM: 64+173,00-64+373,00 ARASI) MÜHENDİSLİK JEOLojİSİ**  
**AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ**

**MEHMET İLKER BOZLAR**

**TEZ DANIŞMANI**

**DOÇ. DR. AYBERK KAYA**

**TEZ JÜRİLERİ**

**DOÇ. DR. RAİF KANDEMİR**

**DOÇ. DR. İLKER USTABAŞ**

**DR. ÖĞR. ÜYESİ YILMAZ DEMİR**

**DR. ÖĞR. ÜYESİ KADİR KARAMAN**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**JEOLojİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**






**RİZE-2019**


**Her Hakkı Saklıdır**


T.C.  
RECEP TAYYIP ERDOĞAN ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**OVİT (İKİZDERE-RİZE) TÜNELİ SAĞ TÜPÜNÜN  
(KM: 64+173,00-64+373,00 ARASI) MÜHENDİSLİK JEOLojİSİ  
AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ**

Doç. Dr. Ayberk KAYA danışmanlığında, Mehmet İlker BOZLAR tarafından hazırlanan bu çalışma, Enstitü Yönetim Kurulu kararıyla oluşturulan jüri tarafından 04/03/2019 tarihinde Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS** tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri	Unvanı Adı Soyadı	İmzası
Başkan	: Doç. Dr. Ayberk KAYA	
Üye	: Doç. Dr. Raif KANDEMİR	
Üye	: Doç. Dr. İlker USTABAŞ	
Üye	: Dr. Öğr. Üyesi Yılmaz DEMİR	
Üye	: Dr. Öğr. Üyesi Kadir KARAMAN	

  
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 Dr. Öğr. Üyesi Kadir KARAMAN'a teşekkür ederim.

Laboratuvar çalışmaları sırasında yardımlarını esirgemeyen Doç. Dr. İrfan TEMİZEL'e, Jeoloji Müh. Cem DEMİRBAŞ'a ve Jeoloji Müh. Mehdi İLHAN'a teşekkür ederim.

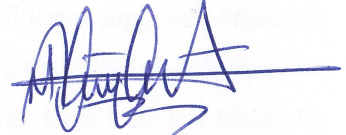
Bu çalışmanın yürütülmesinde desteğini gördüğüm Karayolları Genel Müdürlüğü (KGM) 10. Bölge Müdürlüğü'ne ve kontrol şefi Mehmet Ali KEFLİ'ye sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Çalışma sırasında göstermiş olduğu yardımlardan dolayı Makyol İnşaat San. Tur. ve Tic. A.Ş.'ye ve şantiye şefi Kerim TÜTÜNCÜ'ye, teknik ofis şefi Oktay SARAÇ'a ve kalite kontrol şefi Ekrem AKSU'ya şükranlarımı sunarım.

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

**Mehmet İlker BOZLAR**

## TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Tarafımdan hazırlanan “Ovit (İkizdere-Rize) Tüneli Sağ Tüpünün (KM: 64+173,00-64+373,00 Arası) Mühendislik Jeolojisi Açısından Değerlendirilmesi” 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. 04/03/2019



Mehmet İlker BOZLAR

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



## ÖZET

### OVİT (İKİZDERE-RİZE) TÜNELİ SAĞ TÜPÜNÜN (KM: 64+173,00-64+373,00 ARASI) MÜHENDİSLİK JEOLJİSİ AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ

**Mehmet İlker BOZLAR**

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

Bu çalışmada, Ovit (İkizdere-Rize) Tüneli sağ tüpünün KM: 64+173,00-64+373,00 arasındaki kaya kütleleri mühendislik jeolojisi açısından incelenmiştir. Yapılan jeolojik çalışmalar sonucunda, Geç Kretase birimlerini kesen Kaçkar Granitoyidi'ne ait granitlerin inceleme güzergâhında yüzeyletiği belirlenmiştir. Kaya kütlelerinin mühendislik özelliklerini belirlemek için arazi ve laboratuvar çalışmaları gerçekleştirilmiştir. 49 adet kazı aynasında ve bunların duvarlarında süreksizliklerin özelliklerini belirlemek için hat etüdü yöntemi uygulanmıştır. Kaya malzemelerinin fiziko-mekanik ve elastik özelliklerini saptamak amacıyla laboratuvar deneyleri yapılmıştır. Kaya kütle özellikleri ise ampirik eşitliklerden yararlanarak ve jeofizik çalışmalardan tespit edilmiştir. Elde edilen veriler kullanılarak kaya kütleleri RMR, Q, GSI ve NATM sistemlerine göre sınıflandırılmış ve tünel için destek elemanları belirlenmiştir. Buna göre kaya kütlelerine ait RMR puanınının 36-56, Q değerinin 1,44-11,25, GSI değerinin ise 44-72 arasında değiştiği saptanmıştır. Kazı öncesi NATM sınıfının A2, kazı aşamasında ise daha düşük sınıflarda olduğu görülmüştür. Bu farklılığın kazı öncesi yapılan yetersiz jeoteknik çalışmalardan kaynaklandığı öngörülmektedir.

**2019, 64 sayfa**

**Anahtar Kelimeler:** Destek Tasarımı, Granit, Kaya Kütle Sınıflama Sistemleri, Ovit Tüneli

## ABSTRACT

### ENGINEERING GEOLOGICAL ASSESSMENT OF THE RIGHT TUBE (BETWEEN KM: 64+173,00-64+373,00) OF THE OVİT (İKİZDERE-RİZE) TUNNEL

**Mehmet İlker BOZLAR**

**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 right tube (between KM: 64+173,00-64+373,00) of the Ovit (İkizdere-Rize) tunnel was investigated in terms of engineering geology. As a result of the geological studies, it is determined that, the granites of Kaçkar Granitoid that cuts the Late Cretaceous aged rocks were outcropped along the studied tunnel route. Field and laboratory studies were carried out to determine the engineering properties of rock masses. In order to determine the properties of discontinuities in 49 excavation faces and their walls, the scan-line survey method was applied. Laboratory tests were performed to determine the physico-mechanical and elastic properties of rock materials. Rock mass properties were determined from empirical equations and geophysical studies. Rock masses were classified according to RMR, Q, GSI and NATM systems by using the obtained data and tunnel support elements were determined. According to this results, it was found that the RMR, Q and GSI values of the rock masses ranged between 36-56, 1,44-11,25, 44-72, respectively. The NATM class was found to be as A2 before excavation stage and at the lower classes after excavation stage. It is predicted that this difference is due to insufficient geotechnical studies conducted before excavation.

**2019, 64 pages**

**Keywords:** Support Design, Granite, Rock Mass Classification Systems, Ovit Tunnel

## İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ .....	I
TEZ ETİK BEYANNAMESİ.....	II
ÖZET .....	III
ABSTRACT.....	IV
İÇİNDEKİLER .....	V
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	VII
TABLolar DİZİNİ.....	VIII
SEMBOLLER ve KISALTMALAR DİZİNİ.....	X
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.....	4
1.5. Sosyo-Ekonomik Bilgiler .....	4
1.6. Jeomorfoloji.....	5
1.7. Bölgesel Jeoloji.....	5
1.8. Doğu Karadeniz Bölümü'nde Yapılan Önceki Mühendislik Jeolojisi Çalışmaları .....	7
1.9. Ovit Tüneli Güzergâhında Yapılan Önceki Jeoteknik Çalışmalar .....	8
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	10
3. BULGULAR .....	12
3.1. Tünel Güzergâhının Genel Jeolojisi .....	12
3.1.1. Çatak Formasyonu .....	12
3.1.2. Kaçkar Granitoyidi ve Porfirleri.....	13
3.2. Mühendislik Jeolojisi Çalışmaları .....	16
3.2.1. Laboratuvar Çalışmaları .....	16
3.2.1.1. Fiziksel Özellikler.....	16
3.2.1.2. Mekanik Özellikler .....	16
3.2.1.3. Elastik Özellikler .....	17
3.2.2. Süreksizliklere Ait Özellikler .....	20
3.2.3. Kaya Kütlelerinin Sınıflandırılması.....	28

3.2.3.1. Kaya Kütle Puanlaması (RMR) Sistemi.....	28
3.2.3.2. Kaya Kütle Kalitesi (Q) Sistemi.....	34
3.2.3.3. Jeolojik Dayanım İndeksi (GSI) Sistemi.....	36
3.2.3.4. Yeni Avusturya Tünel Açma Yöntemi (NATM).....	39
3.2.4. Kaya Kütle Özellikleri.....	43
3.2.5. Tünel Destek Tasarımı.....	46
4. TARTIŞMA ve SONUÇLAR.....	51
KAYNAKLAR.....	54
EKLER.....	58
ÖZGEÇMİŞ.....	64





## ŞEKİLLER DİZİNİ

<b>Şekil 1.</b>	Ovit Tüneli güzergâhının 1/25000 ölçekli topografik harita üzerindeki görüntüsü .....	2
<b>Şekil 2.</b>	Çalışma alanına ait yer bulduru haritası .....	3
<b>Şekil 3.</b>	Ovit Tüneli'nin (a) giriş ve (b) çıkış bölümleri .....	3
<b>Şekil 4.</b>	Tünel güzergâhına ait 1/25000 ölçekli jeoloji haritası ve kesit (Koçak ve Baki, 2013'ten değiştirilerek) .....	12
<b>Şekil 5.</b>	Kaçkar Granitoyidinden alınan granit örneklerinin mikroskopik görüntüleri (Çift Nikol) (Hbl: hornblend, Bi: biyotit, Q: kuvars, Pl: plajioklas, AF: Ortoklas) (Ölçeksizdir) .....	15
<b>Şekil 6.</b>	Fiziko-mekanik ve elastik deneylerin yapıldığı bazı örneklerle ait fotoğraflar .....	19
<b>Şekil 7.</b>	Tünel ayna ve duvarında yapılan süreksizlik ölçümlerine ait fotoğraflar .....	26
<b>Şekil 8.</b>	Tünel ayna ve duvarlarından ölçülen süreksizliklere ait kontur diyagramı .....	27
<b>Şekil 9.</b>	Hoek vd. (2013) tarafından önerilen sayısal GSI abağına göre kaya kütlelerinin değerlendirilmesi .....	37
<b>Şekil 10.</b>	NATM, Q ve RMR kaya kütle sınıflarının eşleştirilmesi (KGM, 1997) .....	41
<b>Şekil 11.</b>	İncelenen tünel güzergâhındaki kaya kalitesinin mesafeye göre değişimi .....	43
<b>Şekil 12.</b>	Kaya kütlelerinin Q sistemi tünel destek abağına göre değerlendirilmesi (Grimstad ve Barton, 1993) .....	48
<b>Şekil 13.</b>	Bieniawski (1989) tarafından önerilen desteksiz kalabilme süresi tahmin abağına göre kaya kütlelerinin belirlenmesi .....	50

## TABLULAR DİZİNİ

<b>Tablo 1.</b> Granit örneklerine ait fiziko-mekanik ve elastik özellikler.....	18
<b>Tablo 2.</b> Ayna 1-13 arasındaki kaya kütlelerindeki süreksizlik özelliklerinin ISRM (2007) tanımlama ölçütlerine göre değerlendirilmesi .....	21
<b>Tablo 3.</b> Ayna 14-26 arasındaki kaya kütlelerindeki süreksizlik özelliklerinin ISRM (2007) tanımlama ölçütlerine göre değerlendirilmesi .....	22
<b>Tablo 4.</b> Ayna 27-39 arasındaki kaya kütlelerindeki süreksizlik özelliklerinin ISRM (2007) tanımlama ölçütlerine göre değerlendirilmesi .....	23
<b>Tablo 5.</b> Ayna 40-49 arasındaki kaya kütlelerindeki süreksizlik özelliklerinin ISRM (2007) tanımlama ölçütlerine göre değerlendirilmesi .....	24
<b>Tablo 6.</b> Kaya kütlelerine ait ortalama $\lambda$ , RQD ve $J_v$ değerlerinin literatürdeki tanımlama ölçütlerine göre değerlendirilmesi .....	25
<b>Tablo 7.</b> Ayna 1-10 arasındaki kaya kütlelerinin RMR sınıflama sistemine göre değerlendirilmesi.....	29
<b>Tablo 8.</b> Ayna 11-20 arasındaki kaya kütlelerinin RMR sınıflama sistemine göre değerlendirilmesi.....	30
<b>Tablo 9.</b> Ayna 21-30 arasındaki kaya kütlelerinin RMR sınıflama sistemine göre değerlendirilmesi.....	31
<b>Tablo 10.</b> Ayna 31-40 arasındaki kaya kütlelerinin RMR sınıflama sistemine göre değerlendirilmesi.....	32
<b>Tablo 11.</b> Ayna 41-49 arasındaki kaya kütlelerinin RMR sınıflama sistemine göre değerlendirilmesi.....	33
<b>Tablo 12.</b> Kaya kütlelerinin Q kaya kütle sınıflama sistemine göre değerlendirilmesi .....	35
<b>Tablo 13.</b> Kaya kütlelerinin GSI sistemine göre değerlendirilmesi .....	38
<b>Tablo 14.</b> Kaya kütlelerinin NATM kaya kütle sınıflamasına göre değerlendirilmesi .....	42
<b>Tablo 15.</b> Kaya kütlelerine ait elastik parametreler .....	45
<b>Tablo 16.</b> Değişik yeraltı kazıları için güncelleştirilmiş ESR değerleri (Barton ve Grimstad, 1994) .....	47

<b>Tablo 17.</b> Q kaya kütlesi niteliğine göre duvar faktörünün ( $Q_w$ ) belirlenmesi (Grimstad ve Barton, 1993).....	47
<b>Tablo 18.</b> Q sistemi tünel destek abağına göre belirlenen tavan ve duvar destekleme sınıfları .....	49
<b>Tablo 19.</b> Kaya kütleleri için Q sistemine göre önerilen destekleme elemanları.....	50



## SEMBOLLER ve KISALTMALAR DİZİNİ

AF	Ortoklas
Assoc. Prof. Dr.	Associate Professor Doctor
B	Kazı Eni (m)
Bi	Biyotit
c	Kohezyon (MPa)
cm	Santimetre
D	Örselenme Faktörü
$d_d$	Doğal Yoğunluk ( $\text{gr}/\text{cm}^3$ )
$d_d$	Doygun Yoğunluk ( $\text{gr}/\text{cm}^3$ )
$D_e$	Eş Değer Boyut
$d_k$	Kuru Yoğunluk ( $\text{gr}/\text{cm}^3$ )
$d_n$	Doğal Yoğunluk ( $\text{gr}/\text{cm}^3$ )
Doç. Dr.	Doçent Doktor
$E_{id}$	Dinamik Elastisite Modülü (GPa)
$E_{is}$	Statik Elastisite Modülü (GPa)
$E_m$	Deformasyon Modülü (GPa)
$E_{md}$	Kaya Kütlelerinin Dinamik Deformasyon Modülü (GPa)
ESR	Kazı Destek Oranı
FEM	Finite Element Method
GSI	Jeolojik Dayanım İndeksi
H	Kazı Yüksekliği (m)
Hbl	Hornblend
$I_{d2}$	Suda Dağılmaya Karşı Duraylılık İndeksi (%)
$I_{S(50)}$	Nokta Yüğü Dayanım İndeksi (MPa)
ISRM	International Society for Rock Mechanics
$\phi$	İçsel Sürtünme Açısı
$J_a$	Süreksizlik Yüzeyi Bozunma Değeri
$J_{\text{Cond}_{89}}$	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	Bulon Uzunluğu (m)
m	Metre
$m_b, s$ ve $a$	Hoek-Brown Sabitleri
$m_i$	Kaya Malzemesi Sabiti
mm	Milimetre
n	Görünür Porozite (%)
NACS	North American Commission on Stratigraphy
NATM	Yeni Avusturya Tünel Açma Yöntemi
NX	54,7 mm. Çaplı Karot
°	Derece
P	Boyuna Dalga Hızı
Pl	Plajoklas
Q	Kaya Kütle Kalitesi
Q	Kuvars
$Q_w$	Duvar Faktörünün
RMi	Kaya Kütle İndeksi
RMR	Kaya Kütle Puanlaması
$RMR_{89}$	Kaya Kütle Puanlaması 1989 Versiyonu
RQD	Kaya Kalite Göstergesi (%)
S	Enine Dalga Hızı
$S_a$	Ağırlıkça Su Emme (%)
$S_h$	Hacimce Su Emme (%)
SRF	Gerilme Azaltma Faktörü
$V_p$	Elastik Dalganın Boyuna Yayılma Hızı (m/sn)
$V_s$	Elastik Dalganın Enine Yayılma Hızdır (m/sn)
$\sigma_{ci}$	Kaya Malzemesinin Tek Eksenli Basınç Dayanımı (MPa)
$\sigma_{cm}$	Kaya Kütlesinin Tek Eksenli Basınç Dayanımı (MPa)
$\sigma_t$	Kaya Malzemesinin Çekme Dayanımı (MPa)
$\gamma_k$	Kuru Birim Hacim Ağırlık ( $kN/m^3$ )
$\gamma_n$	Doğal Birim Hacim Ağırlık ( $kN/m^3$ )

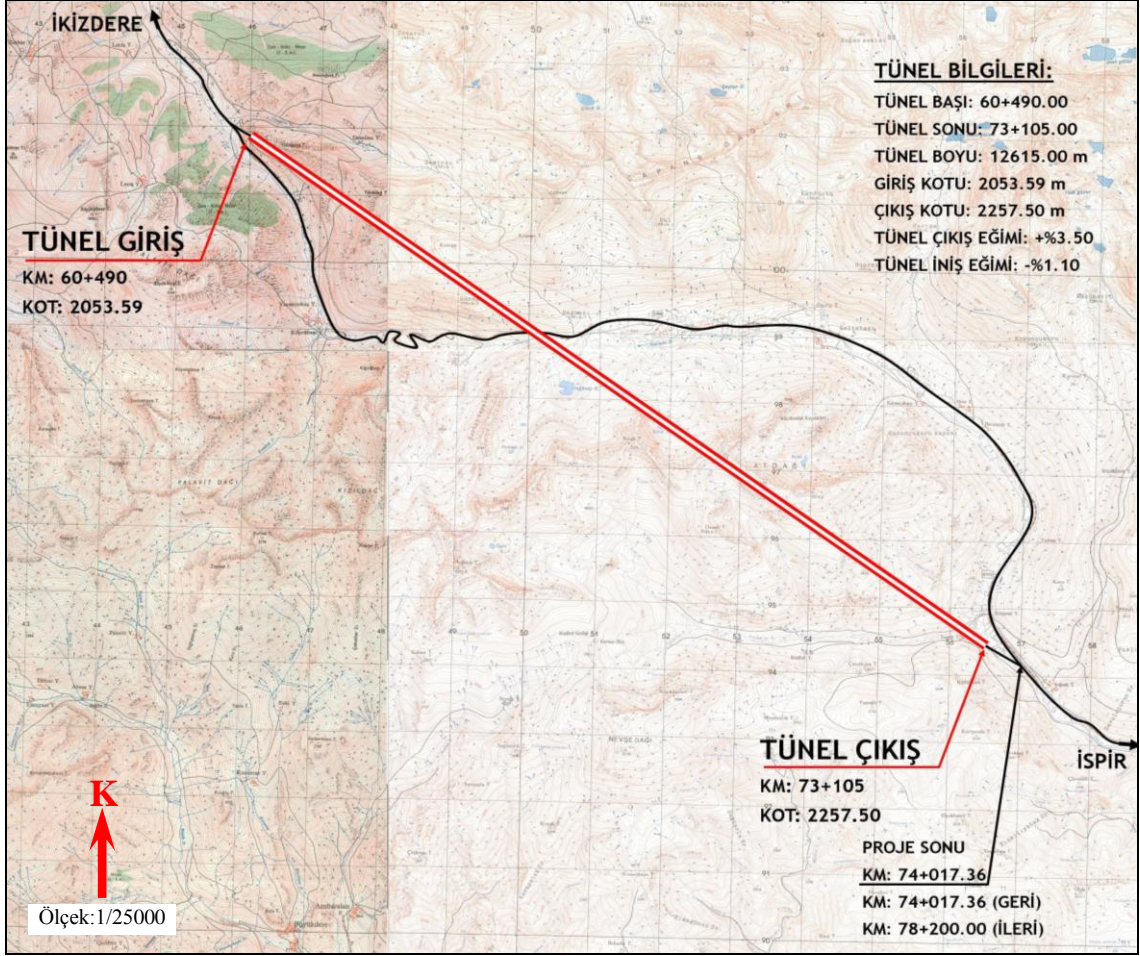
$\gamma_d$	Doygun Birim Hacim Ağırlık (kN/m <sup>3</sup> )
$\sigma-\tau$	Normal ve Kayma Gerilmeleri
%	Yüzde
$\lambda$	Süreksizlik Sıklığı
$\varepsilon_b$	Çapsal Birim Deformasyon
$\varepsilon_e$	Eksenel Birim Deformasyon
$\nu_{id}$	Dinamik Poisson Oranı
$\nu_{is}$	Statik Poisson Oranı
$\nu_{md}$	Kaya Kütlesinin Dinamik Poisson Oranı
°C	Santigrat Derece

# 1. GENEL BİLGİLER

## 1.1. Giriş

Küreselleşen dünyanın yapıtaşı olan insanların sayısının artmasının sonucunda taşıt sayısı ve buna bağlı olarak karayolu ağına olan gereksinim de artmaktadır. Dolayısıyla karayolu yapımının önemi ortaya çıkmış ve karayolu ağının genişletilip konforlu bir yolculuk yapılması zorunluluğu ortaya çıkmıştır. Ülkemizdeki coğrafi engellerden dolayı oluşan güçlükleri aşabilmek için gerekli mühendislik yapılarından biri de karayolu tünelleridir. Karayolu tünelleri gibi geniş yeraltı açıklıklarının projelendirilmesi, jeolojik ve jeoteknik koşullara bağlı olarak oldukça zor ve maliyetli imalatlardır. Tünel kazısının güvenilir ve minimum maliyetli olarak tasarlanması tünel güzergâhındaki kaya kütlelerinin mühendislik özelliklerinin doğru belirlenmesine bağlıdır.

Rize ve Erzurum illeri arasındaki kara yolunun İkizdere-İspir mevkiinde bulunan Ovit Dağı geçidi, yoğun kar yağışı nedeniyle kış mevsiminde yaklaşık 6-8 ay süreyle ulaşımına kapanmaktadır. Bu geçidin bir tünel vasıtası ile aşılması projesi ilk olarak 1880 yılında Osmanlı Devleti'nin kalkınma planı kapsamında gündeme getirilmiştir (TTS, 2013) . Ancak, 2000'li yıllara kadar ekonomik nedenlerden dolayı ertelen proje, 2012 yılında yeniden gündeme alınarak hayata geçirilmiştir. Ovit Tüneli (KM: 60+490,000-73+105,000), çığ tüneliyle birlikte toplam 14,2 km. uzunluğu ile Trabzon-Gümüşhane karayolu üzerinde yapımı devam eden 14,5 kilometrelik Yeni Zigana Tüneli'nin ardından Türkiye'nin ikinci en uzun, dünyanın ise en uzun dördüncü tüneli olmuştur (Şekil 1-3). Tünelin giriş kotu 1919 m. çıkış kotu ise 2257 m. olup, tünel içi ortalama eğim % 2,13 civarındadır. Modifiye at nalı kesitli ve çift tüp şeklinde olan tünelin desteksiz kazı yüksekliği 9 m. genişliği ise 12 m. olup, delme-patlatma yöntemi ile kazılmıştır. Tünelin ulaşımına açılmasıyla 2640 rakımlı Ovit Dağı geçidi, yılın tamamında trafiğe açılmış ve bölgeye hem ticaret ve hem de turizm açısından hareketlilik gelmiştir. Ayrıca, bu proje Doğu Anadolu Bölgesi'ni Karadeniz Bölgesi'ne bağlayan alternatif bir ulaşım güzergâhı oluşturmuştur.

