



Araştırma Makalesi

## **Silifke – Mut (Mersin) Karayolu T1-A Tünelinin Mühendislik Jeolojisi İncelemesi**

*Engineering Geological Study of Silifke – Mut (Mersin) Motorway T1-A Tunnel*

MEVLÜT ÇETİNKAYA Orcid: 0009-0005-5658-9859

SEDAT TÜRKMEN<sup>1</sup> Orcid: 0000-0002-9867-5545

<sup>1</sup> Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Adana

Geliş (received): 3.06.2023

Kabul (Accepted): 21.06.2023

### **ÖZ**

Bu çalışma ile Silifke- Mut (Mersin) 1.kısım karayolu projesinde yer alan T1-A tünelinin jeolojik ve jeoteknik özellikleri dikkate alınarak tünel kazı ve destek sınıflaması belirlenmiştir. Tünel iki tüp şeklinde projelendirilmiş olup sol tüp uzunluğu 2865 m sağ tüp uzunluğu 2835 m'dir. Tünel güzergâhında genel olarak; erken-orta Miyosen yaşlı Mut Formasyonuna ait kireçtaşı, killi kireçtaşı, marn ve killi kumtaşı birimler gözlenmiştir. Mut Formasyonunu oluşturan birimlerin mühendislik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla sondajlardan alınan karot örnekleri üzerinde laboratuvar deneyleri yapılmıştır. Yapılan sondajlar ve birimlerin fiziksel ve mekanik özellikleri göz önüne alınarak tünel güzergâhı 3 ayrı kısma ayrılmıştır. Elde edilen verilerden yararlanılarak tünel güzergâhı boyunca RMR, Q ve NATM kaya kütle sınıflaması yapılarak gerekli destek tasarımı belirlenmiştir. NATM destek sınıfına göre I. Kısım için C2, ikinci kısım için B3 ve 3. Kısım için B2 klasları elde edilmiştir. Kayaçların mühendislik özellikleri ve laboratuvardan elde edilen sonuçlar değerlendirilerek, I. Kısım için RMR=28, Q=0,708, II. Kısım için RMR=50, Q=1,467 ve III Kısım için RMR=57, Q=3,938 olarak hesaplanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Tünel, Kaya kütle sınıflaması, Kazı destekleme sistemi

---

Sedat Türkmen sturkmen@cu.edu.tr

Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Adana

### **ABSTRACT**

*In this study, tunnel excavation and support classification was determined by considering the geological and geotechnical characteristics of the T1-A tunnel located in the Silifke-Mut (Mersin) 1st section motorway project. The tunnel is designed as two tubes and the left tube length is 2865 m, the right tube length is 2835 m. In general, on the tunnel route; limestone, clayey limestone, marl and clayey sandstone units belonging to the early-middle Miocene Mut formation were observed. In order to determine the engineering properties of the units forming the Mut formation, laboratory experiments were carried out*

*on the core samples taken from the drillings. The tunnel route was divided into 3 separate sections, taking into account the drillings and the physical and mechanical properties of the units. By using the data obtained, RMR, Q and NATM rock mass classification was made along the tunnel route and the necessary support design was determined. According to the NATM support class, C2 for the 1st part, B3 for the second part and B2 for the 3rd part were obtained. By evaluating the engineering properties of the rocks and the results obtained from the laboratory, RMR=28, Q=0.708, II. RMR=50, Q=1.467 for Part III and RMR=57, Q=3.938 for Part III.*

**Keywords:** Tunnel, Rock mass classification, Excavation support system

## GİRİŞ

Tüneller “bir ulaşım ya da taşıt yolunun bir kısmının yeryüzünden geçirilmesinin topografik ve jeolojik bakımdan mümkün olmadığı ya da bunun ekonomik açıdan uygun bulunmadığı durumlarda, bu yolların bir kısmının yeraltından geçirilmesine imkân tanıyan iki tarafı açık yer altı yapılarıdır. Son yıllarda mühendislik jeolojisindeki gelişmeler bağlı olarak daha ayrıntılı değerlendirmeler yapılabilmekte, buna bağlı olarak daha güvenli ve ekonomik tünel kazı – destek sistemleri uygulanmaya başlanmıştır. Bu çalışma ile Silifke- Mut (Mersin) 1.kısım karayolu projesinde yer alan T1-A tünelinin mühendislik jeolojisi incelenmiş, tünelin jeolojik modellemesi yapılarak, tünel kazı ve destek sınıflaması belirlenmesi amaçlanmıştır.