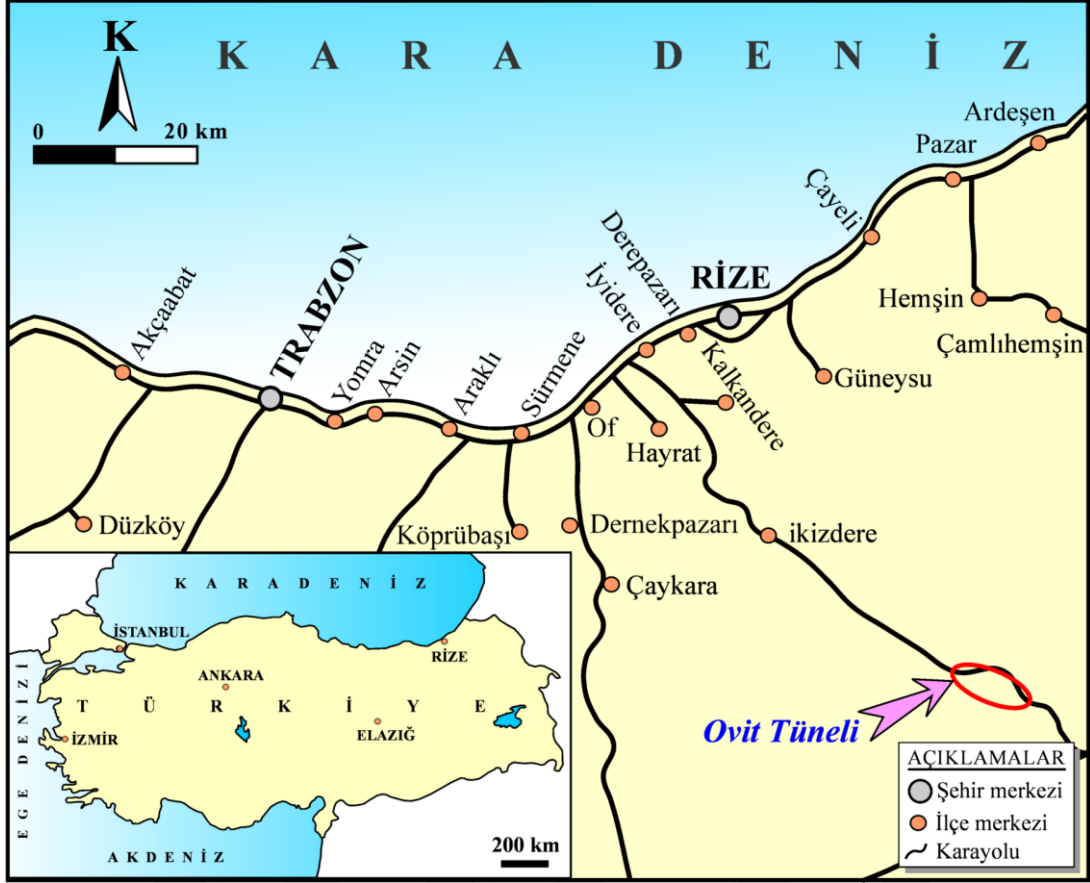


**Şekil 1.** Ovit Tüneli güzergâhının 1/25000 ölçekli topografik harita üzerindeki görüntüsü

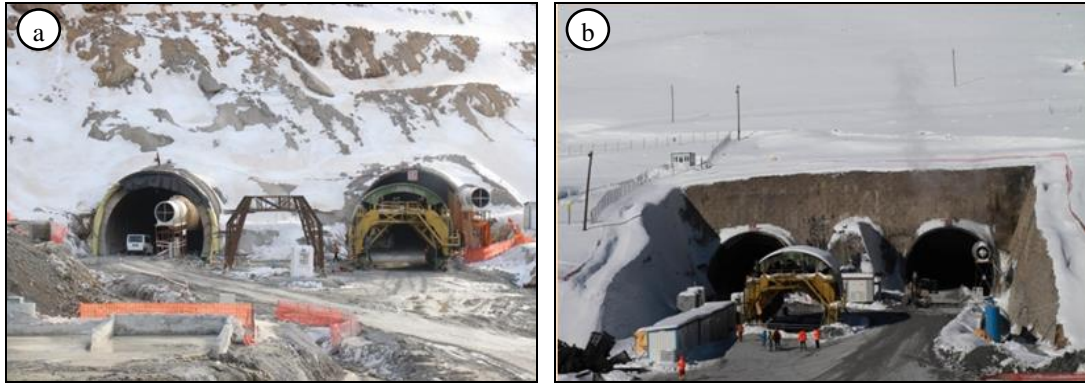
## 1.2. Çalışmanın Amaç ve Kapsamı

Bu çalışmanın ana amacı, pilot çalışma alanı olarak seçilen Ovit (İkizdere-Rize) Tüneli sağ tüpünün KM: 64+173,00-64+373,00 arasındaki kaya kütlelerinin mühendislik jeolojisi özelliklerini belirlemektir. Bu amaçla tünel güzergâhında bulunan kaya kütlelerine ait mühendislik özellikler arazi çalışmalarıyla, kaya malzemelerine ait özellikler ise laboratuvar çalışmalarıyla belirlenmiştir. 49 adet kazı aynasından (EK-1) alınan süreksizlik ölçümleriyle elde edilen veriler yardımıyla tünel güzergâhında yer alan birimler tünelticilikte yaygın olarak kullanılan ampirik sınıflama sistemleri yardımıyla sınıflandırılmış ve her bir kaya kütlesi için uygun destekleme tasarımı yapılmıştır. Ayrıca, kazı aşamasında belirlenen destek tasarımı kazı öncesi yapılan destek tasarımıyla karşılaştırılarak birbirleriyle olan uyumlulukları araştırılmıştır





Şekil 2. Çalışma alanına ait yer bulduru haritası



Şekil 3. Ovit Tüneli'nin (a) giriş ve (b) çıkış bölümleri

### 1.3. Çalışma Alanının Tanıtılması

Ovit Geçidi, üzerinde yer aldığı D-925 karayolunun önemli kilit noktasında bulunmaktadır. Geçit, aynı karayolu üzerinde yer alan Gölyurt Geçidi ile birlikte karayolunda tamamlayıcı ulaşım niteliğindedir. Ovit Geçidi, yaklaşık 2240 m. yüksekliğindeki Ağzı Açık Geçidi ile 2350 m. yüksekliğindeki Dallıkavak Geçidi ile

Erzurum-İspir arasındaki ulaşımda süreklilik imkânını sağlamaktadır. Ovit Geçidi, yer yer 3500 m.'yi aşan zirveleri ile Doğu Karadeniz Bölümü'ndeki az sayıda bağlantı noktalarından birisidir ve Erzurum-Rize İlleri arasındaki karayolu geçişinde bulunmaktadır. Ovit Tüneli, Karadeniz Sahilyolu'nu Doğu ve Güneydoğu Anadolu bölgelerine bağlayan üç-yol güzergâhından (Trabzon-Maçka, İyidere-İspir ve Hopa-Yusufeli) İyidere-İspir yolunun İkizdere arasında kalan Ovit Geçidi bölümünde yer almaktadır. Çift tüplü karayolu tüneli olarak projelendirilen tünelin 7450 metrelik bölümü % 3,5 eğimle tırmanış, 5165 metrelik bölümü ise % 1,1 eğimle iniş şeklindedir. Tünel ile 250 km. olan Rize-Erzurum Karayolu 200 km.'ye düşmüştür.

#### **1.4. İklim ve Bitki Örtüsü**

Çalışma alanı ve çevresinin bulunduğu bölgede, Doğu Karadeniz Bölümü'nün ılıman iklimi mevcuttur. Ancak, özellikle 2100-2350 rakımları arasında kış ayları çok soğuk ve yoğun kar yağışlı geçmektedir. Kar, yılın yaklaşık 7 ayı hâkimiyet göstermekte ve kalınlığı 4-5 metreleri bulmaktadır. Yılın geri kalan aylarında ise bolca sis hakimdir ve sis ardından yerini sağanak yağmura bırakmaktadır. Bölgede Haziran ve Eylül ayları arasında güneşin etkisi görülebilmektedir.

Bölgede 0-700 m. rakıma kadar çay bahçelerinin yoğun olduğu gözlenmektedir. 700-2000 m. rakımları arasında köknar, kestane, kızılâğaçtan oluşan yoğun bir bitki örtüsü vardır. 2000 metrenin üzerinde olan kotlarda ise yaygın olarak çayırliklar görülmektedir.

#### **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 sanayi faaliyetlerinin ekonomideki payı oldukça düşük düzeydedir. Bölgede yaşayan nüfusun yaklaşık üç katı büyük şehirlere göç etmiştir.

## 1.6. Jeomorfoloji

Çalışma alanı ve yakın çevresinde dağlık ve tepelik alanlar geniş yer tutmaktadır. Palavit Dağı, At Dağı, Nevse Dağı, Kızıldağ ve Çapans Dağları gibi dağlık alanların yanı sıra Büyükçeş Tepe (3154 m.), Kulluk Tepe (3279 m.), Soğanlı Tepe (3395 m.), Göltepe (3207 m.) gibi zirvelerin de geçit çevresinde geniş bir yayılım gösterdiği görülmektedir. Bu haliyle Ovit geçidi, yükseklikleri çoğu yerde 3000 m.'yi geçen dağlık ve tepelik alanlarla çevrili durumdadır. Dağlık, tepelik alanların hakim olduğu morfoloji içerisindeki en önemli özellik, kısa mesafede ortaya çıkan yükselti farklılıklarıdır. Bu farklılıklar nedeniyle eğimlerde artışlar olmakta, dik eğimli yamaçlar ile karşılaşmaktadır. Ovit geçidi, Çoruh Havzası ve İkizdere (İyidere) Havzaları'nın birbirinden ayrıldığı bir alanda bulunmaktadır. Geçit çevresindeki küçük buzul gölleri ve moren depoları bulunmaktadır. Mevcut litolojik ve jeomorfolojik koşullar kütle hareketlerinin oluşmasında etkilidir. Bölge kış aylarında çığ tehlikesi, yaz aylarında ise kaya düşmeleri ve toprak kaymaları etkisi altında kalmaktadır.

## 1.7. Bölgesel Jeoloji

Ketin (1966), tektonik üniteleri Türkiye'nin orojenik gelişimi esasına dayanarak kuzeyden güneye doğru Karadeniz Dağları, Anatolidler, Toridler ve Kenar Kıvrımları Kuşağı olarak dört ana tektonik birliğe ayırmıştır. Ayrıca, Karadeniz Dağlarını, "Doğu Karadeniz Dağları" ve "Batı Karadeniz Dağları" olmak üzere ikiye ayırmıştır (Ketin ve Canitez, 1972). Doğu Karadeniz Dağları'ndaki Geç Kretase yaşlı kayalar, kuzey ve güney bölgelerinde farklılıklar gösterdikleri için güney (iç) ve kuzey (dış) bölümlere ayrılmıştır (Özsayar vd., 1981).

Doğu Karadeniz Dağları'nda temel teşkil ettikleri kabul edilen Paleozoyik yaşlı kayalar kristalen şistler ve granitlerden oluşmaktadır. Doğu Karadeniz Dağları Güney Zonu'nda hakim olan bu kayalar (Gedikoğlu vd., 1979), Doğu Karadeniz Dağları Kuzey Zonu'nda seyrek olarak görülürler (Boynukalın, 1990). Temeli oluşturan metamorfik kayalar, Erken Jura öncesinde Paleozoyik yaşlı granitoidik kayalar tarafından kesilmişlerdir (Çoğulu, 1975). Erken Jura yaşlı volkano-tortul kayalar, Gümüşhane bölgesinde Paleozoyik yaşlı Gümüşhane Granitoidi üzerine aşınma

uyumsuzluğu ile gelirler ve konglomera, kumtaşı, kireçtaşı, marn ve volkanitlerden oluşmaktadırlar. 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 kayalar üzerine uyumlu olarak gelmektedirler. Doğu Karadeniz Dağları Güney Zonu'nda sürekli bir şekilde görülmelerine rağmen, Kuzey Zon'da mercerler ve olistrostromlar halinde bulunurlar. Plütonik kayalar Permo-Karbonifer'den Eosen sonuna kadar geniş bir yaş aralığına sahiptirler ve başlıca gabrodan granite kadar değişen türdeki bazik ve asidik bileşimli kayalardan oluşmuşlardır. Bu granitik plütonlar, Paleozoyik, Kretase ve Eosen olmak üzere başlıca 3 zaman periyodunda sokulum yapmışlardır. Bunlardan Paleozoyik yaşlı Gümüşhane Granitoidi, metamorfik kayaları keserek yerleşmiştir (Çoğulu, 1975). Jura-Kretase-Paleosen granitoidleri yitimle ilişkili volkanik ve/veya volkanoklastik kayalarla dokanak ilişkisindedir (Şahin vd., 2004). Daha az sayıdaki 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 kayalar egemen iken, Doğu Karadeniz Dağları Güney Zonu'nda volkanotortul kayalar yer alır. Geç Kretase'de kılavuz seviye olarak kabul edilen kırmızı kireçtaşları, Güney Zon'da tek bir seviye halinde ve Geç Kretase'nin tabanında görülmekte, Kuzey Zon'da ise birkaç seviye halinde volkaniklerle ara katkılı olarak bulunmaktadır (Bektaş, 1984). Geç Kretase'nin üzerindeki bazik volkanikler kısmen Eosen'de de devam ederek "Üst Bazik Seri"yi oluşturmuşlardır. Doğu Karadeniz Dağları Güney Zonu'nda Geç Kretase, Berdiga Formasyonu üzerine aşıl uyumsuzlukla gelen kumlu kireçtaşları ile başlamaktadır. Bu birimi şarap kırmızısı renkli kırmızı kireçtaşları uyumlu olarak üstlemektedir. Volkanotortul 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 gelmekte ve bunları andezit ve piroklastitleri ile filiş çökellerinden oluşan seriler üstlemektedir. Oligosen, Trabzon, Ünye ve Fatsa

yörelereindeki sahil kesimlerinde görülmektedir (Özsayar, 1971). Neojene ait tortullar Trabzon-Akçaabat ve Rize-Pazar sahillerine yakın yerlerde mevcuttur (Özsayar, 1971). Kuvaterner yaşlı oluşuklar traverten ve alüvyonlardan oluşmaktadır.

### **1.8. Doğu Karadeniz Bölümü'nde Yapılan Önceki Mühendislik Jeolojisi Çalışmaları**

Doğu Karadeniz Bölümü'nde araştırmacılar tarafından gerçekleştirilen sınırlı sayıdaki tünel jeolojisine yönelik çalışmalardan bazıları aşağıda verilmiştir.

Bulut (1989), Çambaşı (Çaykara-Trabzon) barajı yerindeki iletim tünellerini mühendislik jeolojisi açısından incelemiştir. İletim tünelleri güzergâhlarında yüzeyleyen kayaçları Q sınıflama sistemini kullanarak tünel kayası olmaları açısından sınıflandırmış ve destek türünü araştırmıştır.

Esmer (1996), Kemalpaşa-Sarp (Hopa-Artvin) arasında açılması planlanan tünellerin güzergâhında mühendislik jeolojisi çalışmaları gerçekleştirmiş, tünel kayası sınıflaması yapmış ve tünellerde destekleme gerekip gerekmediğini araştırmıştır. Tünel kayalarını oluşturan kayaçların jeolojik, fiziksel, mekanik ve elastik özelliklerini göz önüne alarak tünellerde gerekli destek tiplerini belirlemiştir.

Canpolat (2003), Karadeniz Devlet Sahil yolunun Çayeli-Hopa kesiminde inşa edilen Pazar (Rize) Tüneli'ni mühendislik jeolojisi açısından değerlendirerek en uygun tünel açım tekniğini belirlemiştir.

Kaya (2008), Konakönü (Araklı-Trabzon) Tüneli'nin sol tüp giriş portalını jeoteknik açıdan incelemiştir. Tünel içi hat etüdü çalışmaları ve kayaçlar üzerinde yapılan laboratuvar deneyleri sonucunda elde edilen verileri kullanılarak Q, RMR ve NATM kaya kütle sınıflama sistemlerine göre, sol tüp giriş portalının içinden geçeceği kaya kütlelerini sınıflandırmış ve uygun destek elemanlarını belirlemiştir.

Muratlı (2000), Karadeniz Devlet Sahil Yolu iyileştirme projesi kapsamındaki yapılması önerilen Geçilmez (Ordu) Tüneli'nin zeminini oluşturan kayaçları RMR, Q

ve NATM sistemleri ile sınıflandırmış ve tünel duraylılığının denetlenmesi için gerekli olan jeoteknik parametreleri belirlemiştir.

Kaya vd. (2011), Araklı (Araklı-Konakönü-Trabzon) Tüneli'nin giriş portalını Q, RMR, R<sub>Mi</sub> ve NATM kaya kütle sınıflama sistemlerine göre sınıflandırarak ön destek tasarımını belirlemiş ve bu destek sistemlerinin performanslarını sayısal analizler yaparak araştırmıştır.

Kaya (2012), Cankurtaran (Hopa-Artvin) Tüneli'nin proje güzergâhında ve çevresinde yer alan birimleri jeoteknik açıdan incelemiştir. Proje güzergâhında yer alan birimlerin mühendislik özellikleri belirlenmiştir. Fiziko-mekanik özelliklerden, sondaj ve hat etüdü çalışmalarından elde edilen verileri kullanarak jeoteknik birimleri RMR, Q, R<sub>Mi</sub>, NATM ve GSI sistemlerine göre sınıflandırmış ve tünel için ampirik ön destek elemanlarını belirlemiştir. Ön destek elemanlarının performanslarını Sonlu Elemanlar Yöntemi'ni (FEM) kullanarak araştırmıştır.

Kanık (2015), Maçka (Trabzon) Tüneli güzergâhındaki kayaçların mühendislik özelliklerini ve kazı sırasında kullanılacak optimum destek sistemlerini araştırmıştır. Tünel güzergâhındaki kaya kütlelerini RMR, R<sub>Mi</sub>, Q, GSI ve NATM sistemlerini kullanarak sınıflandırmıştır. Ön destek sistemlerinin uygulanabilirlikleri, kazıdan sonra tünel etrafında oluşacak plastik zonun kalınlığını ve yer değiştirme miktarlarına etkilerini Sonlu Elemanlar Yöntemi'ni (FEM) kullanarak analiz etmiştir.

Furat (2016), Rize-İspir Kara Yolu güzergâhı üzerinde bulunan Güneyce (İkizdere-Rize) Tüneli'nin sağ tüp giriş ve çıkış bölümleri boyunca mühendislik jeolojisi incelemesi gerçekleştirmiştir. Yapılan hat etüdü çalışmaları ve kaya malzemeleri üzerinde yapılan laboratuvar deneyleri sonucunda elde edilen verileri kullanarak Q, RMR, NATM ve GSI kaya kütle sınıflama sistemlerine göre kaya kütlelerini sınıflandırmış ve uygun destek birimlerini belirlemiştir.

Yılmaz (2017), Ordu Çevre Yolu Projesi kapsamında yapılan Boztepe Tüneli'nde meydana gelen aşırı sökümleri incelemiştir. Kazı çalışmaları sırasında oluşan aşırı

sökülmelere süreksizlik düzlemlerinin etkilerini kinematik ve analitik analizler yoluyla değerlendirmiştir.

Kaya ve Sayın (2019), Salarha (Rize) Tüneli'nde yer alan birimleri mühendislik jeolojisi açısından incelemiştir. Tünel için ampirik, analitik ve sayısal yöntemler kullanarak ön destek elemanlarını belirlemiştir. Ön destek elemanlarının performanslarını 2D ve 3D Sonlu Elemanlar Yöntemi'ni (FEM) kullanarak araştırmıştır.

### **1.9. Ovit Tüneli Güzergâhında Yapılan Önceki Jeoteknik Çalışmalar**

Karayolları Genel Müdürlüğü (KGM) idaresinde yapım çalışmaları Makyol İnş. San. Tur. ve Tic. A.Ş. tarafından yürütülen “İkizdere-İspir Karayolu Ovit Tüneli Yapım İşi” kapsamında Mega Mühendislik tarafından arazi ve laboratuvar çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda, Eylül 2011 tarihinde Ovit Tüneli Proje çalışmaları kapsamında Jeoloji-Jeoteknik etütler yapılmıştır

Bu çalışmadan sonra Şubat 2013 tarihinde ise TTS Uluslararası Mühendislik ve Mimarlık Ltd. Şti. tarafından Ovit Tüneli için Kesin Proje ve Kesin Proje Hesap çalışmaları amacıyla ek Jeolojik-Jeoteknik etütler gerçekleştirilmiştir.

## 2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

Bu çalışma kapsamında Ovit (İkizdere-Rize) Tüneli sağ tüpünün KM: 64+173,00-64+373,00 arası mühendislik jeolojisi açısından araştırılmıştır. Çalışma alanının ve çevresinin jeolojisini tanımlamak amacıyla 1/25000 ölçekli jeoloji haritası hazırlanmıştır. Tünel güzergâhında bulunan kayaçlar, 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. Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, İnce Kesit Hazırlama Laboratuvarı'nda yaptırılan ince kesitler, Olympus marka polarizan mikroskopta incelenerek inceleme alanındaki kayaçların mineralojik ve petrografik özellikleri belirlenmiş ve kayaç adlamaları yapılmıştır.

49 adet kazı aynasından (EK-1) alınan süreksizlik ölçümlerden ve örneklerden yararlanılarak her bir kaya kütlesi için ISRM (2007) tarafından önerilen tanımlama ölçütlerine göre süreksizliklerin özellikleri tanımlanmıştır. Ayna ve duvarlarda yapılan hat etüdü çalışmaları 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 her bir kaya kütlesine ait Süreksizlik sıklığı ( $\lambda$ ), RQD (Kaya kalite göstergesi) ve Hacimsel eklem sayısı ( $J_v$ ) değerleri belirlenmiştir.

Kaya kütlelerini temsil etmesi amacıyla toplam 3 profilde, 12 kanallı Geometrics marka ve ES3000 model araştırma sismografi kullanılarak sismik kırılma ölçümleri alınmıştır. Elastik ses dalgasının boyuna ( $V_p$ ) ve enine ( $V_s$ ) yayılma hızları yardımıyla dinamik deformasyon modülü ( $E_{md}$ ) ve Poisson oranı ( $\nu_{md}$ ) belirlenmiştir.

Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Kaya ve Zemin Mekaniği Laboratuvarı'nda hazırlanan kaya malzemeleri üzerinde çalışmanın amacına uygun fiziko-mekanik ve elastik deneyler yapılmıştır. Bu amaçla yoğunluk, birim hacim ağırlık, ağırlıkça ve hacimce su emme, porozite, nokta yükleme, tek eksenli



ve üç eksenli basınç, deformasyon, sonik hız ve suda dağılmaya karşı duraylılık deneyleri gerçekleştirilmiştir.

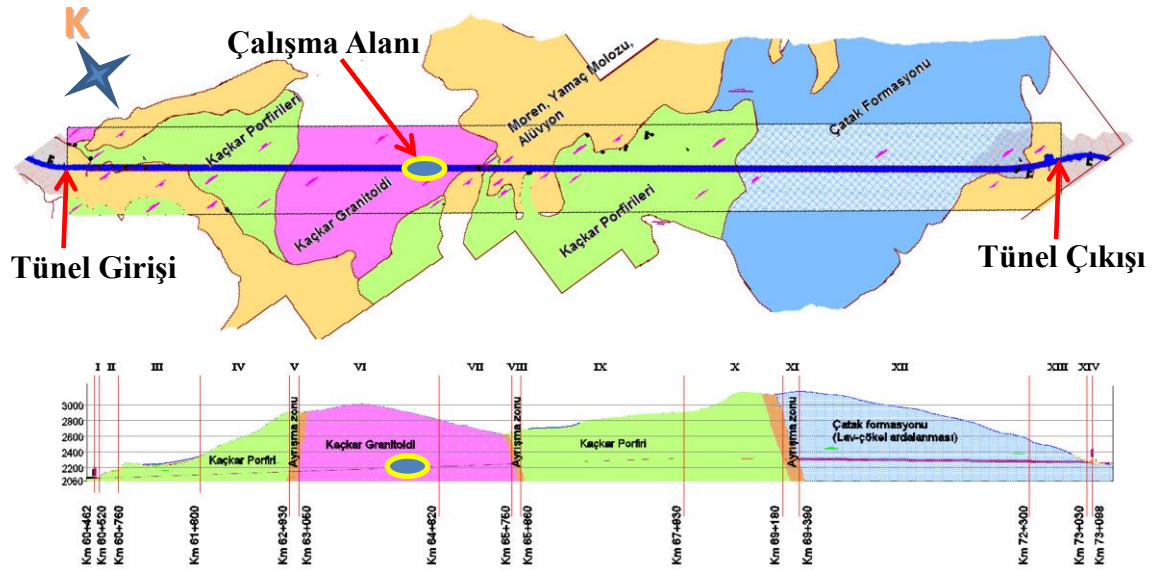
Kaya kütlelerine birimlere ait tek eksenli basınç dayanımı ( $\sigma_{cm}$ ) ve kaya kütle sabitleri ( $m_b$ ,  $s$ ,  $a$ ) araştırmacılar tarafından önerilmiş ampirik eşitlikler yardımıyla belirlenmiştir.