İç Anadolu Bölgesi ile Akdeniz Bölgesinin bağlantısını sağlayan D - 400 mevcut karayolunun; yapımı planlanan Kayraktepe Barajından dolayı yolun baraj göl suları altında kalacak olması ve ayrıca mevcut karayolunda oluşan heyelanlar nedeniyle, daha rahat ve kolay ulaşım sağlamak amacıyla Karayolları Genel Müdürlüğü tarafından Silifke - Mut 1.kısım yeni yol projesi planlanmıştır (Şekil 1). Proje kapsamında Silifke - Mut yönünde Silifke’ye yaklaşık 4 km mesafede 2 tüp şeklinde T1-A olarak adlandırılan tünel mevcuttur. Hazırlanan karayolu projesinde mevcuttaki 2x1 ve standardı düşük olan yolun, platform genişliği 24 m, banket genişliği 2m ve refüj genişliği 4m olan ve her biri 3,5 m şerit genişliğine sahip 2x2 şeritli bölünmüş olarak yeniden yapımını amaçlamaktadır. Yol projesi kapsamında km:8+380 - 11+245’de sol tüp, km:8+410 - 11+245’de sağ tüp olmak üzere T1-A tünel bulunmaktadır. Sol tüp uzunluğu 2865 m, sağ tüp uzunluğu 2835 m 'dir. Bu çalışmada yukarıda adı geçen T1-A tüneli güzergâhının mühendislik Jeolojisi incelenerek, uygulanan kazı destek sistemleri belirlenmiştir. Tünel güzergâhında genel olarak; erken - orta Miyosen yaşlı Mut formasyonuna

ait kireçtaşı, killi kireçtaşı, marn- killi kumtaşı birimleri gözlenmektedir. Bu birimlerin sahip olduğu özelliklerin destek sistemi ile olan ilişkisi mühendislik jeolojisi perspektifinden ayrıntılı olarak incelenerek, tünel güzergâhında yapılan sondajlar ve laboratuvar deneyleri ile kazı çalışmaları irdelenerek tünelin içinden geçeceği birimlerin mühendislik davranışları karşılaştırılmıştır.



Şekil 1. Yer Bulduru Haritası

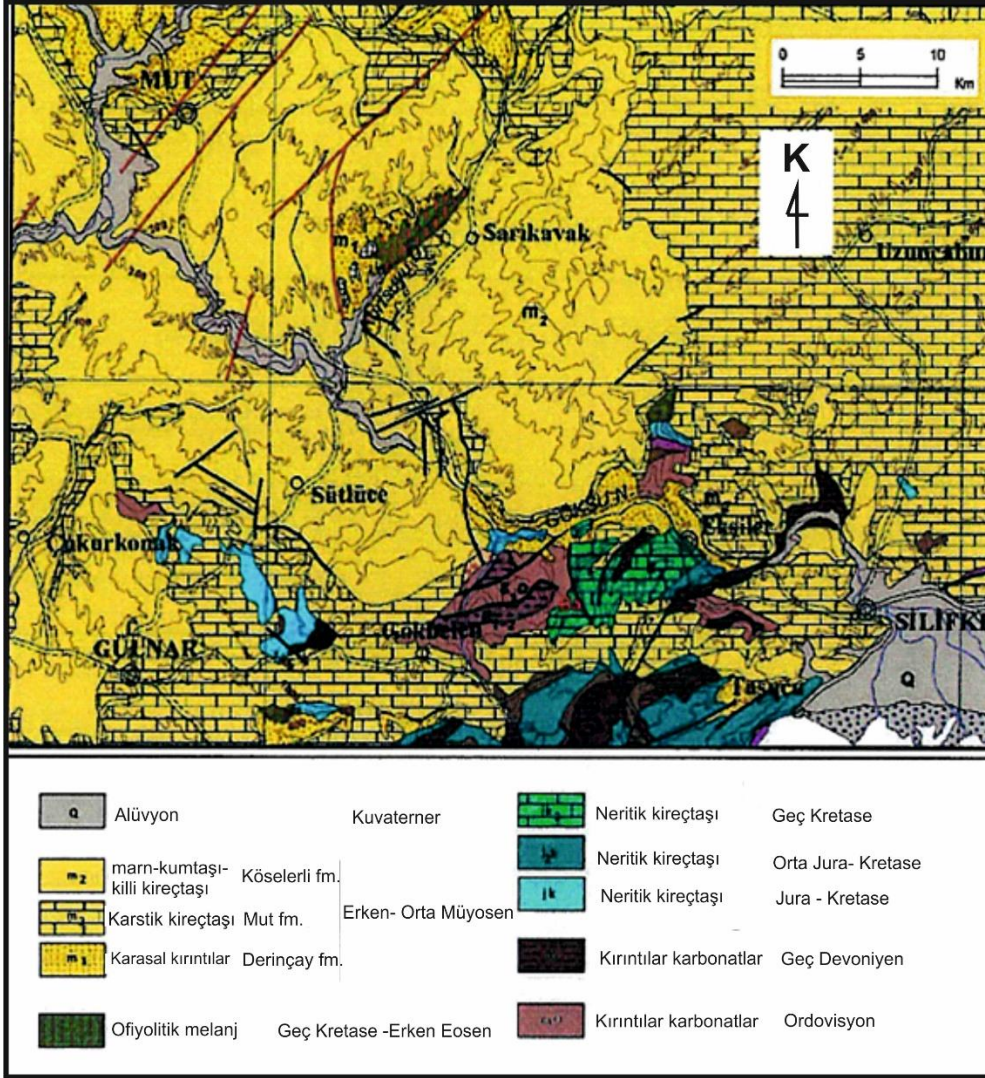
### Bölgesel Jeoloji

Çalışma alanı ve çevresi, MTA ve değişik kurum ve kuruluşlar tarafından değişik zamanlarda jeoloji çalışmaları yapılarak yörenin genel jeolojisi aydınlatılmış ve birimler adlandırılmıştır (Şekil 2). Silifke-Mut arasında daha önce sahada yapılan gerek genel jeoloji alanında gerek büyük sanat yapılarının (baraj, tünel vb.) jeoteknik çalışmalarında ayrıca petrol bulma gibi yapılan çalışmalarda araştırmacılar o yer hakkında birçok veri ve görüşler elde etmiştir (Nieoff,1960; Akarsu, 1960; Sezer,1970; Özer ve ark., 1974; Bizon ve ark., 1974;

Demirtaşlı,1973, 1984). Bölgenin temel kayacını Ordovisiyen yaşlı, 450 m kalınlığı olan kuvarsit bantlı metamorfik şistler oluşturur. Birimin üzerinde Geç Devoniyen yaşlı kuvarsit, kumtaşı, silttaşı, şeyller ile ardalanmalı resifal kireçtaşı olan 400 m kalınlıklı Akdere formasyonu uyumsuz olarak bulunur (Gedik ve ark,1979). Akdere formasyonu üzerinde 1500 m olan ve Jura-Üst Kretase zaman aralığında çökelen neritik kireçtaşı, dolomit, dolomitik kireçtaşı, megaladontlu kireçtaşı birimlerini içeren Çamtepe formasyonu uyumsuz olarak bulunur. Üst Kretase yaşlı neritik kireçtaşları üzerinde Permokarbonifer-Üst Kretase kayaçlarından parçalar ile serpantinleşmiş peridotit, gabro, spilit ve diyabaz kayaçlarını içeren ofiyolitli melanj seri Çambaşıtepe formasyonu üzerinde bulunur. Ofiyolitli melanj serisi üzerinde uyumsuz olarak alt miyosen yaşlı karasal kökenli kırıntılılardan oluşan yaklaşık 300 m kalınlıklı Derinçay formasyonu bulunur. Derinçay formasyonu üzerinde ise açısız uyumsuzluk ile orta miyosen yaşlı resifal kireçtaşı olan Mut formasyonu bulunmaktadır (Gökten, 1976). Mut formasyonunu ortalama kalınlığı 150 m olan marn-killi kireçtaşı-şeyl ardalanmasını içeren Köşelerli formasyonu ile yatay ve düşey yönde geçişlidir. Köşelerli formasyonu üzerinde Kuvaterner yaşlı iyi derecelenmiş ofiyolit ve kireçtaşını içeren kum ve kumtaşı mercekli, çapraz tabakalı, zayıf-iyi çimentolu akarsu taraçası uyumsuz olarak bulunur. En üst kısmında çakıl, kum, silt ve kil içeren Kuvaterner yaşlı Alüvyon oluşturmaktadır.