Elde edilen veriler yardımıyla tünel güzergahında yer alan birimler, Kaya kütle puanlaması (RMR), Kaya kütle kalitesi (Q), Jeolojik dayanım indeksi (GSI) ve Yeni Avusturya tünel açma yöntemi (NATM) sınıflama sistemleri kullanılarak sınıflandırılmış ve ampirik olarak destek tasarımı belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar, kazı öncesi önerilen destek tasarımı ile karşılaştırılarak birbirleriyle olan uyumlulukları araştırılmıştır.

### 3. BULGULAR

#### 3.1. Tünel Güzergâhının Genel Jeolojisi

Ovit Tüneli güzergâhında yer alan birimler litostratigrafik sınıflama ve adlama kuralları (NACS, 1983) esas alınarak tanımlanmış ve bunun sonucunda yaşıdan gence doğru Geç Kretase yaşlı Çatak Formasyonu ile bu birimi kesen Kaçkar Granitoidi ve Porfirleri'ne ait kayaların bulunduğu belirlenmiştir. Tünel güzergâhına ait 1/25000 ölçekli jeoloji haritası ve kesit Şekil 4'te sunulmuştur.



Şekil 4. Tünel güzergâhına ait 1/25000 ölçekli jeoloji haritası ve kesit (Koçak ve Baki, 2013'ten değiştirilerek)

#### 3.1.1. Çatak Formasyonu

İlk defa Güven (1993) tarafından tanımlanan ve neritik kireçtaşları üzerine uyumlu olarak gelen bazik karakterli volkano-tortul istif, başlıca bazalt, andezit ve bunların piroklastitleri ile kumtaşı, siltaşı, marn, şeyl ve kırmızı-bordo renkli killi kireçtaşı ardalanmasından oluşmaktadır. İçerdiği fosiller nedeniyle Geç Kretase yaşlı verilmiştir (Güven, 1993; Koçak ve Baki, 2013). Birimin tüf ve breşlerden oluşan volkanik seviyeleri koyu gri, yer yer siyah ve ayrıştığı yerlerde ise kahve renklidir. Volkanik kayalar genel olarak kırıklı, çatlaklı ve boşluklu olup, yoğun şekilde ayrışmıştır. Gri renkli olan kumtaşı, marn ve şeyller düzenli ince tabakalıdır. İstifin bazı kesimlerinde ise kırmızı-bordo renkli mikritik ve kristalize kireçtaşları yaygındır.

Asidik karakterli volkanik kayalardan oluşan Kızılkaya Formasyonu ile uyumlu olarak örtülen atak Formasyonu, tektonik hareketliliğe bağlı olarak parçalanan ve aktivite kazanan karbonat platformu üzerine okelmiştir. Formasyona ait birimler daha çok tünelin çıkış bölümüne yakın lokasyonlarda yüzeyleme vermektedir.

### **3.1.2. Kaçkar Granitoyidi ve Porfirleri**

Geç Kretase birimlerini kesen ve Eosen yaşlı birimlerce aşınma uyumsuzluğu ile örtülen kayalar, Güven (1993) tarafından Kaçkar Granitoyidi ve Porfirleri olarak isimlendirilmiştir. Granitoidler açık pembe, açık gri yer yer koyu gri renkli olup, genelde granit-granodiyorit, mikro kuvarslı diyorit, mikro granit bileşimidir. Bu granitoidlerin eklem düzlemleri iyi gelişmiştir. Genelde Geç Kretase birimlerini kesen ve Eosen yaşlı birimlerce uyumsuzluk ile örtülen bu granitoidlere Geç Kretase-Paleosen yaşı verilmiştir (Koçak ve Baki, 2013). Formasyona ait birimler tünelin giriş bölümünden itibaren gzerghın yaklaşık % 75'lik kısmını oluşturmaktadır.

Granitoidler, Ovit Tüneli güzergâhının giriş portalı ile Demlisu Yaylası arasındaki kesiminde ve Kırtepe ile Dağbaşı Mevkii arasında mostra verir ve gzerghın kuzeyine doğru geniş yayılım gösterir. Granitoidler granit ailesinin granit, alkali feldspat granit, monzogranit, kuvars monzonit, granodiyorit ve tonalit gibi farklı litolojilerinden oluşur. Granitoyidi oluşturan litolojiler genellikle açık renkli ve iri kristallidir. Monzonitler içerisinde farklı boyutta anklavlar, ksenolitler ve farklı kalınlıkta sokulumlar izlenir. Granitoidler bilhassa kenar kesimlerinde porfir daykları ile kesilir. Daykların boyutları birkaç on metre ile birkaç cm. arasında değişmektedir. Daykların sıklığı porfirler ile olan dokanağa doğru giderek artar ve böylece bazen keskin ve intrsif, bazen ise pek net olmayan bir dokanakla porfirlere geçilir. Kazanukuru Yaylası batısında ise granitoidlerin atak Formasyonu'nu kestiği izlenmektedir. Granitoidler üstte ise moren, yamaç molozu ve alüvyonlar tarafından kesilmektedir (Koçak ve Baki, 2013).

Kaçkar Magmatik Kompleksi'nin kenar zonunu oluşturan porfirler, hem granitoid hem de atak Formasyonu içerisine sokulmuş çok sayıda ve farklı litolojideki magmatik sokulumlardan oluşur. Bu grubu oluşturan kayaların ayırtman

özelliği sahada genellikle porfirik ya da bazen camsı görünümlü olmaları ve diğer kayalar ya da kendi içerisine dayklar, siller ya da daha büyük stoklar şeklinde sokulmuş olmalarıdır. Diğer yandan porfirler, granitoyidlere oranla daha sarp ve daha keskin bir morfoloji ile temsil edilirler. İnce taneli ve porfirik yapı nedeniyle kayaların çoğu nispeten koyu renklere sahiptir. Akma foliasyonlarının yanı sıra birimde soğuma çatlağı gelişimi oldukça yoğundur. Yer yer kolon yapıları da dikkati çeker. Granitoyidlerde olduğu gibi porfirler içerisinde de daha koyu renkli anklavlara rastlanmaktadır (Koçak ve Baki, 2013).

Bu çalışmanın konusunun oluşturan Kaçkar Granitoyidi'nden alınan örneklerin mikroskobik incelemelerinde, genel olarak daneli ve yer yer porfirik ve yazı dokusu gösterdikleri belirlenmiştir. Kayacı oluşturan açık renkli mineraller plajiyoklas, kuvars ve K-feldispat, koyu renkli mineraller ise biyotit ve hornblend ile temsil edilmekte olup, opak mineraller bunlara eşlik etmektedir. Tali mineral olarak titanit ve zirkon bulunmaktadır (Şekil 5a, b).

Plajiyoklas (% 50-55), genellikle öz ve yarı özşekilli fenokristaller halinde gözlenmektedirler. Yaygın olarak halkalı zonlanma ve albit ikizi göstermektedirler. Yarı özşekilli ve/veya halkalı zonlanma gösteren plajiyoklasların kenar kısımlarından itibaren kemirilme gösterdiği belirlenmiştir. Özellikle zonlu plajiyoklaslarda büyüme düzensizlikleri gözlenmiştir. Bazı örneklerde opak mineral ile çok az miktarda apatit kapanımları içerdikleri tespit edilmiştir. Bazı plajiyoklaslarda az oranda serisitleşme gözlenmektedir.

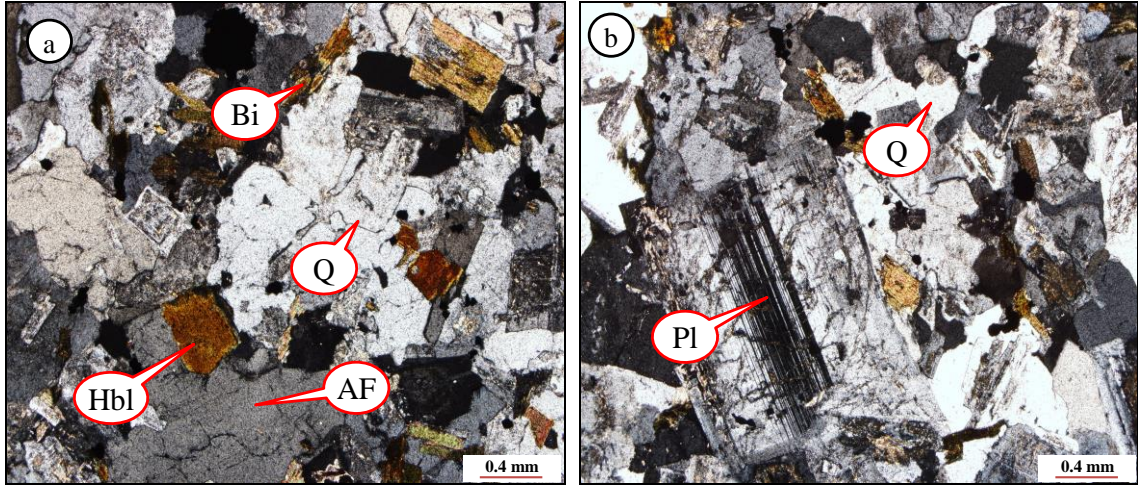
Kuvars (% 25-30), çoğunlukla özşekilsiz fenokristaller halinde olup, dalgalı sönme gösterir. Kuvars krsitalleri, K-feldpatlar ile birlikte yazı/grafik dokusunu oluştururlar. Yer yer feldispatların arasını dolduracak şekilde özşekilsiz kristaller halinde de gözükürler.

Ortoklas (% 8-10), az miktarda ve özşekilsiz ve yarı özşekilli fenokrsitaller halinde bulunur. Bazı ortoklaslarda karlsbad ikizi gözlenirken bazılarında da pertitik doku gözlenir. Çoğunlukla serisitleşmiş ve kaolenleşmişlerdir.

Biyotit (% 7-8) genellikle özşekilli ve yarı özşekilli kristaller halindedir ve (001) yüzeyine paralel dilinimi belirgindir. Kahverengi renk pleokroizması belirgindir. Çoğunlukla özşeklini korumuş halde yer yer de kırılmış ve parçalanmış halde gözlenmektedirler. Yer yer çok küçük latalar halinde plajiyoklasların içerisinde kapanım olarak gözlenirler. Bazılarının kenar kısımları amfibole dönüşmüştür. Yer yer de kloritleşme hakimdir.

Hornblend (% 4-6) yarı özşekilli ve özşekilsiz kristaller halinde bulunur. Yeşil-açık yeşil renk pleokroizması göstermektedirler ve çoğunlukla biyotitten dönüşmüşlerdir.

Opak mineraller (% 2-4), küçük köşeli ve yuvarlak kristaller halinde gözlenirler. Opak mineraller bol olarak mafik minerallerin ve plajiyoklasların içerisinde kapanımlar halindedir. Zirkon (% 1-2) genellikle özşekilli ve yarı özşekilli, çok küçük prizmatik kristaller halindedir. Röliyefi ve çift kırıcılığı çok yüksektir. Genellikle plajiyoklas ve biyotitler içerisinde görülür. Titanit (% 1-2) ise genellikle plajiyoklaslar içerisinde görülmekte olup, renksiz ve berraktır.



Şekil 5. Kaçkar Granitoyidi'nden alınan granit örneklerinin mikroskopik görünüşleri (Çift Nikol) (Hbl: hornblend, Bi: biyotit, Q: kuvars, Pl: plajiyoklas, AF: Ortoklas)

## 3.2. Mühendislik Jeolojisi Çalışmaları

### 3.2.1. Laboratuvar Çalışmaları

#### 3.2.1.1. Fiziksel Özellikler

Kaya malzemelerinin fiziksel özelliklerini belirlemek için tünel güzergâhından derlenen kaya bloklarından laboratuvarında ISRM (2007) tarafından önerilen yöntemlere göre 49 adet silindirik şekilli örnek hazırlanmıştır. NX (54,7 mm.) çaplı olarak hazırlanan karot numunelerinin boyu çapının 2,5-3,0 katı olacak şekilde alt ve üst düzeyleri birbirine paralel biçimde düzenlenmiştir. Karot örnekleri 105 °C'de 24 saat etüvde kurutulduktan sonra tartılarak kuru kütleleri bulunmuştur. Daha sonra 48 saat saf suda bekletilip tartılarak doygun kütleleri belirlenmiştir. Bu verilerden faydalanarak birim hacim ağırlık ( $\gamma$ ), yoğunluk ( $d$ ), ağırlıkça su emme ( $S_a$ ), hacimce su emme ( $S_h$ ) ve porozite ( $n$ ) gibi indeks özellikleri saptanmıştır.

Ayrıca, granit örneklerinin iki standart çevrim süresince kurumaya ve ıslanmaya bırakılması durumunda zayıflamaya karşı gösterdiği duraylılığın belirlenmesi için 10 adet yuvarlaklaştırılmış örnek üzerinde ISRM (2007) tarafından önerilen yöntemlere göre Suda Dağılmaya Karşı Duraylılık Deneyi yapılmıştır. Elde edilen veriler yardımıyla Suda Dağılmaya Karşı Duraylılık İndeksi ( $I_{d2}$ ) değeri belirlenmiştir.

#### 3.2.1.2. Mekanik Özellikler

Tünel güzergâhındaki kaya bloklarından hazırlanan NX (54,7 mm.) çaplı ve boyu çapının 2,5-3,0 katı arasında olan karot numunelerinin tek eksenli basınç dayanımını ( $\sigma_{ci}$ ) belirlemek için ISRM (2007) tarafından önerilen yöntemlerden yararlanılmıştır. Tek eksenli basınç deneylerinde 12 adet karot numunesi kullanılmıştır. Yenilme anında kaydedilen yük değerleri yüzey alanına bölünerek dayanım değerleri belirlenmiştir.

Nokta yükleme deneyi yapılırken ISRM (2007) tarafından önerilen yöntemler esas alınmıştır. Deneyler, kaya bloklarından alınan karotlar üzerinde (çapsal ve eksenel) ve düzensiz şekilli örnekler üzerinde uygulanmıştır. Deney, karot örneklerine uygulanırken

uzunluklarının çaplarına oranının 1,0-1,5 arasında olmasına dikkat edilmiştir. Örnekler konik uçların arasına karotun eksenine dik yönde yerleştirilmiş, ve yükleme, örnekler 10-60 sn. içinde kırılacak şekilde gerçekleştirilmiştir. Deney, düzensiz örnekler üzerine uygulanırken de  $50 \pm 3,5$  mm. boyutundaki örnekler kullanılmıştır. Kalınlık ve genişlik oranının 0,3-1,0 arasında olmasına dikkat edilmiştir. Deneyler 4 adet düzensiz şekilli, 8 adet çapsal ve 25 adet eksenel karot numunesi üzerinde gerçekleştirilmiş. Elde edilen sonuçlar 50 mm.'lik referans çapa göre düzeltilerek  $I_{S(50)}$  değerleri belirlenmiştir.

NX (54,7 mm.) çaplı karot numunelerinden kalınlıkları kendi yarıçaplarına eşit olan 14 adet disk şeklinde örnek hazırlanmıştır. Bu örneklerin çekme dayanımlarını dolaylı yoldan belirlemek için ISRM (2007) tarafından önerilen yöntemlere göre Brazilian deneyi uygulanmıştır. Numunelerin üzerine düşey yönde basma kuvveti uygulanarak numunenin yatay yönde oluşan çekme kuvveti neticesinde kırılması sağlanmış ve çekme dayanımı ( $\sigma_t$ ) değerleri hesaplanmıştır.

Kaya malzemelerinin kayma dayanımı parametrelerini ( $c$  ve  $\phi$ ) saptanmak amacıyla 5 adet NX (54,7 mm.) çaplı karot numunesi üzerinde ISRM (2007) tarafından önerilen yöntemlere göre üç eksenli sıkışma deneyi yapılmıştır. Deney verileri kullanılarak  $\sigma$ - $\tau$  eksen takımında Mohr daireleri çizilmiştir. Bu dairelere ortak teğet çizilerek bu doğrunun düşey eksenini kestiği yer olan kaya malzemesinin kohezyonu, doğrunun eğimi ile içsel sürtünme açısı belirlenmiştir.

### **3.2.1.3. Elastik Özellikler**

Tünel güzergâhındaki kaya bloklarından hazırlanan NX (54,7 mm.) çaplı ve boyu çapının 2,5-3,0 katı arasında olan 49 adet karot numunesinin ultrasonik ses dalgası iletkenliğini belirlemek için ISRM (2007) tarafından önerilen yöntemlere göre ultrasonik dalga hızı deneyleri gerçekleştirilmiştir. Kuru ve doymuş numuneler içinde ilerleyen P (boyuna) ve S (enine) dalgalarının hızlarından yararlanarak elastisite modülü ve Poisson oranı gibi dinamik elastik özellikler belirlenmiştir.

Ayrıca, 6 adet karot örneği üzerinde çapsal ve eksenel birim deformasyonları ölçülecek Strain-gauge'ler (deformasyon-ölçer) kullanılarak tek eksenli yükleme

koşullarındaki gerilme-birim deformasyon özellikleri belirlenmiştir. Deneysel esnasında kaydedilen aksel birim deformasyon ( $\epsilon_e$ ) ve çapsal birim deformasyon ( $\epsilon_b$ ) değerleri yardımıyla ( $\sigma$ - $\epsilon_e$ )-( $\sigma$ - $\epsilon_b$ ) grafikleri çizilmiştir. Bu grafikler yardımıyla örneklere ait statik elastisite modülü ve Poisson oranı değerleri saptanmıştır.

Fiziko-mekanik ve elastik deneyler sonucunda elde edilen sonuçların istatistiksel olarak değerlendirilmesi Tablo 1’de özet olarak verilmiştir. Hazırlanan deney numunelerine ait fotoğraflar Şekil 6’da sunulmuştur.

**Tablo 1.** Granit örneklerine ait fiziko-mekanik ve elastik özellikler

	Örnek Sayısı	En büyük	En küçük	Ortalama	Standart Sapma
$d_n$ (gr/cm <sup>3</sup> )	49	2,67	2,19	2,60	0,08
$d_k$ (gr/cm <sup>3</sup> )	49	2,67	2,18	2,59	0,06
$d_d$ (gr/cm <sup>3</sup> )	49	2,68	2,19	2,61	0,06
$\gamma_n$ (kN/m <sup>3</sup> )	49	26,24	21,44	25,53	0,75
$\gamma_k$ (kN/m <sup>3</sup> )	49	26,17	21,41	25,54	0,61
$\gamma_d$ (kN/m <sup>3</sup> )	49	26,28	21,44	25,61	0,62
$S_a$ (%)	49	2,10	0,13	0,35	0,27
$S_h$ (%)	49	5,42	0,29	0,91	0,69
$n$ (%)	49	5,42	0,29	0,91	0,69
$I_{d2}$ (%)	10	-	-	99,66	-
$\sigma_{ci}$ (MPa)	12	207,15	93,87	144,27	36,58
$I_{S(50)}$ (MPa)	37	10,00	3,91	7,62	1,13
$\sigma_t$ (MPa)	14	33,56	22,42	29,03	3,25
$\phi$ (derece)	5	-	-	63,10	-
$c$ (MPa)	5	-	-	15,40	-
$V_p$ (doygun) (m/sn)	49	5875,11	5333,82	5658,95	131,08
$V_s$ (doygun) (m/sn)	49	3670,01	2985,09	3257,80	183,62
$V_p$ (kuru) (m/sn)	49	5704,20	4468,05	4948,60	320,61
$V_s$ (kuru) (m/sn)	49	3615,13	2533,9	3096,92	252,01
$E_{id}$ (doygun) (GPa)	49	83,47	59,24	69,29	5,86
$\nu_{id}$ (doygun)	49	0,29	0,18	0,25	0,03
$E_{id}$ (kuru) (GPa)	49	76,00	42,85	58,66	7,95
$\nu_{id}$ (kuru)	49	0,27	0,06	0,17	0,05
$E_{is}$ (GPa)	5	68,03	66,78	67,41	0,88
$\nu_{is}$	5	0,25	0,21	0,23	0,03

$d_n$ : doğal yoğunluk,  $d_k$ : kuru yoğunluk,  $d_d$ : doygun yoğunluk,  $\gamma_n$ : doğal birim hacim ağırlık,  $\gamma_k$ : kuru birim hacim ağırlık,  $\gamma_d$ : doygun birim hacim ağırlık,  $S_a$ : ağırlıkça su emme,  $S_h$ : hacimce su emme,  $n$ : görünür porozite,  $I_{d2}$ : suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi,  $\sigma_{ci}$ : tek eksenli basınç dayanımı,  $I_{S(50)}$ : nokta yükü dayanım indeksi,  $\sigma_t$ : çekme dayanımı,  $\phi$ : içsel sürtünme açısı,  $c$ : kohezyon,  $V_p$ : elastik dalganın boyuna yayılma hızı,  $V_s$ : elastik dalganın enine yayılma hızı,  $E_{id}$ : dinamik elastisite modülü,  $\nu_{id}$ : dinamik Poisson oranı,  $E_{is}$ : statik elastisite modülü,  $\nu_{is}$ : statik Poisson oranı

Yapılan fiziksel deneyleri sonucunda  $d_n$  değerinin 2,19-2,67 gr/cm<sup>3</sup>,  $d_k$  değerinin 2,18-2,67 gr/cm<sup>3</sup>,  $d_d$  değerinin 2,19-2,68 gr/cm<sup>3</sup>,  $\gamma_n$  değerinin 21,44-26,24 kN/m<sup>3</sup>,  $\gamma_k$  değerinin 21,41-26,17 kN/m<sup>3</sup>,  $\gamma_d$  değerinin 21,44-26,28 kN/m<sup>3</sup>,  $S_a$  değerinin % 0,13-2,10,  $S_h$  değerinin % 0,29-5,42,  $n$  değerinin % 0,29-5,42,  $I_{d2}$  değerinin % 99,66,  $V_p$  (doygun) değerinin 5333,82-58875,11 m/sn,  $V_s$  (doygun) değerinin 2985,09-3670,01 m/sn,  $V_p$



(kuru) değerinin 4468,05-5704,20 m/sn,  $V_s$  (kuru) değerinin 2533,90-3615,13 m/sn arasında değiştiği belirlenmiştir. Dayanım deneyleri sonucunda  $\sigma_{ci}$  değerinin 93,87-208,15 MPa,  $I_{S(50)}$  değerinin 3,91-10,00 MPa,  $\sigma_t$  değerinin 22,42-33,56 MPa arasında olduğu saptanmıştır. Gerçekleştirilen elastik deneylere göre  $E_{id}$  (doygun) değerinin 59,24-83,47 GPa,  $\nu_{id}$  (doygun) değerinin 0,18-0,29,  $E_{id}$  (kuru) değerinin 42,85-76,00 GPa,  $\nu_{id}$  (kuru) değerinin 0,06-0,27,  $E_{is}$  değerinin 66,78-68,03 GPa ve  $\nu_{is}$  değerinin 0,21-0,25 olduğu tespit edilmiştir. Üç eksenli sıkışma deneylerine göre kayma dayanımı parametreleri  $\phi$ : 63,10°, c: 15,40 MPa olarak hesaplanmıştır.