## **MÜHENDİSLİK JEOLJİSİ**

Tünel güzergahı boyunca birimlerin tanımlanması amacıyla öncelikle saha çalışmaları ve laboratuvar çalışmaları yapılmış ve elde edilen verilerden yararlanılarak jeoteknik değerlendirmeler yapılmıştır. Kaya kütlesi yenilme ölçütü için Hoek-Brown yenilme ölçütü seçilmiştir. Kaya kütlesi sınıflama sistemlerinden ampirik yöntemlerden RMR ve Q, ölçme-gözleme dayanan yöntemlerden ise NATM felsefesi uygulanmıştır.



Şekil 2. Mut-Ermenek-Silifke havzasının sadeleştirilmiş jeoloji haritası (Gedik ve ark.1979'dan)

### Sondaj Çalışmaları

T1-A tünel güzergahında giriş ve çıkış kesimlerde 2 adet sondaj kuyusu açılmıştır (Şekil 3). Yapılan sondajdan alınan karot örneklerinin fiziksel ve mekanik özelliklerinin belirlenmesi için laboratuvara gönderilmiştir. Sondajdan elde edilen karotlar ile tek eksenli basınç dayanımı, çekme dayanımı, elastisite modülü, Poisson oranı, RQD (Deere ve Miller, 1966) ve kayaç birim hacim ağırlığı değerlerinin belirlenmesi sağlanmıştır (Çizelge 1). Tüm bu çalışmalar

doğrultusunda kaya kütle sınıflamasında ve jeoteknik tasarımın oluşturulmasında gereksinim duyulan hemen hemen tüm parametrelerin temini sağlanmıştır (Çetinkaya, 2022).



Şekil 3. TD1 SK-1 ait fotoğraflar

### Laboratuvar Çalışmaları

Sondaj sayısının sınırlı olması dolayısıyla ilave olarak tünel içerisinden alınan blok örnekler ve sondajlardan elde edilen karot örnekler üzerinde kayaçların fiziksel ve mekanik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla laboratuvar deneyleri yapılmıştır. Bu deneyler sonucunda tek eksenli basınç dayanımı ve birim hacim ağırlığı belirlenmiştir (ISRM, 1981).

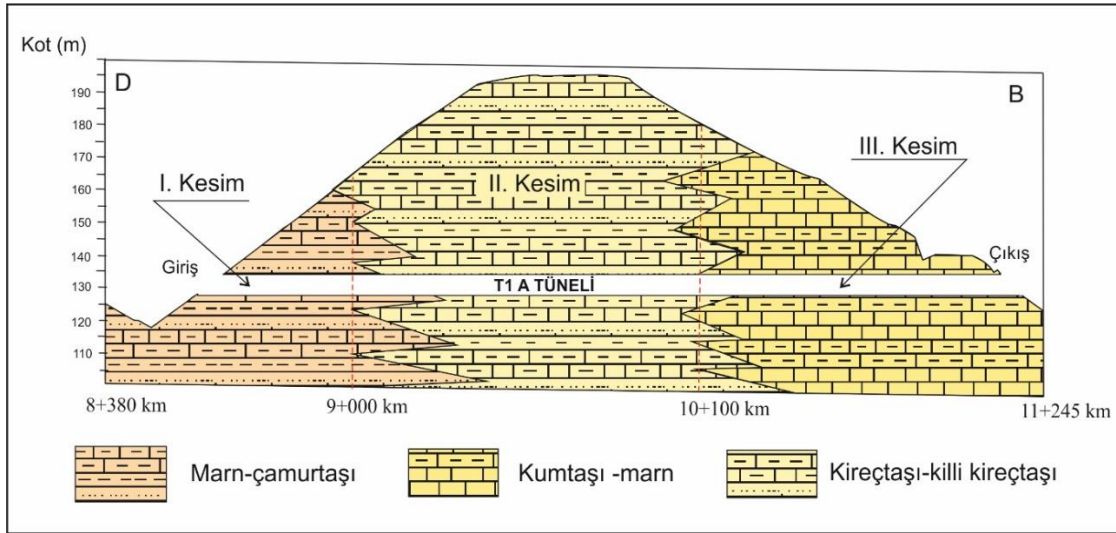
Çizelge 1. T1-A tünel güzergâhındaki formasyonların laboratuvar, arazi ve ofis çalışma belirlenmiş parametreler

Kesit	Tünel Ekseni-I	Tünel Ekseni-II	Tünel Ekseni-III
Km	8+380-9+000	9+000-10+100	10+100-11+245
Birim Hacim Ağırlığı Kn/m <sup>3</sup>	25	25	25
Tek Eksenli Basınç Dayanımı (MPa)	27	37	49
GSI Değeri	28	43	50

$m_i$ Değeri	6	17	9
Örselenme Faktörü	0,4	0,5	0,5

### Tünel Güzergahının Jeolojisi

Tünel güzergâhında Mut formasyonuna ait; killi kireçtaşı, kum taşı, marn ve kireçtaşı ardalanması yer almaktadır. Killi kireçtaşı; koyu kahverengi-bej-sarımsı renkli, orta-kalın tabakalı, bol fosilli ve yer yer oolitik özelliktedir. Marn; gri- boz renkli, kırılğan ve kil oranı yüksek bir birimdir. Kireçtaşı; kirli beyaz, krem renklerinde olup kalın tabakalı, masif ve karstik boşlukları olan bir yapıdır. Kumtaşı; yeşil-sarımsı renkli, orta kalın tabakalı, orta-iyi boylanmalı, yer yer çapraz tabakalanmaya sahip bir birimdir. Fakat yer yer ince bir tabaka olarak çamurtaşı birimi de gözlenmektedir. Çamurtaşı; siyah renkli, kırılğan bir birimdir. Bunun yanı sıra doğrultu atımlı faylara rastlanmaktadır. Tünel güzergahında birbiriyle yanal ve düşey yönde geçişli üç farklı litoloji ayırtlanmıştır. (Şekil 4). Tünel güzergahında gözlenen litolojik farklılıklar ve mühendislik özellikleri dikkate alınarak bu üç kesim için ayrı ayrı kaya sınıflaması yapılmıştır.



Şekil 4. Tünel Güzergahının enine jeoloji kesiti



Şekil 5. Tünel güzergâhında bulunan birimlerin tünel içerisindeki görünümü

### Tünel Güzergahında Yapılan Çalışmalar

Tünel güzergahının tamamı Miyosen yaşlı killi kireçtaşı, kumtaşı, marn ve kireçtaşı ardalanmalı birimlerden oluşmaktadır. Yapılan arazi çalışmaları, ölçümler ve laboratuvar deney sonucunda jeolojik ve jeoteknik değerlendirmelerle, tünelin giriş kesiminin marn çamurtaşı ağırlıklı olduğu, çıkış kesiminin ise marn kumtaşı ardalanmasından, orta kesiminin ise kireçtaşı – killi kireçtaşından oluştuğu ve giriş bölümlerindeki birimlerin az ayrılmış zayıf dayanımlı olduğu, orta ve çıkış bölümlerindeki birimlerin ise genel olarak orta dayanımlı, yer yer de orta-iyi dayanımlı özellikte olduğu belirlenmiştir. Tünel kazı çalışmaları sonrasında tünel aynasında gözlenen litolojik birimlerin özellikleri, süreksizlik özellikleri (süreksizlik uzunluğu, açıklığı ve devamlılığı, bozunma, yer altı su durumu, süreksizliğin konumu vb) tek eksenli sıkışma dayanımı, RQD değerleri dikkate alınarak RMR ve Q kaya kütle sınıflamalarında değerlendirilerek kaya kütle sınıflamaları belirlenmiş ve NATM prensibine göre kazı ve destekleme sistemi önerilmiştir (Barton ve diğ. 1974; Barton, 1976; Barton, 2002; Bieniawski 1973,1989; Rabcewic 1964), (Şekil 6-7).