**Şekil 6.** Fiziko-mekanik ve elastik deneylerin yapıldığı bazı örneklerle ait fotoğraflar

### 3.2.2. Süreksizliklere Ait Özellikler

İncelenen tünel güzergâhındaki 49 adet kazı aynasında (EK-1) yer alan kaya kütlelerinin içerdiği süreksizliklerin özelliklerini belirlemek için tünel ayna ve duvarlarında yapılan hat etüdü çalışmalarından yararlanılmıştır. Hat etüdü yöntemi, geniş bir alanda kaya kütlelerinin incelenmesine ve süreksizliklerden doğrudan ölçüm alınmasına olanak kılan bir yöntemdir. Süreksizliklerin özellikleriyle ilgili veri toplanmasında en doğru sonuçların alındığı hat etüdü yöntemiyle yapılan ölçümler süreksizlik ara uzaklığı ve devamlılığına bağlı olarak ayna ve duvarlarda genellikle tek hat üzerinde yapılmıştır. Süreksizliklere ait yönelim, ara uzaklık, açıklık, devamlılık, yüzey pürüzlülüğü ve dalgalılığı, bozunma derecesi, dolgu malzemesinin özelliği ve yüzeylerindeki su durumu gibi özellikler ISRM (2007) tarafından önerilen ölçütlere göre tanımlanmıştır.

Kaya kütlelerine ait süreksizlik sıklığı ( $\lambda$ ) parametresinin tanımlanması amacıyla Franklin vd. (1971) tarafından önerilen tanımlama ölçütleri kullanılmıştır. Kaya kalite göstergesinin (RQD) tespitinde ise Priest ve Hudson (1976) tarafından önerilen birim uzunluktaki (1 m.) bir doğru boyunca saptanan süreksizlik sayısının göz önüne alındığı yöntem kullanılmıştır. Hacimsel eksem sayısının ( $J_v$ ) belirlenmesinde ise Palmström (2005) tarafından 1 m<sup>3</sup>'lük kaya bloğu için önerilen ve RQD değerinin kullanıldığı yöntemden yararlanılmıştır. Yararlanılan eşitlikler aşağıda sunulmuştur.

$$RQD = 100 e^{(-0,1\lambda)}(0,1\lambda+1) \quad (1)$$

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

Burada;  $\lambda$ : 1 m. uzunluğundaki ölçüm hattını kesen ortalama süreksizlik sayısı ve  $J_v$ : 1 m<sup>3</sup>'lük kaya bloğundaki süreksizlik sayısıdır.

Her bir kazı aynasındaki kaya kütlelerine ait süreksizliklerin özellikleri Tablo 2-5'de, tünelin sağ-sol duvarlarından ve aynalardan alınan ölçülerle belirlenmiş ortalama  $\lambda$ , RQD ve  $J_v$  değerleri Tablo 6'da, ayna ölçümlerine ait bazı fotoğraflar Şekil 7'de ve tüm aynalardan ölçülen süreksizliklere ait kontur diyagramı Şekil 8'de verilmiştir.

**Tablo 2.** Ayna 1-13 arasındaki kaya kütlelerindeki süreksizlik özelliklerinin ISRM (2007) tanımlama ölçütlerine göre değerlendirilmesi

	Ayna-1	Ayna-2	Ayna-3	Ayna-4	Ayna-5	Ayna-6	Ayna-7	Ayna-8	Ayna-9	Ayna-10	Ayna-11	Ayna-12	Ayna-13
Süreksizlik takımları	Üç adet ana eklem takımı ve gelişmiş güzel eklemeler (J1: 74/278, J2: 83/333, J3: 86/31)												
Süreksizlik ara uzaklığı (cm)	19,22	8,23	9,00	12,03	12,53	12,97	12,18	15,61	11,23	12,51	7,08	10,13	11,19
Tanımlama (ISRM, 2007)	Yakın ara uzaklıklı	Yakın ara uzaklıklı	Yakın ara uzaklıklı	Yakın ara uzaklıklı	Yakın ara uzaklıklı	Yakın ara uzaklıklı	Yakın ara uzaklıklı	Yakın ara uzaklıklı	Yakın ara uzaklıklı	Yakın ara uzaklıklı	Yakın ara uzaklıklı	Yakın ara uzaklıklı	Yakın ara uzaklıklı
Süreksizlik açıklığı (mm)	0,0-2,0	0,0-15,0	0,0-2,0	0,0-10,0	0,0-1,0	0,0-10,0	0,0-1,0	0,0-1,0	0,0-3,0	0,0-4,0	0,0-2,0	0,0-3,0	0,0-3,0
Tanımlama (ISRM, 2007)	Açık	Geniş	Açık	Orta derecede geniş	Açık	Orta derecede geniş	Açık	Açık	Orta derecede geniş	Orta derecede geniş	Açık	Orta derecede geniş	Orta derecede geniş
Süreksizliklerdeki dolgu malzemesi	Genel olarak orta sertlikte-sert beyaz-bej renkli kalsit dolgu, yer yer kil sıvaması ve demiroksit boyaması												
Süreksizlik devamlılığı (m)	3,59	2,95	3,02	2,71	3,24	2,89	2,86	5,33	3,86	4,88	4,04	4,42	4,54
Tanımlama (ISRM, 2007)	Orta derecede devamlı	Düşük derecede devamlı	Orta derecede devamlı	Düşük derecede devamlı	Orta derecede devamlı	Düşük derecede devamlı	Düşük derecede devamlı	Orta derecede devamlı	Orta derecede devamlı	Orta derecede devamlı	Orta derecede devamlı	Orta derecede devamlı	Orta derecede devamlı
Süreksizlik pürüzlülüğü	Dalgalı düz	Dalgalı pürüzlü	Dalgalı pürüzlü	Dalgalı pürüzlü	Dalgalı pürüzlü	Dalgalı pürüzlü	Dalgalı pürüzlü	Dalgalı pürüzlü	Dalgalı pürüzlü	Dalgalı pürüzlü	Dalgalı pürüzlü	Dalgalı pürüzlü	Dalgalı pürüzlü
Tanımlama (ISRM, 2007)													
Süreksizlik yüzeylerinin bozunma derecesi (ISRM, 2007)	Taze	Taze	Taze	Taze	Taze	Taze	Taze	Taze	Taze	Taze	Taze	Taze	Taze
Süreksizlik yüzeylerindeki su durumu (ISRM, 2007)	Damlama	Damlama	Damlama	Tamamen kuru	Tamamen kuru	Damlama	Damlama	Tamamen kuru	Tamamen kuru	Nemli	Damlama	Damlama	Damlama

**Tablo 3.** Ayna 14-26 arasındaki kaya kütlelerindeki süreksizlik özelliklerinin ISRM (2007) tanımlama ölçütlerine göre değerlendirilmesi

	Ayna-14	Ayna-15	Ayna-16	Ayna-17	Ayna-18	Ayna-19	Ayna-20	Ayna-21	Ayna-22	Ayna-23	Ayna-24	Ayna-25	Ayna-26
Süreksizlik takımları	Üç adet ana eklem takımı ve gelişmiş güzel eklemeler (J1: 74/278, J2: 83/333, J3: 86/31)												
Süreksizlik ara uzaklığı (cm)	8,05	6,81	9,96	7,25	8,18	8,60	9,03	8,15	8,13	10,38	9,81	10,41	10,59
Tanımlama (ISRM, 2007)	Yakın ara uzaklıklı	Yakın ara uzaklıklı	Yakın ara uzaklıklı	Yakın ara uzaklıklı	Yakın ara uzaklıklı	Yakın ara uzaklıklı	Yakın ara uzaklıklı	Yakın ara uzaklıklı	Yakın ara uzaklıklı	Yakın ara uzaklıklı	Yakın ara uzaklıklı	Yakın ara uzaklıklı	Yakın ara uzaklıklı
Süreksizlik açıklığı (mm)	0,0-1,0	0,0-2,0	0,0-13,0	0,0-4,0	0,0-1,0	0,0-5,0	0,0-1,2	0,0-1,0	0,0-1,0	0,0-1,0	0,0-1,0	0,0-1,0	0,0-1,0
Tanımlama (ISRM, 2007)	Açık	Açık	Çok geniş	Orta derecede geniş	Açık	Orta derecede geniş	Açık	Açık	Açık	Açık	Açık	Açık	Açık
Süreksizliklerdeki dolgu malzemesi	Genel olarak orta sertlikte-sert beyaz-bej renkli kalsit dolgu, yer yer kil sıvaması ve demiroksit boyaması												
Süreksizlik devamlılığı (m)	3,15	4,68	4,26	3,16	3,39	3,15	3,36	3,25	4,05	3,84	3,56	4,28	3,50
Tanımlama (ISRM, 2007)	Orta derecede devamlı	Orta derecede devamlı	Orta derecede devamlı	Orta derecede devamlı	Orta derecede devamlı	Orta derecede devamlı	Orta derecede devamlı	Orta derecede devamlı	Orta derecede devamlı	Orta derecede devamlı	Orta derecede devamlı	Orta derecede devamlı	Orta derecede devamlı
Süreksizlik pürüzlülüğü	Dalgalı pürüzlü	Dalgalı pürüzlü	Dalgalı pürüzlü	Dalgalı pürüzlü	Dalgalı pürüzlü	Dalgalı pürüzlü	Dalgalı pürüzlü	Dalgalı düz	Dalgalı pürüzlü	Dalgalı pürüzlü	Dalgalı pürüzlü	Dalgalı pürüzlü	Dalgalı pürüzlü
Tanımlama (ISRM, 2007)													
Süreksizlik yüzeylerinin bozunma derecesi (ISRM, 2007)	Taze	Taze	Taze	Taze	Taze	Taze	Taze	Taze	Taze	Taze	Taze	Taze	Taze
Süreksizlik yüzeylerindeki su durumu (ISRM, 2007)	Damlama	Damlama	Damlama	Damlama	Damlama	Damlama	Damlama	Damlama	Damlama	Tamamen kuru	Tamamen kuru	Tamamen kuru	Tamamen Nemli kuru

**Tablo 4.** Ayna 27-39 arasındaki kaya kütlelerindeki süreksizlik özelliklerinin ISRM (2007) tanımlama ölçütlerine göre değerlendirilmesi

	Ayna-27	Ayna-28	Ayna-29	Ayna-30	Ayna-31	Ayna-32	Ayna-33	Ayna-34	Ayna-35	Ayna-36	Ayna-37	Ayna-38	Ayna-39
Süreksizlik takımları	Üç adet ana eklem takımı ve gelişmiş güzel eklemeler (J1: 74/278, J2: 83/333, J3: 86/31)												
Süreksizlik ara uzaklığı (cm)	9,89	13,46	10,66	11,72	10,25	7,15	8,09	9,00	7,85	5,79	6,12	7,00	7,27
Tanımlama (ISRM, 2007)	Yakın ara uzaklıklı	Yakın ara uzaklıklı	Yakın ara uzaklıklı	Yakın ara uzaklıklı	Yakın ara uzaklıklı	Yakın ara uzaklıklı	Yakın ara uzaklıklı	Yakın ara uzaklıklı	Yakın ara uzaklıklı	Dar ara uzaklıklı	Yakın ara uzaklıklı	Yakın ara uzaklıklı	Yakın ara uzaklıklı
Süreksizlik açıklığı (mm)	0,0-1,0	0,0-1,0	0,0-10,0	0,0-2,0	0,0-4,0	0,0-3,0	0,0-4,0	0,0-3,0	0,0-2,0	0,0-3,0	0,0-20,0	0,0-2,0	0,0-4,0
Tanımlama (ISRM, 2007)	Açık	Açık	Orta derecede geniş	Açık	Orta derecede geniş	Orta derecede geniş	Orta derecede geniş	Orta derecede geniş	Açık	Orta derecede geniş	Çok geniş	Açık	Orta derecede geniş
Süreksizliklerdeki dolgu malzemesi	Genel olarak orta sertlikte-sert beyaz-bej renkli kalsit dolgu, yer yer kil sıvaması ve demiroksit boyaması												
Süreksizlik devamlılığı (m)	3,69	4,09	4,35	5,28	5,23	4,96	4,01	3,89	3,93	7,08	6,58	6,54	3,95
Tanımlama (ISRM, 2007)	Orta derecede devamlı	Orta derecede devamlı	Orta derecede devamlı	Orta derecede devamlı	Orta derecede devamlı	Orta derecede devamlı	Orta derecede devamlı	Orta derecede devamlı	Orta derecede devamlı	Orta derecede devamlı	Orta derecede devamlı	Orta derecede devamlı	Orta derecede devamlı
Süreksizlik pürüzlülüğü	Dalgalı düz	Dalgalı pürüzlü	Dalgalı pürüzlü	Dalgalı pürüzlü	Dalgalı pürüzlü	Dalgalı pürüzlü	Dalgalı pürüzlü	Dalgalı düz	Dalgalı düz	Dalgalı kaygan	Dalgalı kaygan	Dalgalı düz	Dalgalı pürüzlü
Tanımlama (ISRM, 2007)													
Süreksizlik yüzeylerinin bozunma derecesi (ISRM, 2007)	Taze	Taze	Taze	Taze	Taze	Taze	Taze	Taze	Taze	Taze	Taze	Az bozunmuş	Az bozunmuş
Süreksizlik yüzeylerindeki su durumu (ISRM, 2007)	Damlama	Damlama	Damlama	Damlama	Nemli	Damlama	Damlama	Tamamen kuru	Tamamen kuru	Tamamen kuru	Damlama	Damlama	Damlama

**Tablo 5.** Ayna 40-49 arasındaki kaya kütlelerindeki süreksizlik özelliklerinin ISRM (2007) tanımlama ölçütlerine göre değerlendirilmesi

	Ayna-40	Ayna-41	Ayna-42	Ayna-43	Ayna-44	Ayna-45	Ayna-46	Ayna-47	Ayna-48	Ayna-49
Süreksizlik takımları	Üç adet ana eklem takımı ve gelişmiş güzel eklemeler (J1: 74/278, J2: 83/333, J3: 86/31)									
Süreksizlik ara uzaklığı (cm)	6,70	7,92	5,71	7,83	7,45	6,14	9,53	6,41	6,40	6,90
Tanımlama (ISRM, 1981)	Yakın ara uzaklıklı	Yakın ara uzaklıklı	Dar ara uzaklıklı	Yakın ara uzaklıklı	Yakın ara uzaklıklı	Yakın ara uzaklıklı	Yakın ara uzaklıklı	Yakın ara uzaklıklı	Yakın ara uzaklıklı	Yakın ara uzaklıklı
Süreksizlik açıklığı (mm)	0,0-10,0	0,0-5,0	0,0-2,0	0,0-4,0	0,0-2,0	0,0-2,0	0,0-1,0	0,0-15,0	0,0-20,0	0,0-2,0
Tanımlama (ISRM, 1981)	Orta derecede geniş	Orta derecede geniş	Açık	Orta derecede geniş	Açık	Açık	Açık	Çok geniş	Çok geniş	Açık
Süreksizliklerdeki dolgu malzemesi	Genel olarak orta sertlikte-sert beyaz-bej renkli kalsit dolgu, yer yer kil sıvaması ve demiroksit boyaması									
Süreksizlik devamlılığı (m)	4,97	3,24	3,64	3,24	3,17	3,17	3,27	2,78	2,99	3,21
Tanımlama (ISRM, 1981)	Orta derecede devamlı	Orta derecede devamlı	Orta derecede devamlı	Orta derecede devamlı	Orta derecede devamlı	Orta derecede devamlı	Orta derecede devamlı	Düşük derecede devamlı	Düşük derecede devamlı	Orta derecede devamlı
Süreksizlik pürüzlülüğü	Dalgalı kaygan	Dalgalı düz	Dalgalı pürüzlü	Dalgalı düz	Dalgalı düz	Dalgalı pürüzlü	Dalgalı pürüzlü	Dalgalı pürüzlü	Dalgalı kaygan	Dalgalı düz
Tanımlama (ISRM, 2007)										
Süreksizlik yüzeylerinin bozunma derecesi (ISRM, 1981)	Az bozunmuş	Taze	Taze	Taze	Taze	Taze	Taze	Az bozunmuş	Az bozunmuş	Az bozunmuş
Süreksizlik yüzeylerindeki su durumu (ISRM, 1981)	Tamamen kuru	Damlama	Tamamen kuru	Damlama	Damlama	Damlama	Damlama	Tamamen kuru	Tamamen kuru	Tamamen kuru

**Tablo 6.** Kaya kütlelerine ait ortalama  $\lambda$ , RQD ve  $J_v$  değerlerinin literatürdeki tanımlama ölçütlerine göre değerlendirilmesi

Ayna No	KM	Süreksizlik sıklığı	Kaya kalite göstergesi	Hacimsel eklem sayısı
		( $\lambda$ , m <sup>-1</sup> ) Tanımlama (Franklin vd., 1971)	(RQD, %) Tanımlama (Deere, 1964)	( $J_v$ , eklem/m <sup>3</sup> ) Tanımlama (ISRM, 2007)
1	64+173,60	12,58/Çok çatlaklı- kırıklı	64/Orta	18.40/Küçük bloklar
2	64+177,60	13,06/Çok çatlaklı- kırıklı	65/Orta	18.00/Küçük bloklar
3	64+181,60	11,42/Çok çatlaklı- kırıklı	68/Orta	16.80/Küçük bloklar
4	64+185,40	10,67/Çok çatlaklı- kırıklı	71/Orta	15.60/Küçük bloklar
5	64+188,50	8,95/Kırıklı-çatlaklı	77/Orta	13.20/Küçük bloklar
6	64+191,50	8,89/Kırıklı-çatlaklı	78/İyi	12.80/Küçük bloklar
7	64+194,90	8,88/Kırıklı-çatlaklı	78/İyi	12.80/Küçük bloklar
8	64+198,90	8,58/Kırıklı-çatlaklı	79/İyi	12.40/Küçük bloklar
9	64+202,20	12,12/Çok çatlaklı- kırıklı	66/Orta	17.60/Küçük bloklar
10	64+205,88	13,49/Çok çatlaklı- kırıklı	61/Orta	19.60/Küçük bloklar
11	64+209,15	16,14/Çok çatlaklı- kırıklı	54/Orta	22.40/Küçük bloklar
12	64+213,33	9,79/Kırıklı-çatlaklı	74/Orta	14.40/Küçük bloklar
13	64+218,02	11,69/Çok çatlaklı- kırıklı	67/Orta	17.20/Küçük bloklar
14	64+221,50	12,77/Çok çatlaklı- kırıklı	64/Orta	18.40/Küçük bloklar
15	64+225,80	12,89/Çok çatlaklı- kırıklı	63/Orta	18.80/Küçük bloklar
16	64+230,10	12,35/Çok çatlaklı- kırıklı	65/Orta	18.00/Küçük bloklar
17	64+234,05	14,09/Çok çatlaklı- kırıklı	59/Orta	20.40/Küçük bloklar
18	64+238,50	12,64/Çok çatlaklı- kırıklı	64/Orta	18.40/Küçük bloklar
19	64+242,00	12,89/Çok çatlaklı- kırıklı	63/Orta	18.80/Küçük bloklar
20	64+245,92	9,19/Kırıklı-çatlaklı	76/İyi	13.60/Küçük bloklar
21	64+249,40	10,67/Çok çatlaklı- kırıklı	71/Orta	15.60/Küçük bloklar
22	64+253,10	9,97/Kırıklı-çatlaklı	74/Orta	14.40/Küçük bloklar
23	64+256,60	9,65/Kırıklı-çatlaklı	75/İyi	14.00/Küçük bloklar
24	64+260,50	8,03/Kırıklı-çatlaklı	81/İyi	11.60/Küçük bloklar
25	64+264,70	7,77/Kırıklı-çatlaklı	82/İyi	11.20/Küçük bloklar
26	64+268,50	5,37/Kırıklı-çatlaklı	90/İyi	8.00/Orta büyüklükte bloklar
27	64+272,20	6,87/Kırıklı-çatlaklı	85/İyi	10.00/Küçük bloklar
28	64+276,20	6,94/Kırıklı-çatlaklı	85/İyi	10.00/Küçük bloklar
29	64+280,74	8,60/Kırıklı-çatlaklı	79/İyi	12.40/Küçük bloklar
30	64+284,65	7,94/Kırıklı-çatlaklı	85/İyi	10.00/Küçük bloklar
31	64+288,10	10,21/Çok çatlaklı- kırıklı	73/Orta	14.80/Küçük bloklar
32	64+292,70	12,78/Çok çatlaklı- kırıklı	64/Orta	18.40/Küçük bloklar
33	64+296,50	9,26/Kırıklı-çatlaklı	76/İyi	13.60/Küçük bloklar
34	64+301,30	8,69/Kırıklı-çatlaklı	78/İyi	12.80/Küçük bloklar
35	64+305,70	10,60/Çok çatlaklı- kırıklı	71/Orta	15.60/Küçük bloklar
36	64+310,50	12,71/Çok çatlaklı- kırıklı	64/Orta	18.40/Küçük bloklar
37	64+314,50	14,00/Çok çatlaklı- kırıklı	59/Orta	20.40/Küçük bloklar
38	64+319,40	12,82/Çok çatlaklı- kırıklı	63/Orta	18.80/Küçük bloklar
39	64+323,00	11,32/Çok çatlaklı- kırıklı	69/Orta	16.40/Küçük bloklar
40	64+327,30	12,19/Çok çatlaklı- kırıklı	66/Orta	17.60/Küçük bloklar
41	64+331,40	11,11/Çok çatlaklı- kırıklı	69/Orta	16.40/Küçük bloklar
42	64+335,80	18,33/Çok çatlaklı- kırıklı	47/Orta	25.20/Küçük bloklar
43	64+340,20	10,00/Çok çatlaklı- kırıklı	74/Orta	14.40/Küçük bloklar
44	64+344,40	11,73/Çok çatlaklı- kırıklı	67/Orta	17.20/Küçük bloklar
45	64+348,00	14,31/Çok çatlaklı- kırıklı	59/Orta	20.40/Küçük bloklar
46	64+353,30	11,43/Çok çatlaklı- kırıklı	68/Orta	16.80/Küçük bloklar
47	64+356,75	14,00/Çok çatlaklı- kırıklı	59/Orta	20.40/Küçük bloklar
48	64+361,00	13,60/Çok çatlaklı- kırıklı	61/Orta	19.60/Küçük bloklar
49	64+365,70	12,62/Çok çatlaklı- kırıklı	64/Orta	18.40/Küçük bloklar

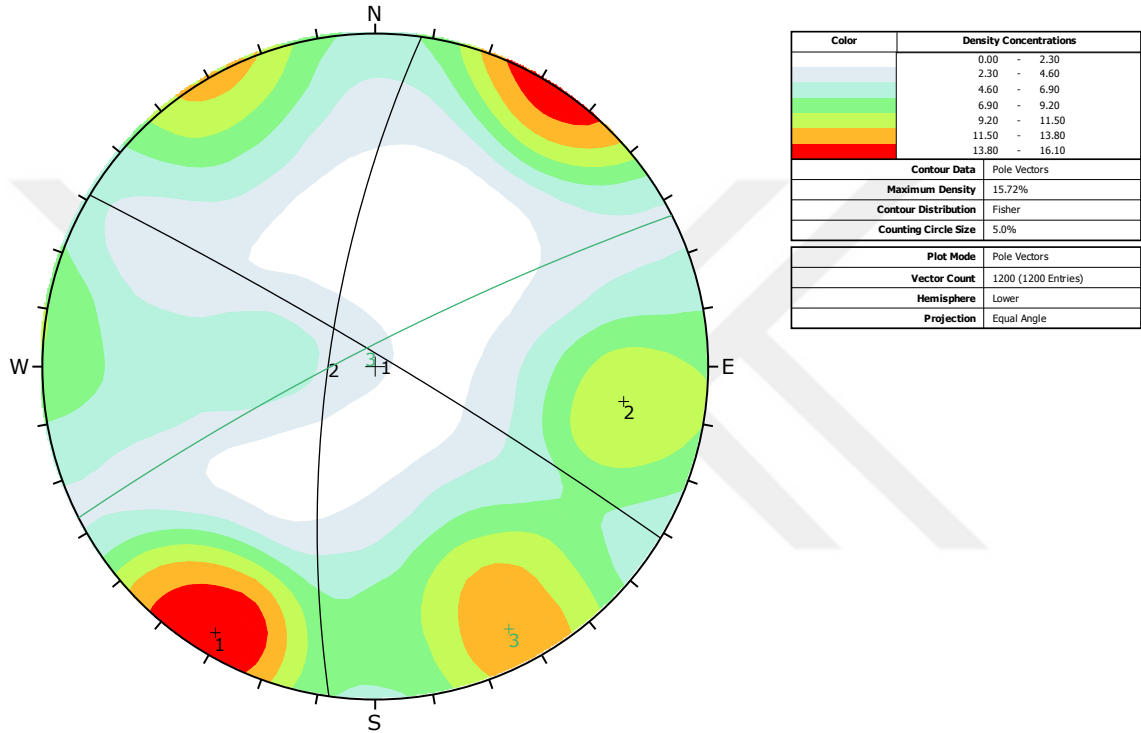


**Şekil 7.** Tünel ayna ve duvarında yapılan süreksizlik ölçümlerine ait fotoğraflar

Yapılan hat etüdü ölçümleri sonucunda süreksizliklere ait yönelim, ara uzaklık, açıklık, devamlılık, yüzey pürüzlülüğü ve dalgalılığı, bozunma derecesi, dolgu malzemesinin özelliği ve yüzeylerindeki su durumu gibi özellikler ISRM (2007) tarafından önerilen ölçütlere göre tanımlanmıştır. Buna göre kaya kütlelerinde J1: 74/278, J2: 83/333, J3: 86/31 duruşlu üç adet eklem takımının olduğu, süreksizlik ara uzaklığının “dar ve yakın” arasında değiştiği, süreksizlik açıklığının “açık, geniş ve orta derecede geniş” arasında değiştiği, süreksizliklerdeki dolgu malzemesinin genel olarak orta sertlikte-sert beyaz-bej renkli kalsit dolgu, yer yer kil sıvaması ve demiroksit boyaması olduğu, süreksizlik devamlılığının “düşük ve orta derece” arasında değiştiği, bozunma derecesinin “taze ve az bozunmuş” arasında değiştiği, su durumunun ise “tamamen kuru, nemli ve damlama” arasında değiştiği tespit edilmiştir.