Laboratuvar deneylerine ilave olarak tünel güzergahındaki birimlerin tek eksenli sıkışma dayanımı değeri Schmidt çekici kullanılarak tünel aynasındaki birimlerden dolaylı olarak elde edilmiştir. RQD değeri ise Bieniawski (1989) tarafından önerilen süreksizlik aralığı grafiğinden dolaylı olarak belirlenmiştir.

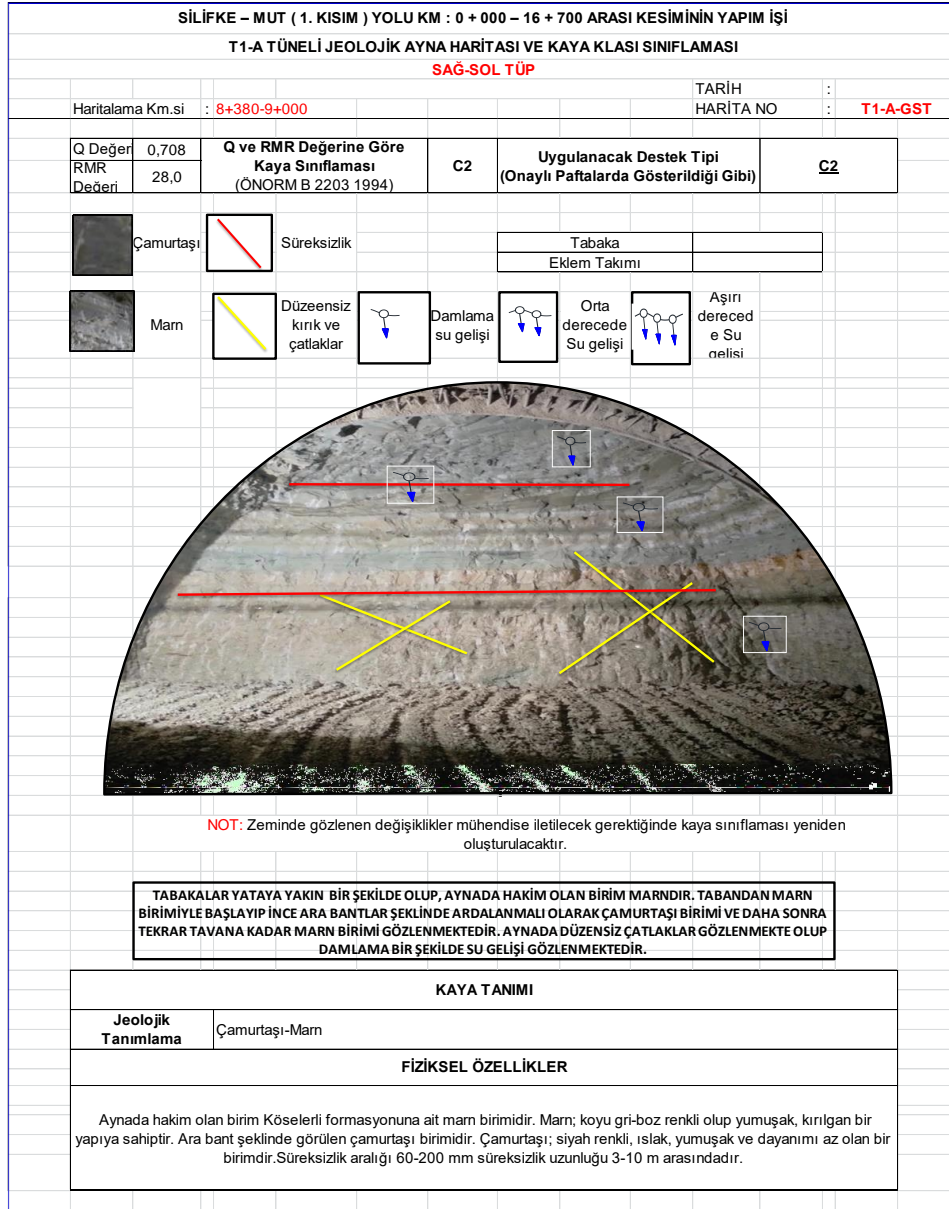




**Şekil 6.** Tünel içerisindeki süreksizlik özelliklerinin ve aynadaki su durumunun belirlenmesi için yapılan çalışmalardan bir görüntü

### **Kaya Kütle Sınıflamaları**

Tünel güzergahında yapılan tanımlamalar ve ölçümler, sondaj çalışmaları ve laboratuvar çalışmaları sonrasında elde edilen veriler kullanılarak ampirik yaklaşımlar olan RMR, Q ve NATM kaya kütle sınıflamalarına göre tanımlamalar yapılmıştır. Tünel kazı-destek sistemlerinin belirlenmesi için kullanılan parametreler, zamanımızda tünel kaya sınıflamaları için yaygın olarak kullanılan yaklaşımlar olması ve de kaya kütle özelliklerini daha iyi yansıttığının öngörülmesinden dolayı ampirik yaklaşımına göre belirlenmiştir. Tünel güzergahı boyunca yapılan saha çalışmaları ve litolojik özellikler dikkate alınarak tünel güzergahı giriş, orta kesim ve çıkış olmak üzere üç bölüme ayırarak kaya kütlesi sınıflaması için değerlendirmeler yapılmıştır.



**Şekil 7. C2 Klasındaki örnek ayna haritası**

### Tünel Eksen I. Kesim (km: 8+380-9+000) Değerlendirmeleri

Bu km'ler arasında genel olarak marn çamurtaşı ardalanmasından oluşan birimler gözlenmiştir. Tünel I. kesim bölgesinde topografyanın elverişli olduğu bölgelerden yapılan sondajdan elde edilen karot numuneleri ve tünel aynaları incelendiğinde; RMR kaya sınıflamasında dolgu

durumu yumuşak dolgu <5 mm olarak tanımlanmıştır. Süreksizlik aralığı genel olarak farklı değerler sunmakla beraber, sondaj karotlarında RQD değerlerinin düşük olması dikkate alındığında süreksizlik aralığı <6cm, süreksizlik devamlılığı 10-25 m, süreksizlik açıklığının 1-5 mm arası olduğu belirlenmiştir. Kaya kalite değeri (RQD), 34 ve Tek eksenli basınç dayanımı 27 MPa laboratuvarında bulunan değer alınmıştır. Tüm bu özellikler göz önüne alınıp puanlaması yapıldıktan sonra temel RMR değeri 28 olarak belirlenmiş ve kaya sınıfı Bieniawski, 1989'a göre "Zayıf kaya" olarak tanımlanmıştır (Bieniawski, 1989). (Şekil 8).

Tünel I. Kısımında, çatlak takım sayısı (Jv); üç eklem takımı ve gelişi güzel çatlaklar işaretlenip, çatlak pürüzlülük durumu (Jr); sürtünme izli, düzlemsel, çatlak ayrışma durumu (Ja); Hafifçe ayrışmış çatlak yüzleri ve yumuşamayan mineral kaplamaları, Çatlak Suyu İndirgeme Faktörü (Jw); Kuru kazılar yada < 5 lt. / dak su gelen kazılar, SRF (Gerilme İndirgeme Faktörü); Orta derecede gerilme gibi faktörler belirlenip, ESR değeri ise tünel olduğu için 1 olarak alınmıştır. Puanlama yapıldıktan sonra Q değeri 0,708 olarak bulunmuştur. Tünel kazı çapı 12 m olduğu için Q kaya sınıfına göre kaya sınıfı "Çok Zayıf kaya" olarak bulunmuştur.

NATM, RMR ve Q sınıflama sistemlerine göre ve ayrıca Şekil 10'daki tabloyu kullanarak RMR-Q sistemi karşılaştırıldıktan sonra Tünel eksen I. Kesim'in kaya sınıflaması "C2 Baskılı" olarak adlandırılmıştır (Şekil 11). Tünel güzergahındaki kaya kütlelerinin davranışı, su etkisi, kazı ile destekleme ve desteklemenin zamanlaması belirlenmiştir.