Kaya kütlelerine ait süreksizlik sıklığının ( $\lambda$ ) 5,37-18,33  $m^{-1}$  arasında değiştiği ve Franklin vd. (1971)'e göre kaya kütlelerinin “kırıklı çatlaklı-çok çatlaklı kırıklı” türde olduğu; kaya kalite göstergesinin (RQD) % 47-90 arasında değiştiği ve Deere (1964)'e göre kaya kütlelerinin “orta-iyi” arasında olduğu ve hacimsel eksem sayısının ( $J_v$ ) 8,00-25,20 eklem/ $m^3$  arasında olduğu ve ISRM (2007)'ye göre blok boyutunun “orta büyüklükte bloklar-küçük bloklar” arasında değiştiği saptanmıştır.



Şekil 8. Tünel ayna ve duvarlarından ölçülen süreksizliklere ait kontur diyagramı

### 3.2.3. Kaya Kütlelerinin Sınıflandırılması

#### 3.2.3.1. Kaya Kütle Puanlaması (RMR) Sistemi

RMR sınıflama sistemi, Bieniawski (1973) tarafından geliştirilmiş bir kaya kütle sınıflama sistemi olup, daha sonraki yıllarda karşılaşılan mühendislik probleminin amacına yönelik olarak modifiye edilmiş (Bieniawski, 1989). RMR sistemine göre kaya kütlelerinin sınıflandırılmasında Kaya malzemesinin nokta yük dayanım indeksi veya tek eksenli basınç dayanımı, Kaya kalitesi göstergesi (RQD), Süreksizlik ara uzaklığı, Süreksizliklerin durumu (Devamlılık, açıklılık, pürüzlülük, dolgu ve bozunma), Süreksizliklerin yönelimi ve Yeraltı suyu koşulları gibi girdi parametreleri kullanılmaktadır.

Bu çalışmada, tünel güzergâhında yapılan hat etüdlerinden 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.

Çalışılan tünel güzergâhında yer alan kaya kütleleri RMR sistemi ile sınıflandırılarak kaya kütleleri kaliteleri açısından değerlendirilmiştir. İnceleme güzergâhındaki kaya kütlelerine ait RMR puanınının 36-56 arasında değiştiği, kaya sınıflarının ise “zayıf kaya” ve “orta kaya” olduğu saptanmıştır. Kaya kütleleri için hesap edilen RMR puanları aşağıdaki Tablo 7-11’de verilmiştir.







**Tablo 10.** Ayna 31-40 arasındaki kaya kütlelerinin RMR sınıflama sistemine göre değerlendirilmesi

	Ayna-31	Ayna-32	Ayna-33	Ayna-34	Ayna-35	Ayna-36	Ayna-37	Ayna-38	Ayna-39	Ayna-40	
<b>1</b> $\sigma_{ci}$ (MPa)	144,27	144,27	144,27	144,27	144,27	144,27	144,27	144,27	144,27	144,27	
Puan	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	
<b>2</b> RQD (%)	73	64	76	78	71	64	59	63	69	66	
Puan	14	13	15	15	14	13	12	13	14	13	
<b>3</b> Süreksizlik ara uzaklığı (cm.)	10,25	7,15	8,09	9,00	7,85	5,79	6,12	7,00	7,27	6,70	
Puan	6	5	5	6	5	5	5	5	5	5	
<b>4</b> Süreksizlik durumu	Devamlılık	5,23	4,96	4,01	3,89	3,93	7,08	6,58	6,54	3,95	4,97
	(m.)										
	Puan	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
	Açıklık (mm.)	4,0	3,0	4,0	3,0	2,0	3,0	20,0	2,0	4,0	10,0
	Puan	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Pürüzlülük	Pürüzlü	Pürüzlü	Düz	Düz	Kaygan	Kaygan	Düz	Pürüzlü	Düz	Kaygan
	Puan	5	5	1	1	0	0	1	5	1	0
	Dolgu	<5 mm.(sert)	<5 mm.(sert)	<5 mm.(sert)	<5 mm.(sert)	<5 mm.(sert)	<5 mm.(sert)	>5 mm.(sert)	<5 mm.(sert)	<5 mm.(sert)	>5 mm.(sert)
	Puan	4	4	4	4	4	4	2	4	4	2
	Bozunma	Taze	Taze	Taze	Taze	Taze	Taze	Taze	Az bozunmuş	Az bozunmuş	Az bozunmuş
	Puan	6	6	6	6	6	6	6	5	5	5
<b>5</b> Yeraltı suyu (lt/dk)	Genel koşullar	Nemli	Damlama	Damlama	Tamamen kuru	Tamamen kuru	Tamamen kuru	Damlama	Damlama	Damlama	Tamamen kuru
	Puan	10	4	4	15	15	15	4	4	4	15
<b>Temel RMR</b>		60	52	50	62	59	58	45	51	48	55
Süreksizlik yönelim düzeltmesi		-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5
<b>Nihai RMR</b>		55	47	45	57	54	53	40	46	43	50
Patlatma düzeltmesi		0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
Gerilme düzeltmesi		İhmal edildi	İhmal edildi	İhmal edildi	İhmal edildi	İhmal edildi	İhmal edildi	İhmal edildi	İhmal edildi	İhmal edildi	İhmal edildi
Zayıflık düzeltmeleri		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<b>Düzeltilmiş RMR</b>		50	42	41	51	49	48	36	41	39	45
Tanımlama (Bieniawski, 1989)		Orta kaya	Orta kaya	Orta kaya	Orta kaya	Orta kaya	Orta kaya	Zayıf kaya	Orta kaya	Zayıf kaya	Orta kaya

**Tablo 11.** Ayna 41-49 arasındaki kaya kütlelerinin RMR sınıflama sistemine göre değerlendirilmesi

	Ayna-41	Ayna-42	Ayna-43	Ayna-44	Ayna-45	Ayna-46	Ayna-47	Ayna-48	Ayna-49
<b>1</b> $\sigma_{ci}$ (MPa)	144,27	144,27	144,27	144,27	144,27	144,27	144,27	144,27	144,27
Puan	12	12	12	12	12	12	12	12	12
<b>2</b> RQD (%)	69	47	74	67	59	68	59	61	64
Puan	14	10	15	14	12	12	12	12	13
<b>3</b> Süreksizlik ara uzaklığı (cm.)	7,92	5,71	7,83	7,45	6,14	9,53	6,41	6,40	6,90
Puan	6	5	6	6	6	6	6	6	6
<b>4</b> Süreksizlik Devamlılık durumu (m.)	3,24	3,64	3,24	3,17	3,17	3,27	2,78	2,99	3,21
Puan	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Açıklık (mm.)	5,0	2,0	4,0	2,0	2,0	1,0	15,0	20,0	2,0
Puan	1	1	1	1	1	1	0	0	1
Pürüzlülük	Düz	Pürüzlü	Düz	Düz	Pürüzlü	Pürüzlü	Pürüzlü	Kaygan	Düz
Puan	1	5	1	1	5	5	5	0	1
Dolgu	<5 mm.(sert)	<5 mm.(sert)	<5 mm.(sert)	<5 mm.(sert)	<5 mm.(sert)	<5 mm.(sert)	>5 mm.(sert)	>5 mm.(sert)	<5 mm.(sert)
Puan	4	4	4	4	4	4	2	2	4
Bozunma	Taze	Taze	Taze	Taze	Taze	Taze	Az bozunmuş	Az bozunmuş	Az bozunmuş
Puan	6	6	6	6	6	6	5	5	5
<b>5</b> Yeraltı suyu (lt/dk)	Genel koşullar	Tamamen kuru	Damlama	Damlama	Damlama	Damlama	Damlama	Tamamen kuru	Tamamen kuru
Puan	4	15	4	4	4	4	4	15	15
<b>Temel RMR</b>	50	60	51	50	52	52	59	54	59
Süreksizlik yönelim düzeltmesi	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5
<b>Nihai RMR</b>	45	55	46	45	47	47	54	49	54
Patlatma düzeltmesi	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
Gerilme düzeltmesi	İhmal edildi	İhmal edildi	İhmal edildi	İhmal edildi	İhmal edildi	İhmal edildi	İhmal edildi	İhmal edildi	İhmal edildi
Zayıflık düzeltmeleri	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<b>Düzeltilmiş RMR</b>	41	50	41	41	42	42	49	44	49
Tanımlama (Bieniawski, 1989)	Orta kaya	Orta kaya	Orta kaya	Orta kaya	Orta kaya	Orta kaya	Orta kaya	Orta kaya	Orta kaya

### 3.2.3.2. Kaya Kütle Kalitesi (Q) Sistemi

Q sistemi, Barton vd. (1974) tarafından geliştirilmiştir. Sistem uzun yıllar kullanıldıktan sonra 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 belirlenmiştir.

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

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.

İncelenen tüneli güzergâhında yer alan kaya kütleleri Q sistemi ile sınıflandırılarak kaya kütlelerinin kaliteleri saptanmıştır. İnceleme güzergâhındaki kaya kütlelerine ait Q değerinin 1,44-11,25 arasında değiştiği, kaya sınıfının “zayıf kaya” ve “orta kaya” olduğu saptanmıştır. Kaya kütleleri için hesaplanan Q değerleri Tablo 12’de sunulmuştur.



**Tablo 12.** Kaya kütlelerinin Q kaya kütle sınıflama sistemine göre değerlendirilmesi

Ayna No	KM	Derinlik (m)	RQD (%)	J <sub>n</sub>	J <sub>r</sub>	J <sub>a</sub>	J <sub>w</sub>	SRF	Q Tanımlama (Barton vd., 1974)
1	64+173,60	775	64	12	2	1	0,5	2	2,67/Zayıf
2	64+177,60	774	65	12	3	1	0,5	2	4,06/Orta
3	64+181,60	773	68	12	4	1	0,5	2	5,67/Orta
4	64+185,40	772	71	12	3	1	1	2	8,88/Orta
5	64+188,50	771	77	12	3	1	1	2	9,63/Orta
6	64+191,50	770	78	12	3	1	0,5	2	4,88/Orta
7	64+194,90	769	78	12	3	1	0,5	2	4,88/Orta
8	64+198,90	768	79	12	3	1	1	2	9,88/Orta
9	64+202,20	768	66	12	3	1	1	2	8,25/Orta
10	64+205,88	767	61	12	3	1	1	2	7,63/Orta
11	64+209,15	766	54	12	3	1	0,5	2	3,38/Zayıf
12	64+213,33	765	74	12	3	1	0,5	2	4,63/Orta
13	64+218,02	764	67	12	3	1	0,5	2	4,19/Orta
14	64+221,50	763	64	12	3	1	1	2	8,00/Orta
15	64+225,80	762	63	12	3	1	1	2	7,88/Orta
16	64+230,10	761	65	12	3	1	1	2	8,13/Orta
17	64+234,05	760	59	12	3	1	1	2	7,38/Orta
18	64+238,50	758	64	12	3	1	1	2	8,00/Orta
19	64+242,00	757	63	12	3	1	1	2	7,88/Orta
20	64+245,92	756	76	12	2	1	1	2	6,33/Orta
21	64+249,40	756	71	12	3	1	1	2	8,88/Orta
22	64+253,10	755	74	12	3	1	0,5	2	4,63/Orta
23	64+256,60	754	75	12	3	1	0,5	2	4,69/Orta
24	64+260,50	753	81	12	3	1	0,5	2	5,06/Orta
25	64+264,70	752	82	12	3	1	0,5	2	5,13/Orta
26	64+268,50	751	90	12	3	1	1	2	11,25/Orta
27	64+272,20	750	85	12	2	1	0,5	2	3,54/Zayıf
28	64+276,20	748	85	12	3	1	0,5	2	5,31/Orta
29	64+280,74	747	79	12	3	1	0,5	2	4,94/Orta
30	64+284,65	746	85	12	3	1	0,5	2	5,31/Orta
31	64+288,10	745	73	12	3	1	1	2	9,13/Orta
32	64+292,70	744	64	12	3	1	0,5	2	4,00/Zayıf
33	64+296,50	743	76	12	2	1	0,5	2	3,17/Zayıf
34	64+301,30	742	78	12	2	1	1	2	6,50/Orta
35	64+305,70	741	71	12	3	1	1	2	8,88/Orta
36	64+310,50	739	64	12	3	1	1	2	8,00/Orta
37	64+314,50	738	59	12	2	1	0,5	2	2,46/Zayıf
38	64+319,40	737	63	12	3	2	0,5	2	1,97/Zayıf
39	64+323,00	736	69	12	2	2	0,5	2	1,44/Zayıf
40	64+327,30	735	66	12	1,5	2	1	2	2,06/Zayıf
41	64+331,40	734	69	12	2	1	0,5	2	2,88/Zayıf
42	64+335,80	733	47	12	3	1	1	2	5,88/Orta
43	64+340,20	732	74	12	2	1	0,5	2	3,08/Zayıf
44	64+344,40	731	67	12	2	1	0,5	2	2,79/Orta
45	64+348,00	730	59	12	3	1	0,5	2	3,69/Orta
46	64+353,30	728	68	12	3	1	0,5	2	4,25/Orta
47	64+356,75	728	59	12	3	2	1	2	3,69/Zayıf
48	64+361,00	727	61	12	1,5	2	1	2	1,91/Zayıf
49	64+365,70	726	64	12	2	2	1	2	2,67/Zayıf

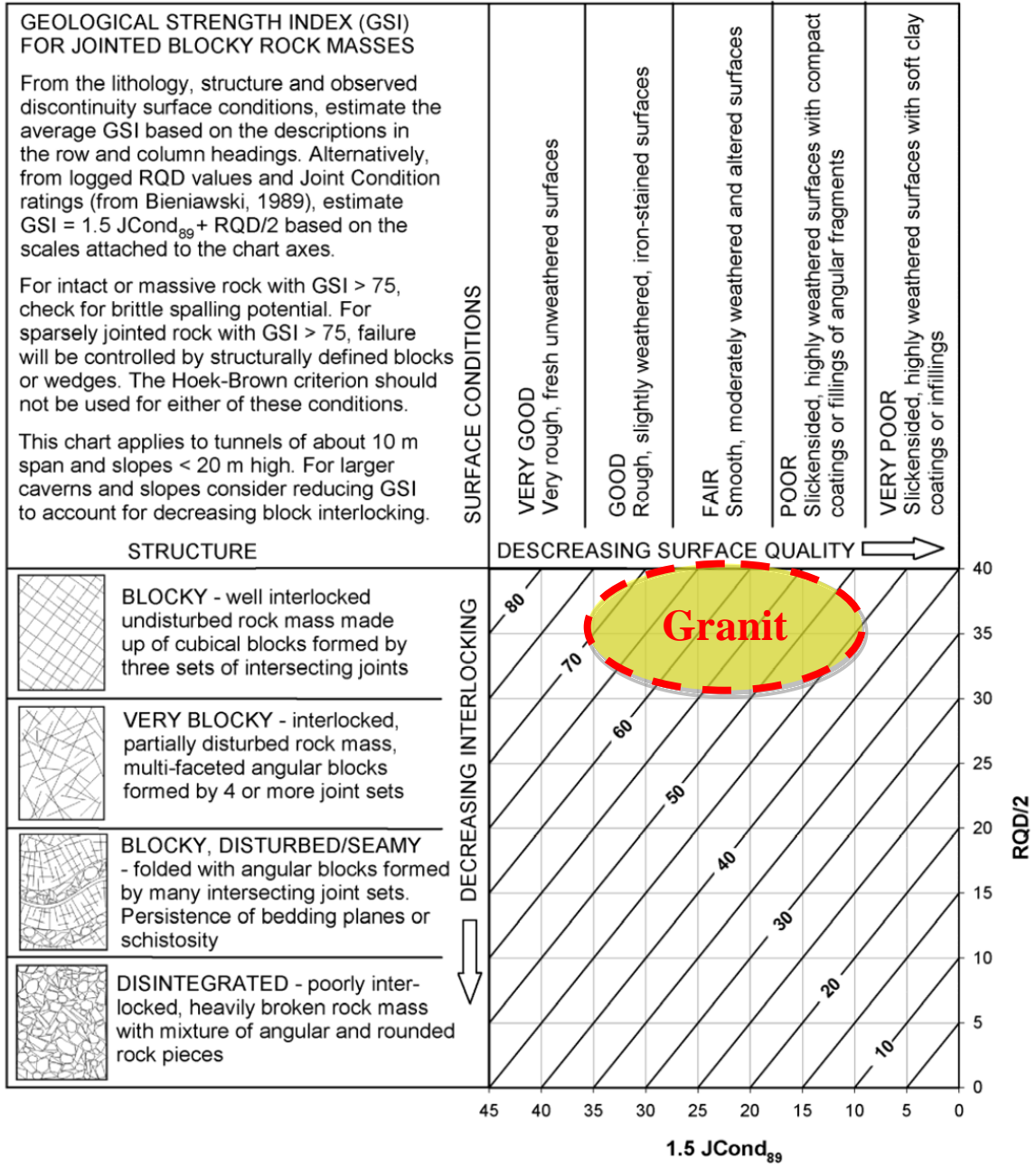
### 3.2.3.3. Jeolojik Dayanım İndeksi (GSI) Sistemi

İlk kez Hoek vd. (1995) tarafından önerilen Jeolojik Dayanım İndeksi (GSI), arazi gözlemlerinden yararlanarak farklı jeolojik ve jeoteknik koşullara bağlı olarak kaya kütlesi dayanımının hesaplanması esasına dayanır. Kaya kütlesi karakterizasyonu, kaya yapısı, yani bloklu olması veya süreksizliklerin yüzey koşulları (pürüzlülük, bozunma ve dolgu vb.) gibi görsel izlenimlere 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 9’da verilen sayısal GSI abağı kullanılmıştır.

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

Burada; RQD: kaya kalite göstergesi (%) ve JCond<sub>89</sub>: RMR sisteminin 1989 versiyonundaki toplam süreksizlik durumu puanıdır.

GSI değeri hesap edilirken kullanılan süreksizlik durumu puanının (JCond<sub>89</sub>) 9-20 arasında, RQD değerinin ise % 47-90 arasında olduğu göz önünde bulundurulmuş ve buna göre Jeolojik Dayanım İndeksi (GSI) değerinin 44-72 arasında değiştiği ve kaya kütlelerinin “bloklu kaya” sınıfında olduğu belirlenmiştir (Tablo 13).



**Şekil 9.** Hoek vd. (2013) tarafından önerilen sayısal GSI abağına göre kaya kütlelerinin değerlendirilmesi

**Tablo 13.** Kaya kütlelerinin GSI sistemine göre değerlendirilmesi

Ayna No	KM	RQD (%)	RQD/2 (%)	JCond <sub>89</sub>	1,5xJCond <sub>89</sub>	GSI Tanımlama (Hoek vd. 2013)
1	64+173,60	64	32	14	21	53/Bloklu
2	64+177,60	65	33	18	27	60/Bloklu
3	64+181,60	68	34	18	27	61/Bloklu
4	64+185,40	71	36	18	27	63/Bloklu
5	64+188,50	77	39	18	27	66/Bloklu
6	64+191,50	78	39	18	27	66/Bloklu
7	64+194,90	78	39	20	30	69/Bloklu
8	64+198,90	79	40	18	27	67/Bloklu
9	64+202,20	66	33	18	27	60/Bloklu
10	64+205,88	61	31	18	27	58/Bloklu
11	64+209,15	54	27	18	27	54/Bloklu
12	64+213,33	74	37	18	27	64/Bloklu
13	64+218,02	67	34	18	27	61/Bloklu
14	64+221,50	64	32	18	27	59/Bloklu
15	64+225,80	63	32	18	27	59/Bloklu
16	64+230,10	65	33	15	23	55/Bloklu
17	64+234,05	59	30	18	27	57/Bloklu
18	64+238,50	64	32	18	27	59/Bloklu
19	64+242,00	63	32	16	24	56/Bloklu
20	64+245,92	76	38	14	21	59/Bloklu
21	64+249,40	71	36	18	27	63/Bloklu
22	64+253,10	74	37	18	27	64/Bloklu
23	64+256,60	75	38	18	27	65/Bloklu
24	64+260,50	81	41	18	27	68/Bloklu
25	64+264,70	82	41	18	27	68/Bloklu
26	64+268,50	90	45	18	27	72/Bloklu
27	64+272,20	85	43	14	21	64/Bloklu
28	64+276,20	85	43	18	27	70/Bloklu
29	64+280,74	79	40	18	27	67/Bloklu
30	64+284,65	85	43	18	27	70/Bloklu
31	64+288,10	73	37	18	27	64/Bloklu
32	64+292,70	64	32	18	27	59/Bloklu
33	64+296,50	76	38	14	21	59/Bloklu
34	64+301,30	78	39	14	21	60/Bloklu
35	64+305,70	71	36	13	20	55/Bloklu
36	64+310,50	64	32	13	20	52/Bloklu
37	64+314,50	59	30	12	18	48/Bloklu
38	64+319,40	63	32	17	26	57/Bloklu
39	64+323,00	69	35	13	20	54/Bloklu
40	64+327,30	66	33	10	15	48/Bloklu
41	64+331,40	69	35	14	21	56/Bloklu
42	64+335,80	47	24	18	27	51/Bloklu
43	64+340,20	74	37	14	21	58/Bloklu
44	64+344,40	67	34	14	21	55/Bloklu
45	64+348,00	59	30	18	27	57/Bloklu
46	64+353,30	68	34	18	27	61/Bloklu
47	64+356,75	59	30	14	21	51/Bloklu
48	64+361,00	61	31	9	14	44/Bloklu
49	64+365,70	64	32	13	20	62/Bloklu

### 3.2.3.4. Yeni Avusturya Tünel Açma Yöntemi (NATM)

1950'lerden sonra, yeraltı kazılarının ve tünel açımının artması, güvenli ve ucuz tünel açma yöntemlerinin de ortaya çıkmasına neden olmuştur. Bu yıllarda yeraltında yapılan hidroelektrik santral yerlerinin kazıları sırasında bölünmüş kazı yönteminin uygulanması, Avusturya Yöntemi olarak adlandırılmıştır. Geniş kesitli olan bu kazılarda, ilk olarak tabana yakın bir galeriyle kazıya başlanıp daha sonra yan ve üst galerilerle kazı, aşamalı olarak üst yarıya doğru genişletilmektedir. Daha sonra geliştirilen bu yöntem, "Yeni Avusturya Tünel Açma Yöntemi" (NATM) adını almıştır. NATM'in esas gelişimi 1970'li yıllarda olmuştur (Kökçüoğlu, 2006).

Rabcewicz (1964), bu yöntemi, ince ve geçici bir destekleme uygulayarak, deformasyonlara izin vermek, tünel içine doğru gelişen kaya basıncını azaltmak ve yükleri kazı çevresindeki kayaya dağıtmak; böylelikle son desteklemeyi (kaplama) daha az yüklemek ve daha ince bir yapı oluşturmak olarak tanımlamıştır. Bu tanımlamaya göre deformasyonlar kazı sırasında ölçülerek projedeki hesaplamalarla karşılaştırılacaktır.

Bütünüyle tünel açımı sırasında yapılacak gözlem ve deformasyon ölçümlerine dayanan NATM kaya sınıflaması bu anlamda yapım aşamasının sınıflamasıdır. Tasarım aşamasındaki nitelikleri incelendiğinde, bu kaya sınıflamasının tanımsal olduğu ve bu bağlamda da nicel veri sağlamayacağı görülür. Göreceli olarak üniform jeolojik yapıya sahip bölgelerde kaya kalitesinin sayılarla ifade edildiği ve kaya davranışının formülle tahmin edildiği kaya sınıflama sistemleri geliştirilirken, jeolojik yapının büyük değişkenlikler gösterdiği bölgelerde NATM gibi esnek yapım yöntemleri ve kazı sırasında kaya davranışını esas alan kaya sınıflama sistemlerine ihtiyaç duyulmuştur. Yeni Avusturya Tünel Açma Yöntemi hemen her türlü zemine ve kayaya uygulanan, ekonomik bir yöntem olarak tanınmıştır. Bu yöntemin 20'den fazla ilkesi bulunmaktadır. Yeni Avusturya Tünel Açma Yöntemi'nin ana prensibi, tünel kazısını çevreleyen zemini yük taşıyıcı destek elemanı haline getirerek zamana bağlı gerilme değişimlerini etkilemek ve minimum destekleme önlemlerini gerektirecek şekilde kontrollü bir gerilme boşalımını sağlamaktır. Bunu yapabilmek için ön sağlamlaştırmanın uygun bir yük-şekil değiştirme özelliğine sahip olması ve tam

zamanında yapılması gerekir. NATM, belirli bir destek ve kazı işlemine bağımlı değildir. Ancak, aşağıda belirtilen ilkelere uyulmasında yarar vardır. Başlıca esasları, ana kayanın ilk sağlamlığını korumak, dağı fazla kurcalamamak ya da dağı ürkütmemek, yükü dağa taşımak, koruyucu zonu boşluk yakınında oluşturmak, şekil değiştirme ve gerilmeleri ölçümlerle denetlemek, sağlamlaştırma işlemlerini en kısa zamanda tamamlamak ve kazı kesitlerini olabildiğince yuvarlak seçmektir (Kaya, 2008).

Avusturya Standartlarından olan ÖNORM B2203 (1994), NATM için stabil kayadan basınç yaratan kayaya kadar değişen on kaya sınıfını tanımlamıştır. Tasarım aşamasındayken tünel güzergâhı boyunca arazi ve sondaj çalışmalarından elde edilen verileri kullanarak sayısal bir sınıflandırma yapan Q ve RMR sistemlerine ait değerler, Şekil 6'da verilen eşleştirmeler yardımıyla NATM sisteminde karşılık gelen harfsel kaya sınıfına dönüştürülür. Böylece yapım aşamasına geçildiğinde zaman alıcı ve yapımı zor olan Q ve RMR sınıflama sistemleri yerine, bu sistemlerin tasarım aşamasında birleştirilmesi ile bulunmuş olan NATM sistemindeki sınıf değerleri kullanılarak kazı sırasında karşılaşılabilecek sorunlar en kısa zamanda çözümlenebilmektedir. Ancak sayısal kaya kütle sınıflama sistemlerinde kaya kütlelerinin zamana bağlı davranışı göz önüne alınmadığından tasarım aşamasında belirlenen NATM kaya sınıfı kazı aşamasında yapılan deformasyon ölçümleri ile değiştirilebilir (Kaya, 2012). NATM'in yukarıda anlatılan yapıma yönelik niteliklerini, tasarım aşamasında kullanmak için yapılan kaya sınıflamalarının eşleştirilmeleri Şekil 10'da verilmiştir.

NATM kaya kütle sınıflama sistemi tanımsal bir sınıflama olduğundan Q ve RMR sınıflama sistemleri gibi nicel veri sağlamamaktadır. Bu nedenle tünel açımı sırasında yapılacak gözlem ve deformasyon ölçümlerine dayanan NATM kaya sınıflaması tasarım aşaması sınıflaması olmayıp bu anlamda yapım aşaması sınıflamasıdır. Belirli bir destek ve kazı işlemine bağımlı olmayan NATM sisteminin tünel destekleme tasarımında Q ve RMR sınıflamalarıyla birlikte kullanılması daha sağlıklı veriler sağlamaktadır (Kaya, 2012).

Bu çalışmada, incelenen tünel güzergâhında yer alan kaya kütleleri için hesaplanan Q ve RMR değerleri, NATM sınıflamasıyla birlikte değerlendirilerek kaya kütle sınıflaması yapılmıştır. RMR sistemi, Q sitemine göre daha tutucu davranarak daha düşük NATM kaya sınıflarını tanımlamıştır. ÖNORM B2203 (1994)'e göre, RMR değerleri dikkate alındığında kaya kütlelerine ait NATM sınıflarının B1, B2 ve B3 arasında, Q değerleri göz önüne alındığında ise NATM sınıflarının A2, B1, B2 ve B3 arasında değiştiği belirlenmiştir. Kazı aşaması öncesinde A2 olarak öngörülen destek sınıfı, kazı aşamasında ise B1 olarak uygulanmıştır. Yapılan bu uygulamanın Q sistemine göre tanımlanan NATM destek sınıflarıyla hemen hemen uyduğu görülmektedir (Tablo 14). Tablo 14'de jeoteknik birimler için Q ve RMR değerlerine karşılık gelen NATM kaya sınıfları verilmiştir.

Q KAYA KÜTLE SINIFI (Barton vd., 1974)	NATM KAYA KÜTLE SINIFI (ÖNORM B2203, 1994)	RMR KAYA KÜTLE SINIFI (Bieniawski, 1989)
1000 SON DERECE SAĞLAM	A <sub>1</sub> SAĞLAM	100
400 ÇOK FAZLA SAĞLAM		ÇOK İYİ
100 70.4 ÇOK SAĞLAM	A <sub>2</sub> ZAMANLA KIRILGAN	80
40 SAĞLAM		İYİ
10 ORTA	B <sub>1</sub> KIRILGAN	60
4 ZAYIF	B <sub>2</sub> ÇOK KIRILGAN	50 ORTA
1.47 ÇOK ZAYIF	B <sub>3</sub> DÖKÜNTÜLÜ	40 ZAYIF
0.1 ÇOK FAZLA ZAYIF	C <sub>1</sub> KAYA PATLAMALI	30
0.03	C <sub>2</sub> BASKILI	20
0.016	C <sub>3</sub> ÇOK BASKILI	15
0.01 0.008	C <sub>4</sub> AKICI	10 ÇOK ZAYIF
0.002	C <sub>5</sub> ŞİŞEN-KABARAN	5
0.001		0

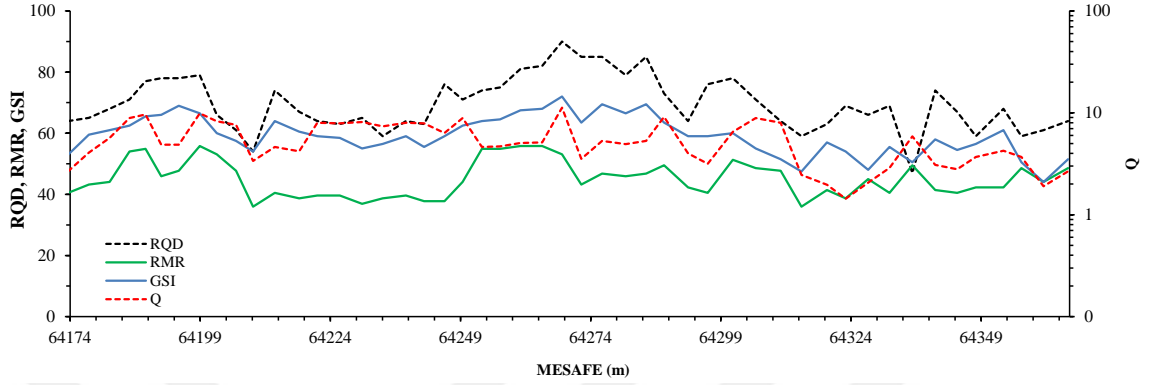
Şekil 10. NATM, Q ve RMR kaya kütle sınıflarının eşleştirilmesi (KGM, 1997)

**Tablo 14.** Kaya kütlelerinin NATM kaya kütle sınıflamasına göre değerlendirilmesi

Ayna No	KM	Öngörülen NATM Destek Sınıfı	Uygulanan NATM Destek Sınıfı	RMR	NATM Tanımlama (ÖNORM B 2203, 1994)	Q	NATM Tanımlama (ÖNORM B 2203, 1994)
1	64+173,60	A2	B1	41	B2/Çok kırılğan	2,67	B2/Çok kırılğan
2	64+177,60	A2	B1	43	B2/Çok kırılğan	4,06	B1/Kırılğan
3	64+181,60	A2	B1	44	B2/Çok kırılğan	5,67	B1/Kırılğan
4	64+185,40	A2	B1	54	B1/Kırılğan	8,88	B1/Kırılğan
5	64+188,50	A2	B1	55	B1/Kırılğan	9,63	B1/Kırılğan
6	64+191,50	A2	B1	46	B2/Çok kırılğan	4,88	B1/Kırılğan
7	64+194,90	A2	B1	48	B2/Çok kırılğan	4,88	B1/Kırılğan
8	64+198,90	A2	B1	56	B1/Kırılğan	9,88	B1/Kırılğan
9	64+202,20	A2	B1	53	B1/Kırılğan	8,25	B1/Kırılğan
10	64+205,88	A2	B1	48	B2/Çok kırılğan	7,63	B1/Kırılğan
11	64+209,15	A2	B1	36	B3/Döküntülü	3,38	B2/Çok kırılğan
12	64+213,33	A2	B1	41	B2/Çok kırılğan	4,63	B1/Kırılğan
13	64+218,02	A2	B1	39	B3/Döküntülü	4,19	B1/Kırılğan
14	64+221,50	A2	B1	40	B2/Çok kırılğan	8,00	B1/Kırılğan
15	64+225,80	A2	B1	40	B2/Çok kırılğan	7,88	B1/Kırılğan
16	64+230,10	A2	B1	37	B3/Döküntülü	8,13	B1/Kırılğan
17	64+234,05	A2	B1	39	B3/Döküntülü	7,38	B1/Kırılğan
18	64+238,50	A2	B1	40	B2/Çok kırılğan	8,00	B1/Kırılğan
19	64+242,00	A2	B1	38	B3/Döküntülü	7,88	B1/Kırılğan
20	64+245,92	A2	B1	38	B3/Döküntülü	6,33	B1/Kırılğan
21	64+249,40	A2	B1	44	B2/Çok kırılğan	8,88	B1/Kırılğan
22	64+253,10	A2	B1	55	B1/Kırılğan	4,63	B1/Kırılğan
23	64+256,60	A2	B1	55	B1/Kırılğan	4,69	B1/Kırılğan
24	64+260,50	A2	B1	56	B1/Kırılğan	5,06	B1/Kırılğan
25	64+264,70	A2	B1	56	B1/Kırılğan	5,13	B1/Kırılğan
26	64+268,50	A2	B1	53	B1/Kırılğan	11,25	A2/Zamanla kırılğan
27	64+272,20	A2	B1	43	B2/Çok kırılğan	3,54	B2/Çok kırılğan
28	64+276,20	A2	B1	47	B2/Çok kırılğan	5,31	B1/Kırılğan
29	64+280,74	A2	B1	46	B2/Çok kırılğan	4,94	B1/Kırılğan
30	64+284,65	A2	B1	47	B2/Çok kırılğan	5,31	B1/Kırılğan
31	64+288,10	A2	B1	50	B2/Çok kırılğan	9,13	B1/Kırılğan
32	64+292,70	A2	B1	42	B2/Çok kırılğan	4,00	B2/Çok kırılğan
33	64+296,50	A2	B1	41	B2/Çok kırılğan	3,17	B2/Çok kırılğan
34	64+301,30	A2	B1	51	B1/Kırılğan	6,50	B1/Kırılğan
35	64+305,70	A2	B1	49	B2/Çok kırılğan	8,88	B1/Kırılğan
36	64+310,50	A2	B1	48	B2/Çok kırılğan	8,00	B1/Kırılğan
37	64+314,50	A2	B1	36	B3/Döküntülü	2,46	B2/Çok kırılğan
38	64+319,40	A2	B1	41	B2/Çok kırılğan	1,97	B2/Çok kırılğan
39	64+323,00	A2	B1	39	B3/Döküntülü	1,44	B3/Döküntülü
40	64+327,30	A2	B1	45	B2/Çok kırılğan	2,06	B2/Çok kırılğan
41	64+331,40	A2	B1	41	B2/Çok kırılğan	2,88	B2/Çok kırılğan
42	64+335,80	A2	B1	50	B2/Çok kırılğan	5,88	B1/Kırılğan
43	64+340,20	A2	B1	41	B2/Çok kırılğan	3,08	B2/Çok kırılğan
44	64+344,40	A2	B1	41	B2/Çok kırılğan	2,79	B2/Çok kırılğan
45	64+348,00	A2	B1	42	B2/Çok kırılğan	3,69	B2/Çok kırılğan
46	64+353,30	A2	B1	42	B2/Çok kırılğan	4,25	B1/Kırılğan
47	64+356,75	A2	B1	49	B2/Çok kırılğan	3,69	B2/Çok kırılğan
48	64+361,00	A2	B1	44	B2/Çok kırılğan	1,91	B2/Çok kırılğan
49	64+365,70	A2	B1	49	B2/Çok kırılğan	2,67	B2/Çok kırılğan



İncelenen tünel güzergâhındaki kaya kütlelerine ait RQD, RMR, Q ve GSI değerlerinin mesafeye göre değişimini gösteren grafiksel gösterim özet olarak Şekil 11’de gösterilmiştir.



**Şekil 11.** İncelenen tünel güzergâhındaki kaya kalitesinin mesafeye göre değişimi

### 3.2.4. Kaya Kütle Özellikleri

İncelenen tünel güzergâhında yapılan sismik kırılma ölçümleri için 12 kanallı, Geometrics marka ve ES3000 model araştırma sismografi kullanılmıştır. Toplam 3 profilde sismik kırılma yöntemiyle ölçüm yapılmıştır. P dalgalarını (boyuna dalga) üretmek için zemin üzerine yerleştirilmiş çelik levhaya (20 x 30 cm. ebadında) balyozla vurulmuştur. S dalgalarını (enine dalga) üretmek için ise zemine açılmış yaklaşık 50 cm derinliğindeki çukura çelik levha düşey olarak yerleştirilmiş ve aynı işlem uygulanmıştır. P dalgalarını algılayabilmek için düşey bileşenli alıcılar (jeofon), S dalgalarını algılayabilmek için ise yatay bileşenli alıcılar kullanılmıştır. 6 farklı istasyondan alınan profillerde düz ve ters vuruşlar yapılmıştır. Sismik kırılma yöntemi yardımıyla kaya kütlelerine ait dinamik deformasyon modülü ve Poisson oranı değerleri belirlenmiştir. Hesaplamalarda elastik teoride belirtilen aşağıdaki eşitliklerden yararlanılmıştır.

$$E_{md} = \frac{(1 - 2\nu_{md}) \cdot (1 + \nu_{md})}{(1 - \nu_{md})} \cdot d_d \cdot V_p^2 \quad (5)$$

$$\nu_{md} = \frac{V_p^2 - 2V_s^2}{2(V_p^2 - V_s^2)} \quad (6)$$

Burada;  $E_{md}$ : kaya kütlesinin dinamik deformasyon modülü ( $\text{kgf/cm}^2$ ),  $\nu_{md}$ : kaya kütlesinin Poisson oranı,  $d_d$ : doğal yoğunluk ( $\text{gr/cm}^3$ ),  $V_p$ : elastik dalganın boyuna yayılma hızı ( $\text{m/sn}$ ) ve  $V_s$ : elastik dalganın enine yayılma hızıdır ( $\text{m/sn}$ ).

Ölçüm sırasında kırılan elastik ses dalgalarına ait varış zamanları kaydedilerek zaman-uzaklık grafikleri çizilmiştir. Elde edilen grafikler değerlendirilerek elastik ses dalgalarının (P ve S) kaya kütleleri içerisindeki yayılma hızları hesaplanmış ve buna bağlı olarak kaya kütlelerinin dinamik deformasyon modülü ( $E_{dm}$ ) ve Poisson oranı ( $\nu_{md}$ ) belirlenmiştir.

Kaya kütlelerinin dayanım özelliklerini belirlemek için Hoek-Brown (Hoek vd., 2002) yenilme kriterinden yararlanılmıştır.  $m_b$ ,  $s$  ve  $a$  kaya kütle sabitlerinin belirlenmesi için Hoek vd. (2002) tarafından önerilen aşağıdaki eşitliklerden yararlanılmıştır;

$$m_b = m_i \exp\left[\frac{GSI - 100}{28 - 14D}\right] \quad (8)$$

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

$$a = \frac{1}{2} + \frac{1}{6} \left[ e^{-GSI/15} - e^{-20/3} \right] \quad (10)$$

Burada;  $m_i$ : kırılmızsız kaya için malzeme sabiti değeri,  $D$ : kaya kütlesinin patlatma hasarı ve gerilme rahatlaması sonucunda maruz kaldığı örselenme derecesine bağlı bir faktör olup, örselenmemiş kaya kütleleri için 0'dan başlayarak, çok örselenmiş kayalarda 1'e kadar çıkabilir.

Kaya kütlelerine ait tek eksenli basınç dayımı ( $\sigma_{cm}$ ) Hoek vd. (2002), tarafından önerilen aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanmıştır.

$$\sigma_{cm} = \sigma_{ci} \cdot S^a \quad (\text{MPa}) \quad (11)$$

Elde edilen sonuçlar Tablo 15'de özet olarak sunulmuştur.

**Tablo 15.** Kaya kütlelerine ait elastik parametreler

Ayna No	KM	$m_b$	s	a	$m_i$	D	$\sigma_{cm}$ (MPa)	$E_{md}$ (GPa)	$\nu_{md}$
1	64+173,60	5.97	0.0054	0.505	32	0	10.34	39.38	0.21
2	64+177,60	7.67	0.0117	0.503	32	0	15.44	39.38	0.21
3	64+181,60	7.95	0.0131	0.503	32	0	16.34	39.38	0.21
4	64+185,40	8.54	0.0164	0.502	32	0	18.30	39.38	0.21
5	64+188,50	9.50	0.0229	0.502	32	0	21.67	39.38	0.21
6	64+191,50	9.50	0.0229	0.502	32	0	21.67	39.38	0.21
7	64+194,90	10.58	0.0319	0.501	32	0	25.65	39.38	0.21
8	64+198,90	9.85	0.0256	0.502	32	0	22.92	39.38	0.21
9	64+202,20	7.67	0.0117	0.503	32	0	15.44	39.38	0.21
10	64+205,88	7.14	0.0094	0.503	32	0	13.78	39.38	0.21
11	64+209,15	6.19	0.0060	0.504	32	0	10.96	39.38	0.21
12	64+213,33	8.85	0.0183	0.502	32	0	19.36	39.38	0.21
13	64+218,02	7.95	0.0131	0.503	32	0	16.34	39.38	0.21
14	64+221,50	7.40	0.0105	0.503	32	0	14.59	39.38	0.21
15	64+225,80	7.40	0.0105	0.503	32	0	14.59	39.38	0.21
16	64+230,10	6.41	0.0067	0.504	32	0	11.61	39.38	0.21
17	64+234,05	6.89	0.0084	0.504	32	0	13.01	36.07	0.13
18	64+238,50	7.40	0.0105	0.503	32	0	14.59	36.07	0.13
19	64+242,00	6.65	0.0075	0.504	32	0	12.29	36.07	0.13
20	64+245,92	7.40	0.0105	0.503	32	0	14.59	36.07	0.13
21	64+249,40	8.54	0.0164	0.502	32	0	18.30	36.07	0.13
22	64+253,10	8.85	0.0183	0.502	32	0	19.36	36.07	0.13
23	64+256,60	9.17	0.0205	0.502	32	0	20.48	36.07	0.13
24	64+260,50	10.21	0.0286	0.502	32	0	24.25	36.07	0.13
25	64+264,70	10.21	0.0286	0.502	32	0	24.25	36.07	0.13
26	64+268,50	11.77	0.0446	0.501	32	0	30.34	36.07	0.13
27	64+272,20	8.85	0.0183	0.502	32	0	19.36	36.07	0.13
28	64+276,20	10.96	0.0357	0.501	32	0	27.13	36.07	0.13
29	64+280,74	9.85	0.0256	0.502	32	0	22.92	36.07	0.13
30	64+284,65	10.96	0.0357	0.501	32	0	27.13	36.07	0.13
31	64+288,10	8.85	0.0183	0.502	32	0	19.36	36.07	0.13
32	64+292,70	7.40	0.0105	0.503	32	0	14.59	36.07	0.13
33	64+296,50	7.40	0.0105	0.503	32	0	14.59	36.70	0.18
34	64+301,30	7.67	0.0117	0.503	32	0	15.44	36.70	0.18
35	64+305,70	6.41	0.0067	0.504	32	0	11.61	36.70	0.18
36	64+310,50	5.76	0.0048	0.505	32	0	9.76	36.70	0.18
37	64+314,50	5.00	0.0031	0.507	32	0	7.73	36.70	0.18
38	64+319,40	6.89	0.0084	0.504	32	0	13.01	36.70	0.18
39	64+323,00	6.19	0.0060	0.504	32	0	10.96	36.70	0.18
40	64+327,30	5.00	0.0031	0.507	32	0	7.73	36.70	0.18
41	64+331,40	6.65	0.0075	0.504	32	0	12.29	36.70	0.18
42	64+335,80	5.56	0.0043	0.505	32	0	9.21	36.70	0.18
43	64+340,20	7.14	0.0094	0.503	32	0	13.78	36.70	0.18
44	64+344,40	6.41	0.0067	0.504	32	0	11.61	36.70	0.18
45	64+348,00	6.89	0.0084	0.504	32	0	13.01	36.70	0.18
46	64+353,30	7.95	0.0131	0.503	32	0	16.34	36.70	0.18
47	64+356,75	5.56	0.0043	0.505	32	0	9.21	36.70	0.18
48	64+361,00	4.33	0.0020	0.509	32	0	6.09	36.70	0.18
49	64+365,70	8.24	0.0147	0.502	32	0	17.29	36.70	0.18

Yapılan hesaplamalar sonucunda Hoek-Brown yenilme kriteri kullanılarak belirlenen kaya kütle parametrelerinin  $m_b$ : 4,33-11,77,  $s$ : 0,0020-0,0446,  $a$ : 0,501-0,509 arasında değiştiği, tek eksenli basınç dayanımının ( $\sigma_{cm}$ ) 6,09-30,34 MPa, dinamik deformasyon modülünün ( $E_{md}$ ) 36,07-39,38 GPa, dinamik Poisson oranının ( $\nu_{md}$ ) 0,13-0,21 arasında değiştiği belirlenmiştir.

### 3.2.5. Tünel Destek Tasarımı

RMR sınıflama sistemi, tünellerin destek tasarımının yapılmasında bazı sınırlamalar sunmaktadır. Destek tasarımı seçimi yalnızca klasik delme ve patlatma yöntemlerinin uygulandığı kaya kütlelerinde, düşey gerilmenin 25 MPa'dan düşük olduğu ortamlarda inşa edilen, genişliği 10 m.'ye kadar ve kesiti at nalı şeklinde olan tünellere uygulanabilmektedir. Ovit Tüneli'nde uygulanan kazı genişliğinin 12 m. ve kazı kesitinin modifiye at nalı şeklinde olacağı göz önüne alındığında, destek tasarımı için RMR sisteminin uygulanabilir olmadığı görölmektedir.

Bu nedenle ampirik yöntem olarak Q değerlerinin kullanıldığı Grimstad ve Barton (1993) tarafından önerilen ve sınırlama içermeyen destek tasarımı abağından yararlanılmıştır (şekil 12). Q sistemine göre sınıflandırılan tünel kayalarının destek tasarımının yapılmasında "eş değer boyut" (De) değerinin bulunması gerekmektedir. Eş değer boyut, aşağıdaki eşitlikten yararlanılarak belirlenmiştir.

$$\text{Eş değer boyut (De)} = \frac{E_n, \text{ \c{ap veya yükseklik (m)}}}{\text{Kazı destek oranı (ESR)}} \quad (12)$$

Eşitlikteki ESR değerı, kazının türü, amacı ve yüzeyden derinliği ile ilgili olup, Tablo 16'dan yararlanılarak saptanmıştır.

**Tablo 16.** Değişik yeraltı kazıları için güncelleştirilmiş ESR değerleri (Barton ve Grimstad, 1994)

Kazı Tipi	Güncelleştirilmiş ESR
A Geçici maden kazıları	3-5
B Düşey bacalar, i) dairesel kesit	2,5
ii) dikdörtgen/kare kesit	2,0
C Kalıcı maden kazıları, hidroelektrik santralleri, su tünelleri (yüksek basınçlı cebri borular hariç), deneme ve yaklaşım tünelleri	1,6
D Depolar, su tasfiye odaları, ufak yol ve demir yolları tünelleri	1,3
E Santral binası, ana yol ve demiryolu tünelleri, sivil savunma sığınakları, kapılar ve kesişme yerleri, tünel portalları ve kesişim yerleri	1,1
F Yeraltı nükleer santralleri, metro istasyonları, fabrikalar, spor ve sosyal tesisler	0,8
G Kalıcı ve önemli mağara ve yeraltı açıklıkları	0,5

De ve Q değerleri kullanılarak destek tasarımına ait kategoriler Şekil 12’de verilen abak yardımıyla belirlenmiştir. Tünel duvarları için yapılacak destek tasarımında ise Grimstad ve Barton (1993) tarafından önerilen duvar faktörü ( $Q_w$ ) kullanılmıştır. Belirlenen Q değerleri, Tablo 17’de verilen katsayılar kadar artırılarak  $Q_w$  değeri elde edilmiştir.

**Tablo 17.** Q kaya kütlesi niteliğine göre duvar faktörünün ( $Q_w$ ) belirlenmesi (Grimstad ve Barton, 1993)

Q Değeri	Duvar Faktörü ( $Q_w$ )
>10	5 x Q
0.1-10	2.5 x Q
<0.1	Q

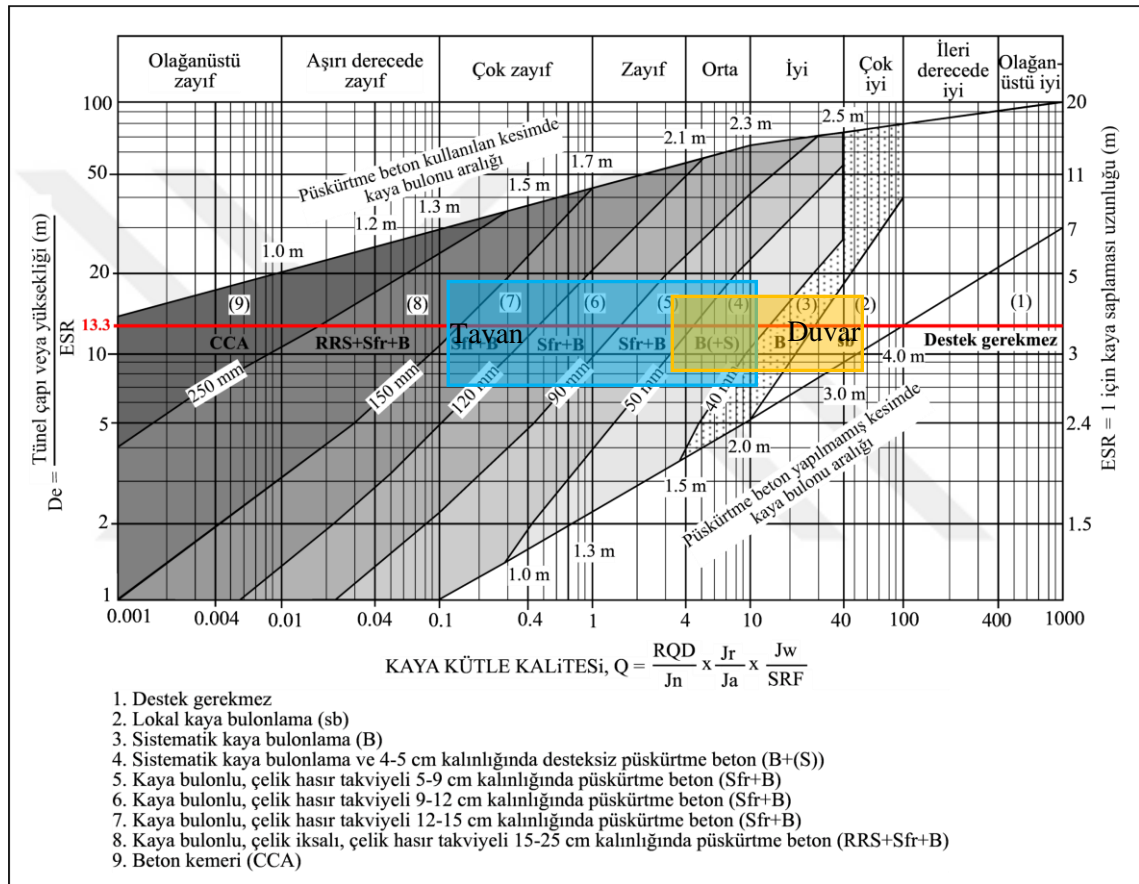
Bu çalışma kapsamında, tünel tavanı için destek kategorisinin belirlenmesinde Q değerleri, duvarlar için ise  $Q_w$  değerleri kullanılmıştır. Şekil 12’de verilen abak üzerinde kaya kütleleri için belirlenen Q ve  $Q_w$  değerleri 12 m.’lik tünel açıklığı ve seçilen ESR: 0,9 değeri göz önüne alınarak destek kategorileri belirlenmiştir.

Destek kategorilerinin belirlendiği Şekil 12’deki abakta kaya bulonu uzunlukları verilmemiştir. Bulon uzunlukları kazı boyutuna bağlı olup, tavanda kullanılacak bulonların uzunluğu genellikle kazının enine, duvarlarda kullanılacak olanların ise kazının boyuna bağlıdır. Buna göre Barton vd. (1974), inşaat sırasında karşılaşılan duruma göre değiştirilmek koşuluyla tavanda ve duvarda kullanılacak bulonların uzunluklarının aşağıdaki eşitlikler yardımıyla belirlenebileceğini önermiştir.

$$L_{tavan} = 2 + (0.15B / ESR) \quad (13)$$

$$L_{duvar} = 2 + (0.15H / ESR) \quad (14)$$

Burada; L: bulon uzunluğu (m), B: kazı eni (m), H: kazı yüksekliği (m) ve ESR: kazı destek oranıdır.



Şekil 12. Kaya kütlelerinin Q sistemi tünel destek abağına göre değerlendirilmesi (Grimstad ve Barton, 1993)

Kaya kütlelerine ait Q değerlerinin 1,44-11,25 arasında,  $Q_w$  değerlerinin 3,59-56,25 arasında değiştiği ve eş değer boyut ( $De = \text{Desteksiz tünel genişliği} / ESR$ ) değerinin (12/0,9) 13,30 olduğu dikkate alındığında Q sistemi destekleme abağına göre belirlenen destekleme sınıfları Tablo 18’de, önerilen ampirik destekleme elemanları ise özet olarak Tablo 19’da verilmiştir.

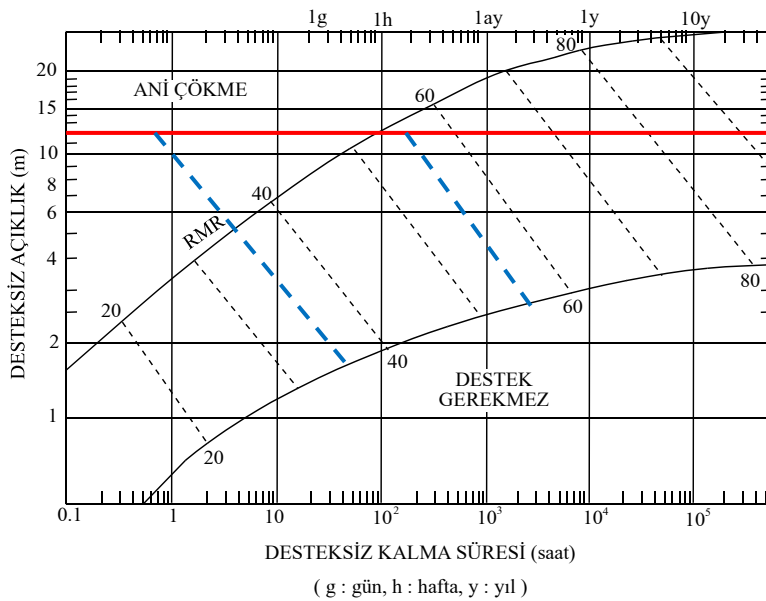
**Tablo 18.** Q sistemi tünel destek abağına göre belirlenen tavan ve duvar destekleme sınıfları

Ayna No	KM	Q	Q <sub>w</sub>	Tavan Destek Sınıfı	Duvar Destek Sınıfı
1	64+173,60	2,67	6,67	5	4
2	64+177,60	4,06	10,16	5	4
3	64+181,60	5,67	14,17	4	3
4	64+185,40	8,88	22,19	4	3
5	64+188,50	9,63	24,06	4	3
6	64+191,50	4,88	12,19	5	4
7	64+194,90	4,88	12,19	5	4
8	64+198,90	9,88	24,69	4	3
9	64+202,20	8,25	20,63	4	3
10	64+205,88	7,63	19,06	4	3
11	64+209,15	3,38	8,44	5	4
12	64+213,33	4,63	11,56	5	4
13	64+218,02	4,19	10,47	5	4
14	64+221,50	8,00	20,00	4	3
15	64+225,80	7,88	19,69	4	3
16	64+230,10	8,13	20,31	4	3
17	64+234,05	7,38	18,44	4	3
18	64+238,50	8,00	20,00	4	3
19	64+242,00	7,88	19,69	4	3
20	64+245,92	6,33	15,83	4	3
21	64+249,40	8,88	22,19	4	3
22	64+253,10	4,63	11,56	5	4
23	64+256,60	4,69	11,72	5	4
24	64+260,50	5,06	12,66	4	4
25	64+264,70	5,13	12,81	4	4
26	64+268,50	11,25	56,25	4	2
27	64+272,20	3,54	8,85	5	4
28	64+276,20	5,31	13,28	4	4
29	64+280,74	4,94	12,34	4	4
30	64+284,65	5,31	13,28	4	4
31	64+288,10	9,13	22,81	4	3
32	64+292,70	4,00	10,00	5	4
33	64+296,50	3,17	7,92	5	4
34	64+301,30	6,50	16,25	4	3
35	64+305,70	8,88	22,19	4	3
36	64+310,50	8,00	20,00	4	3
37	64+314,50	2,46	6,15	5	4
38	64+319,40	1,97	4,92	5	4
39	64+323,00	1,44	3,59	6	4
40	64+327,30	2,06	5,16	5	4
41	64+331,40	2,88	7,19	5	4
42	64+335,80	5,88	14,69	4	3
43	64+340,20	3,08	7,71	5	4
44	64+344,40	2,79	6,98	5	4
45	64+348,00	3,69	9,22	5	4
46	64+353,30	4,25	10,63	5	4
47	64+356,75	3,69	9,22	5	4
48	64+361,00	1,91	4,77	5	4
49	64+365,70	2,67	6,67	5	4

**Tablo 19.** Kaya kütleleri için Q sistemine göre önerilen destekleme elemanları

Destek Sınıfları	Tavan Destekleme Elemanları
6	1,5–1,7 m. aralıklı $L_{\text{tavan}}=4$ m. uzunluğunda sistematik kaya bulonlu, çelik hasır takviyeli 9–12 cm. kalınlığında püskürtme beton (Sfr+B)
5	1,7–2,1 m aralıklı $L_{\text{tavan}}=4$ m. uzunluğunda sistematik kaya bulonlu, çelik hasır takviyeli 5–9 cm. kalınlığında püskürtme beton (Sfr+B)
4	2,1–2,3 m aralıklı $L_{\text{tavan}}=4$ m. uzunluğunda sistematik kaya bulonlu, çelik hasır takviyeli 4–5 cm. kalınlığında püskürtme beton (B(+S))
Destek Sınıfları	Duvar Destekleme Elemanları
4	2,1–2,3 m. aralıklı $L_{\text{duvar}}=3,5$ m. uzunluğunda sistematik kaya bulonlu, çelik hasır takviyeli 4–5 cm. kalınlığında püskürtme beton (B(+S))
3	2,3–2,5 m. aralıklı $L_{\text{duvar}}=3,5$ m. uzunluğunda sistematik kaya bulonlu, çelik hasır takviyeli 4 cm. kalınlığında püskürtme beton (B)
2	2,5 m. aralıklı $L_{\text{duvar}}=3,5$ m. uzunluğunda sistematik kaya bulonu (sb)

Q sistemi destekleme abağı kullanılarak belirlenen destek sınıflarının tünel tavanı için kaya kalitesine göre 6, 5, 4 olarak, duvar için ise 4, 3, 2 olarak değiştiği belirlenmiştir. Ayrıca, RMR puanı kullanılarak kaya kütlelerinde oluşturulan yeraltı açıklıklarının belirli bir tavan genişliğine göre desteksiz durma süresinin tahmini amacıyla Şekil 13’te verilen abak kullanılmıştır. Bu abak üzerinde kaya kütlelerine ait 36-56 arasında değişen düzeltilmiş RMR puanları, 12 m.’lik tünel açıklığı göz önüne alınarak değerlendirildiğinde RMR: 53 puanına kadarki kaya kütlelerinde “ani çökme” riskiyle karşılaşılmasının olası olduğu ve RMR: 53-56 puan arasındaki kaya kütlelerinin ise 100-150 saat arasında desteksiz durabileceği saptanmıştır.



**Şekil 13.** Bieniawski (1989) tarafından önerilen desteksiz kalabilme süresi tahmin abacağına göre kaya kütlelerinin belirlenmesi



#### 4. TARTIŞMA ve SONUÇLAR

Bu çalışmada, Ovit (İkizdere-Rize) Tüneli sağ tüpünün KM: 64+173,00-64+373,00 arasındaki kaya kütleleri mühendislik jeolojisi açısından incelenmiştir.

Çalışılan tünel güzergâhında yer alan birimler litostratigrafik sınıflama ve adlama kuralları (NACS, 1983) esas alınarak tanımlanmış ve Kaçkar Granitoyidi'ne ait granit türü derinlik kayaçlarının yüzeyleme verdiği saptanmıştır.

Kaya malzemelerinin fiziko-mekanik ve elastik özelliklerini belirlemek için yapılan laboratuvar deneyleri sonucunda ortalama  $d_n$  değerinin  $2.60 \text{ gr/cm}^3$ ,  $d_k$  değerinin  $2.59 \text{ gr/cm}^3$ ,  $d_d$  değerinin  $2.61 \text{ gr/cm}^3$ ,  $\gamma_n$  değerinin  $25,53 \text{ kN/m}^3$ ,  $\gamma_k$  değerinin  $25,54 \text{ kN/m}^3$ ,  $\gamma_d$  değerinin  $25,61 \text{ kN/m}^3$ ,  $S_a$  değerinin % 0,35,  $S_h$  değerinin % 0,91,  $n$  değerinin % 0,91,  $I_{d2}$  değerinin % 99,66,  $\sigma_{ci}$  değerinin  $144,27 \text{ MPa}$ ,  $I_{S(50)}$  değerinin  $19,42 \text{ MPa}$ ,  $\sigma_t$  değerinin  $29,03 \text{ MPa}$ ,  $\phi$  değerinin  $63,10^\circ$ ,  $c$  değerinin  $15,40 \text{ MPa}$ ,  $V_p$  (doygun) değerinin  $5658,95 \text{ m/sn}$ ,  $V_s$  (doygun) değerinin  $3257,80 \text{ m/sn}$ ,  $V_p$  (kuru) değerinin  $4948,60 \text{ m/sn}$ ,  $V_s$  (kuru) değerinin  $3096,92 \text{ m/sn}$ ,  $E_{id}$  (doygun) değerinin  $69,29 \text{ GPa}$ ,  $\nu_{id}$  (doygun) değerinin  $0,25$ ,  $E_{id}$  (doygun) değerinin  $58,66 \text{ GPa}$ ,  $\nu_{id}$  (doygun) değerinin  $0,17$ ,  $E_{is}$  değerinin  $67,41 \text{ GPa}$  ve  $\nu_{is}$  değerinin  $0,23$  olduğu belirlenmiştir.

Süreksizliklere ait yönelim, ara uzaklık, açıklık, devamlılık, yüzey pürüzlülüğü ve dalgalılığı, bozunma derecesi, dolgu malzemesinin özelliği ve yüzeylerindeki su durumu gibi özellikler ISRM (2007) tarafından önerilen ölçütlere göre tanımlanmıştır. Buna göre kaya kütlelerinde J1: 74/278, J2: 83/333, J3: 86/31 duruşlu üç adet eklem takımının olduğu, süreksizlik ara uzaklığının “dar ve yakın” arasında değiştiği, süreksizlik açıklığının “açık, geniş ve orta derecede geniş” arasında değiştiği, süreksizliklerdeki dolgu malzemesinin genel olarak orta sertlikte-sert beyaz-bej renkli kalsit dolgu, yer yer kil sıvaması ve demiroksit boyaması olduğu, süreksizlik devamlılığının “düşük ve orta derece” arasında değiştiği, bozunma derecesinin “taze ve az bozunmuş” arasında değiştiği, su durumunun ise “tamamen kuru, nemli ve damlama” arasında değiştiği tespit edilmiştir.

Kaya kütlelerine ait süreksizlik sıklığının ( $\lambda$ ) 5,37-18,33 m<sup>-1</sup> arasında değiştiği ve Franklin vd. (1971)'e göre kaya kütlelerinin “kırıklı çatlaklı-çok çatlaklı kırıklı” türde olduğu; kaya kalite göstergesinin (RQD) % 47-90 arasında değiştiği ve Deere (1964)'e göre kaya kütlelerinin “orta-iyi” arasında olduğu ve hacimsel eksem sayısının ( $J_v$ ) 8,00-25,20 eklem/m<sup>3</sup> arasında olduğu ve ISRM (2007)'ye göre blok boyutunun “orta büyüklükte bloklar-küçük bloklar” arasında değiştiği saptanmıştır.

Çalışılan tünel güzergâhında yer alan kaya kütlelerine ait RMR puanının 36-56 arasında değiştiği, kaya sınıflarının Bieniawski (1989)'a göre “zayıf kaya” ve “orta kaya” olduğu; Q değerinin 1,44-11,25 arasında değiştiği, kaya sınıfının Barton vd. (1974)'e göre “zayıf kaya” ve “orta kaya”; GSI değerinin 44-72 arasında değiştiği ve kaya kütlelerinin Hoek vd. (2013)'e göre “bloklı” sınıfında olduğu saptanmıştır.

İncelenen tünel güzergâhında yer alan kaya kütleleri için hesaplanan RMR ve Q değerleri NATM sınıflamasıyla birlikte değerlendirilmiş, RMR sistemine göre NATM kaya sınıflarının B1, B2 ve B3 arasında, Q değerleri göz önüne alındığında ise NATM sınıflarının A2, B1, B2 ve B3 arasında değiştiği belirlenmiştir. RMR sistemi, Q sistemine göre daha tutucu davranarak daha düşük NATM kaya sınıflarını tanımlamıştır. Kazı aşaması öncesinde A2 olarak öngörülen destek sınıfı, kazı aşamasında ise B1 olarak uygulanmıştır. Yapılan bu uygulamanın Q sistemine göre tanımlanan NATM destek sınıflarıyla hemen hemen uyduğu görülmektedir. Proje aşaması ile uygulama aşamasının birbiriyle uyuşmasının tek nedeni yüzeyde yapılan çalışmaların ve yetersiz sayıdaki sondaj verilerinin tünel derinliğindeki gerçek kaya ortamını gerçekçi olarak yansıtmamasıdır.

Yapılan hesaplamalar sonucunda Hoek-Brown yenilme kriteri kullanılarak belirlenen kaya kütle parametrelerinin  $m_b$ : 4,33-11,77,  $s$ : 0,0020-0,0446,  $a$ : 0,501-0,509 arasında değiştiği, tek eksenli basınç dayanımının ( $\sigma_{cm}$ ) 6,09-30,34 MPa, dinamik deformasyon modülünün ( $E_{md}$ ) 36,07-39,38 GPa, dinamik Poisson oranının ( $\nu_{md}$ ) 0,13-0,21 arasında değiştiği belirlenmiştir.

Q sistemi destekleme abağı kullanılarak belirlenen destek sınıflarının tünel tavanı için kaya kalitesine göre 6, 5, 4 olarak, duvar için ise 4, 3, 2 olarak değiştiği

belirlenmiştir. Ayrıca, RMR puanı kullanılarak desteksiz durma süresinin tahmini abağında 12 m.'lik tünel açıklığı göz önüne alınarak değerlendirildiğinde RMR: 53 puanına kadarki kaya kütlelerinde “ani çökme” riskiyle karşılaşılmasının olası olduğu ve RMR: 53-56 puan arasındaki kaya kütlelerinin ise 100-150 saat arasında desteksiz durabileceği saptanmıştır.

Tüneller projelendirilirken güzergâhı boyunca belirli aralıklarla sondajlar yapılarak ön destek tasarımıyla ilgili öngörülerde bulunmaktadır. Ancak, yapım aşamasına geçildiğinde ise çoğu zaman bu çalışmalar yeterli olmamaktadır. Bu nedenle, kazı aşaması sırasında ayna ve duvarlardan alınacak ölçümlere göre destek tasarımının sürekli olarak kontrol edilmesi sayesinde karşılaşılması olası olumsuzluklar en aza indirgenmiş olacaktır ve tünel için en uygun, en ekonomik ve en güvenilir destek türü belirlenmiş olacaktır.

## KAYNAKLAR

- 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.
- Aslan, Z., Arslan, M. ve Şen, C., 1999.** Doğu Pontid'lerin Kuzey ve Güney Zonlarında Yüzeyleyen Eosen Yaşlı Granitik Sokulumların Karşılaştırılmalı Jeolojik, Petrografik ve Jeokimyasal Özellikleri. 52. Türkiye Jeoloji Kurultayı Bildiriler Kitabı, 223-230.
- 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.
- Bektaş, O., 1984.** Pontidlerde Üst Kretase yaşlı şoşonitik volkanizma ve jeoteknik önemi. *Karadeniz Teknik Üniversitesi, Yerbilimleri Dergisi*, 3, 1, 2, 53-62.
- Bieniawski, Z.T., 1989.** Engineering rock mass classifications, Wiley, New York, 251 p.
- Bieniawski, Z.T., 1973.** Engineering classification of jointed rock masses. *Transactions of South African Institution of Civil Engineering*, 15, 335-344.
- Boynukalın, S., 1990.** Dereli (Giresun) Baraj Yeri ve Göl Alanının Mühendislik Jeolojisi ve Çevre Kayaçlarının Jeomekanik Özellikleri. Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi,, Fen Bilimleri Entitüsü, Trabzon, Türkiye, 255 s.
- Bulut, F., 1989.** Çambaşı (Trabzon-Çaykara) Barajı ve Uzungöl Hidroelektrik Santral Yerlerinin Mühendislik Jeolojisi Açısından İncelenmesi. Doktora Tezi. Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, Türkiye, 183 s.
- Canpolat, M., 2003.** Rize-Pazar Tüneli Güzergahının Mühendislik Jeolojisi Etüdü. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye, 97 s.
- Çoğulu, E., 1975.** Gümüşhane ve Rize Granitik Plütonlarının Mukayeseli Petrojeolojik ve Jeokronometrik Etüdü. Doçentlik Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Maden Fakültesi, İstanbul.
- Eren, M., 1983.** Gümüşhane-Kale Arasının Jeolojisi ve Mikrofasiyes İncelemesi. Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, Türkiye.

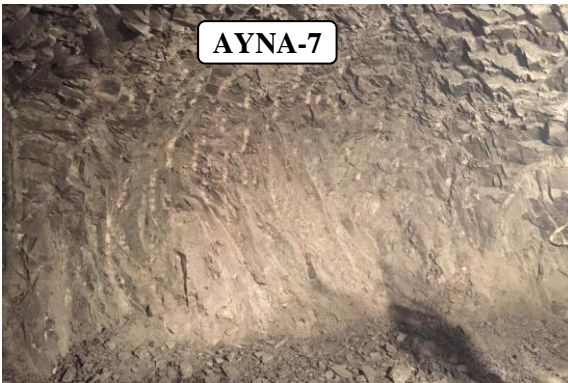
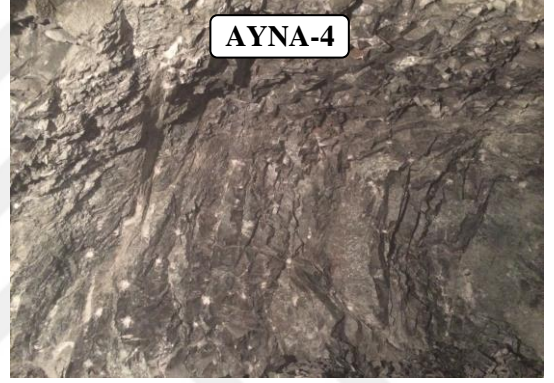
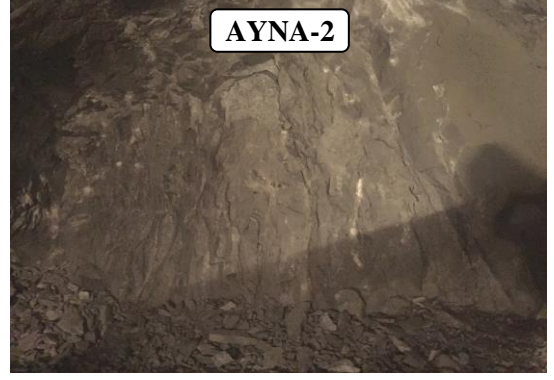
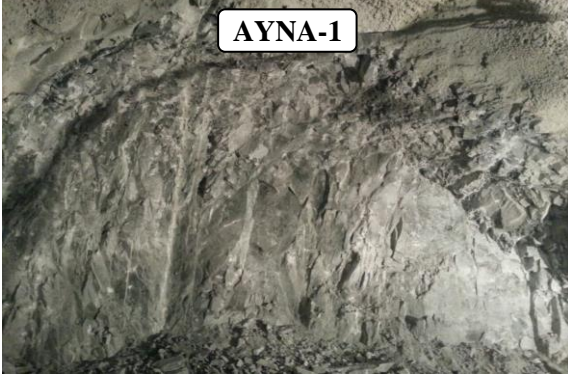
- Esmer, S., 1996.** Kemalpaşa-Sarp Karayolu Güzergahının Mühendislik Jeolojisi ve Çevre Kayaçların Jeomekanik Özelliklerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, Türkiye, 60 s.
- Franklin, J.A., Broch, E. and Walton, G., 1971.** Logging the mechanical character of rock. Transactions of the Institution of Mining and Metallurgy, 80, A, 1-9.
- Furat, B.Ö., 2016.** Güneyce (İkizdere-Rize) Karayolu Tüneli Sağ Tüp Giriş ve Çıkış Bölümlerinin Jeoteknik Açından İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, Türkiye, 102 s.
- 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. MTA, 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., 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.
- 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.
- Kanık, M., 2015.** Maçka (Trabzon) Tüneli Destek Sistemlerinin Görgül ve Sayısal Analizi. Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, Türkiye, 276 s.
- Kaya, A., and Sayın A., 2019.** Engineering geological appraisal and preliminary support design for the Salarha Tunnel, Northeast Turkey. Bulletin of Engineering Geology and the Environment, 78, 1095-1112.
- Kaya, A., 2012.** Cankurtaran (Hopa-Artvin) Tünel Güzergahının ve Çevresinin Jeoteknik Açından İncelenmesi. Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, Türkiye, 218 s.

- Kaya, A., Bulut F., Alemdağ, S. and Sayın A., 2011.** Analysis of support requirements for a tunnel portal in weak rock: a case study in Turkey. *Scientific Research and Essays*, 6, 6566-6583.
- Kaya, A., 2008.** Konakönü (Araklı-Trabzon) Tüneli Sol Tüp Giriş Portalının Jeoteknik Açından İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, Türkiye, 123 s.
- 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.
- KGM, 1997.** NATM uygulamalı yeraltı tünel işleri teknik şartnamesi. Karayolları Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Koçak, B. ve Baki, Ö., 2013.** Ovit Tüneli Kesin Proje Jeoloji-Jeoteknik Raporu, TTS Uluslararası Mühendislik ve Mimarlık Ltd. Şti., İstanbul, Türkiye.
- Kökçüoğlu, H., 2006.** Sonlu Elemanlar Metodu İle Tünel Modellemesi ve Bir Uygulama. Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, Türkiye, 96 s.
- Murathı, S., 2000.** Geçilmez Tüneli Sağlamlık ve Duraylılık Değerlendirmesi, Giresun. Yüksek Lisans Tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, Türkiye, 189 s.
- NACS, 1983.** The American association of petroleum geologists bulletin. North American Commission on Stratigraphy, 67, 5, 841-875.
- ÖNORM B2203, 1994.** Untertagebauarbeiten werkvertragsnorm. Österreichischer Normen, Österreich.
- 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.
- Priest, S.D. and Hudson, J.A., 1976.** Discontinuity spacing in rock. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences and Geomechanics, Abstracts*, 13, 135-148.
- Rabcewicz, L., 1964.** The New Austrian tunnelling method, *Water Power*, 16, 453-457.

- 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.
- 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.
- TTS, 2013.** Ovit tüneli kesin proje jeoloji-jeoteknik raporu. TTS Uluslararası Mühendislik ve Mimarlık Ltd. Şti, İstanbul, 140 s.
- Yılmaz, Z., 2017.** Boztepe Tüneli (Ordu çevre yolu projesi) Kazı Çalışmaları Sırasında Meydana Gelen Aşırı Sökülmelere Süreksizlik Düzlemlerinin Etkisi. Yüksek Lisans Tezi. Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Van, Türkiye, 120 s.

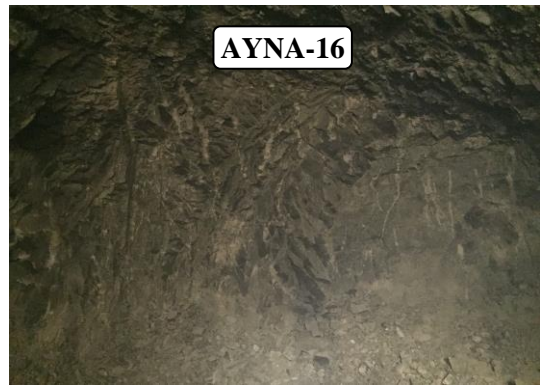
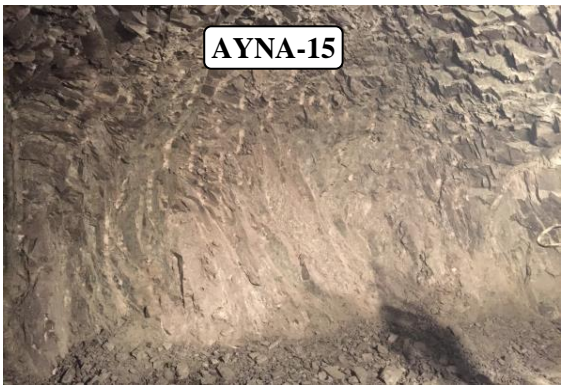
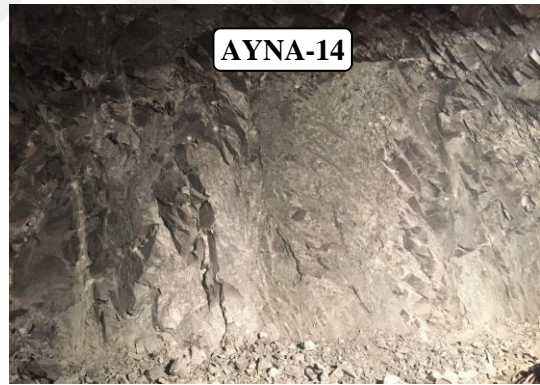
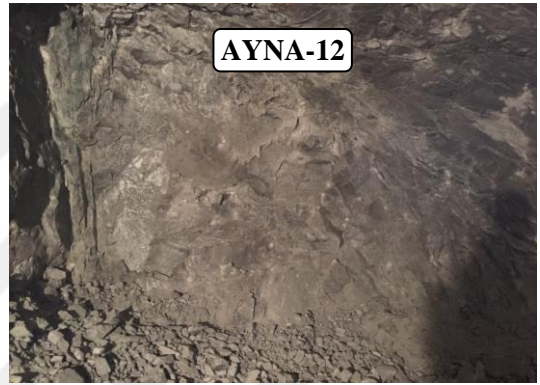
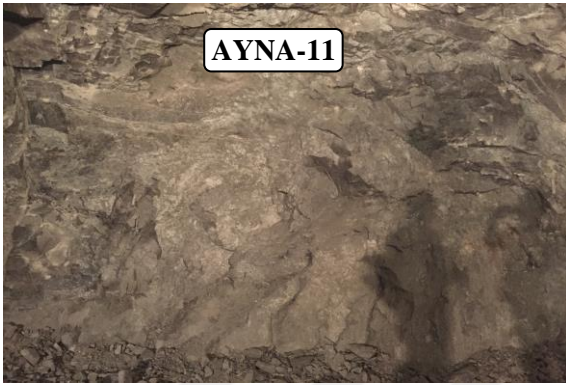
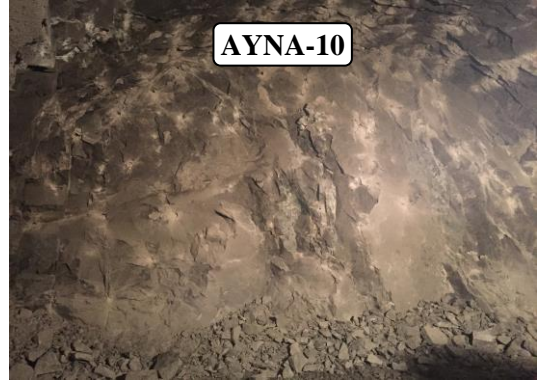
## EKLER

### EK-1. Tünel ayna fotoğrafları



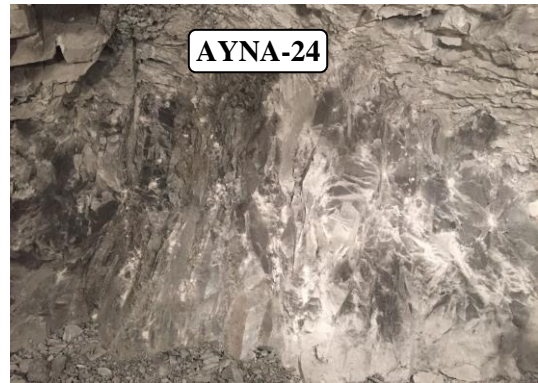
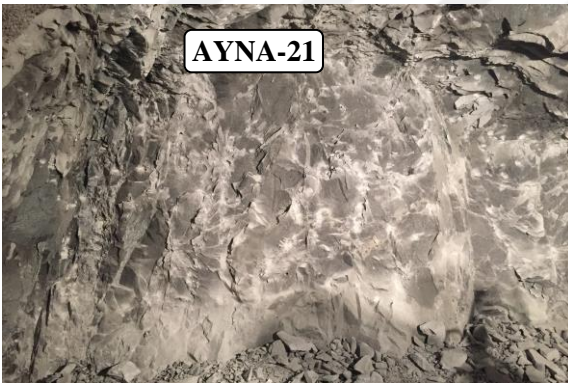
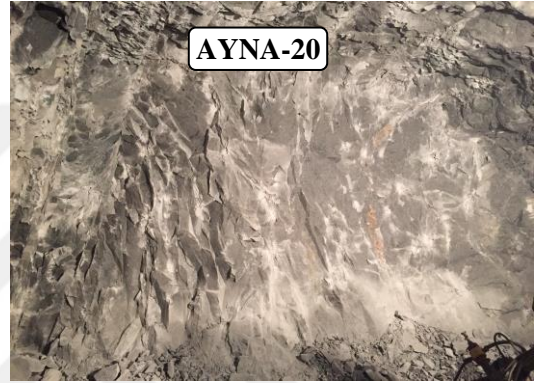
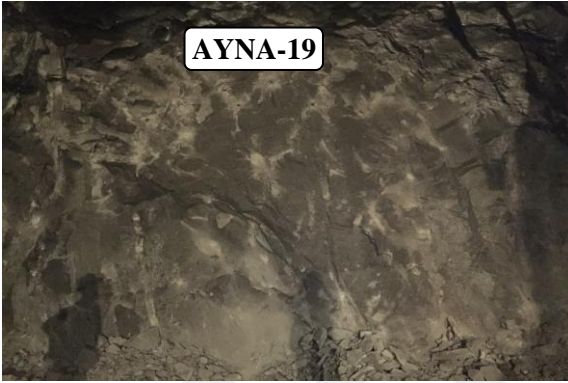


**EK-1 (Devam).** Tünel ayna fotoğrafları



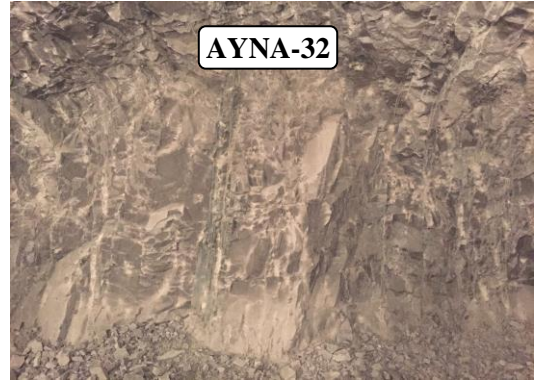
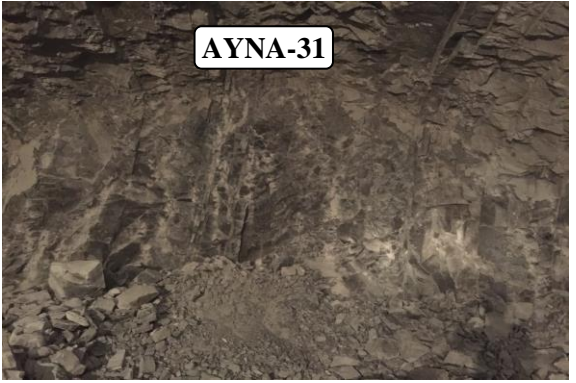
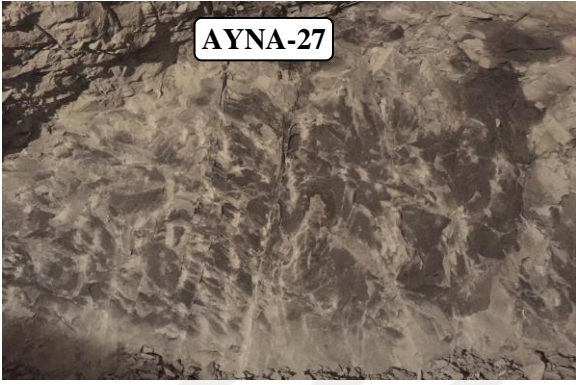
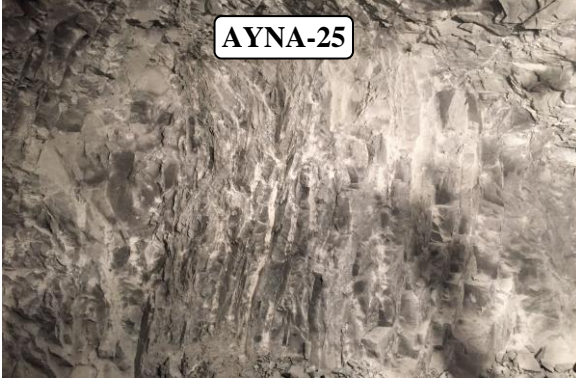


**EK-1 (Devam).** Tünel ayna fotoğrafları



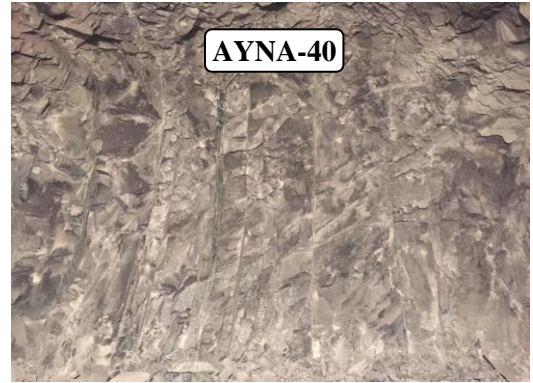
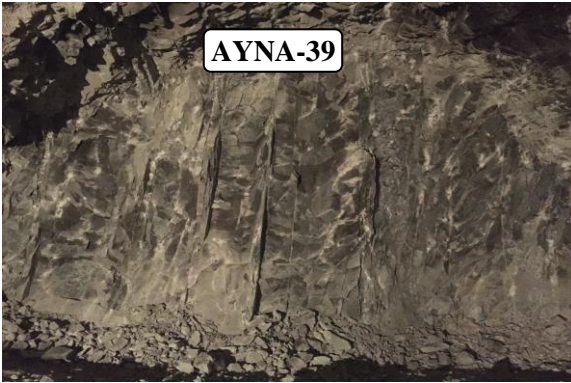
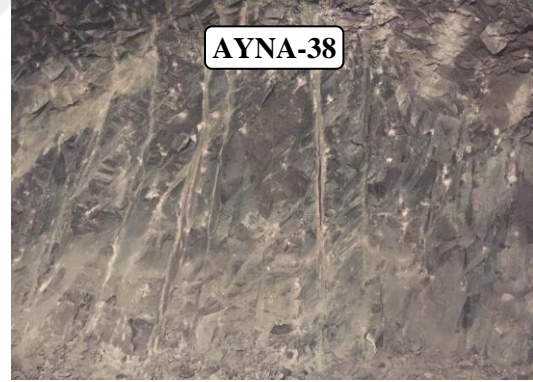
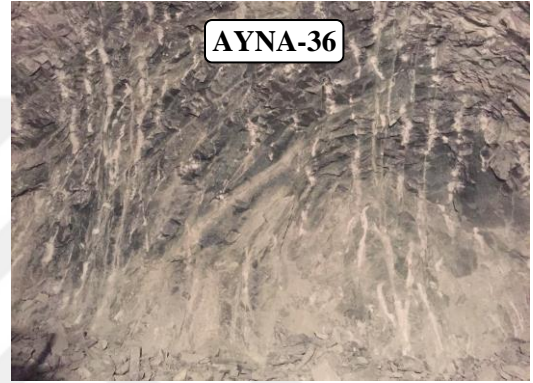
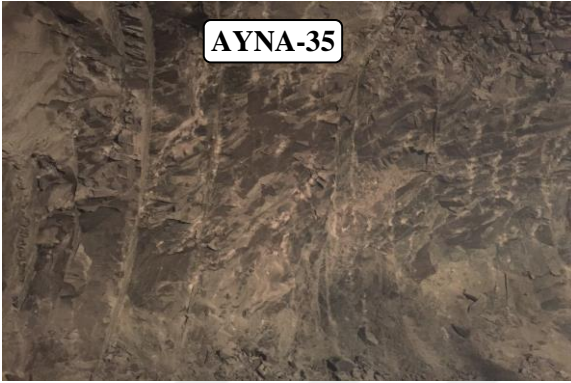


**EK-1 (Devam).** Tünel ayna fotoğrafları



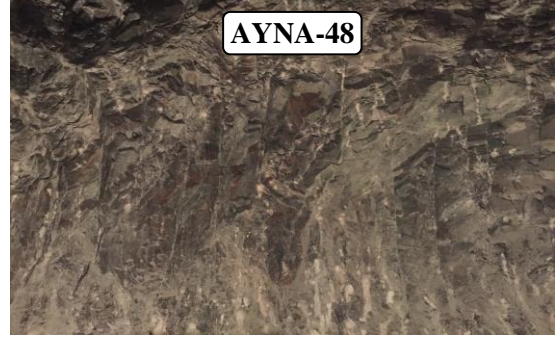
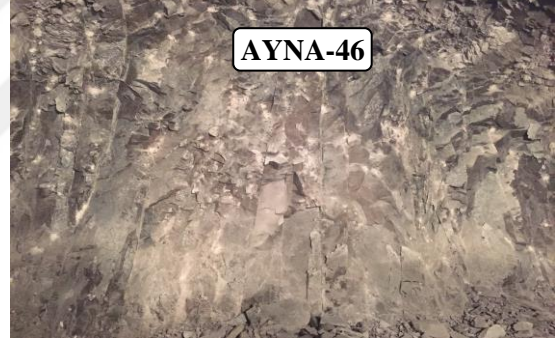
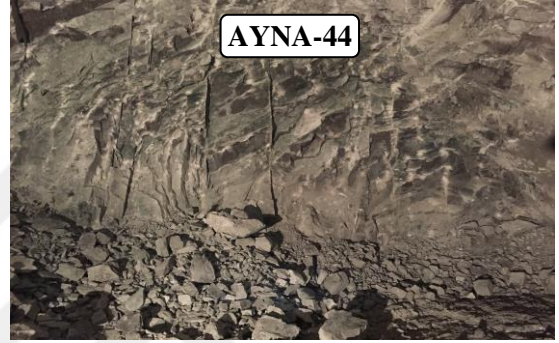


**EK-1 (Devam).** Tünel ayna fotoğrafları





**EK-1 (Devam).** Tünel ayna fotoğrafları



## ÖZGEÇMİŞ

Mehmet İlker BOZLAR, 16/05/1982 tarihinde Trabzon'da doğdu. İlköğrenimini 1993 yılında Trabzon Cudibey İlköğretim Okulu'nda, ortaöğrenim ve lise eğitimini 2000 yılında Trabzon Yunus Emre Anadolu Lisesi'nde tamamladı. 12/09/2002 tarihinde başladığı lisans öncesi İngilizce hazırlık programını ve lisans eğitimini 25/07/2008 tarihinde Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü'nde tamamladı. 07/08/2015 tarihinde başladığı Avrasya Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü'ndeki eğitimini 23/06/2017 tarihinde tamamladı. 22/08/2014 tarihinde Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı'nda başladığı yüksek lisans öğrenimini halen devam ettirmektedir. Hidroelektrik santrali projelerinde ve Ovit Tüneli projesinde saha mühendisi olarak görev yapmıştır. Orta derecede İngilizce bilen Mehmet İlker BOZLAR, evli ve bir çocuk babasıdır.