SİLİFKE – MUT ( 1. KISIM ) YOLU KM : 0 + 000 – 16 + 700 ARASI KESİMİNİN YAPIM İŞİ			
T1-A TÜNELİ JEOLOJİK AYNA HARİTASI VE KAYA KLASI SINIFLAMASI			
SAG-SOL TÜP			
Haritalama Km.si	: 8+380-9+000	TARİH	:
		HARİTA NO	: T1-A GST
Açılan tünel kayasının jeomekanik ve mühendislik özelliklerinden yararlanılarak yerinde yapılan gözlemler, sondajlar ve laboratuvarda elde edilen veriler neticesinde RMR ve Q sınıflama sistemleri ile KGM - NATM Uygulama Yer altı Tünel İşleri Teknik şartnameye göre ödemeye esas olan ÖNORM B 2203 Ekim 1994 Sonrası Kaya Sınıflandırma Sistemi aşağıda verilmiştir.			
1. RMR (Jeomekanik sınıflama)- Bieniawski Kaya Kalite Sınıflaması			
Parametre	Açıklamalar	Puan	
1	Kaya Malzemesinin Dayanımı, Mpa	25 - 50 Mpa	4,0
2	Kaya Kalite Göstergesi (RQD %)	34	8,0
3	Süreksizlik Aralığı, mm.	60-200 mm	8,0
4	Yeraltısuyu q, lt/dk.	<10	10
<b>Süreksizlik Koşulu</b>			
5	a	Uzunluk (Devamlılık), m.	1-3
	b	Açıklık, mm.	1-5
	c	Pürüzlülük	Az Pürüzlü
	d	Dolgu, mm.	Yumuşak Dolgu <5 mm
	e	Bozunma	Çok Ayrışmalı
6	Süreksizlik Yönelimine Göre Düzeltme	Uygun değil	-10
7	TOPLAM PUAN	28,0	
8	KAYA SINIFI	IV Zayıf Kaya	
<b>Kaya Sınıfı Bazı Özellikleri</b>			
9	a	Ort. Desteksiz Kalabilme Süresi	2.5 metre açıklık için 10 saat
	b	Kaya Kütlelerinin Kohezyonu, kPa	100 - 200
	c	Kaya Kütlelerinin İçsel Sürtünme Açısı, derece	15 - 25
	d	Destek Basıncı, kPa, $P = ((100 - RMR) / 100) \gamma BS$	252,72 kPa
10	<b>RMR DESTEK TİPİ</b> (Önorm B 2203 1994 Ekim Sonrası)	<b>C2 BASKILI</b>	
<i>y: Kayanın birim hacim ağırlığı; B: Tünel genişliği; S: Gerilme faktörü</i>			

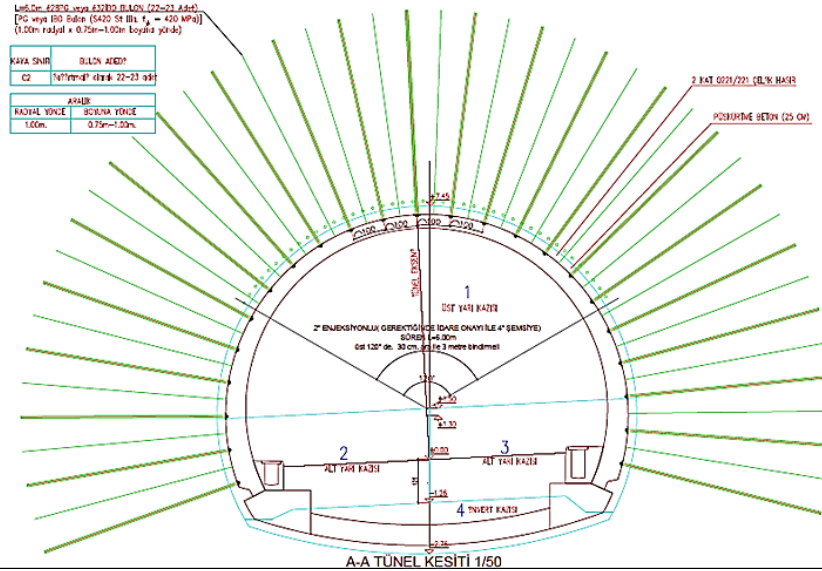
Şekil 8. Tünel eksenine I. Kesim (km:8+380-9+000) için RMR kaya kütle sınıflaması puanlaması

SİLİFKE – MUT ( 1. KISIM ) YOLU KM : 0 + 000 – 16 + 700 ARASI KESİMİNİN YAPIM İŞİ									
T1-A TÜNELİ JEOLojİK AYNA HARİTASI VE KAYA KLASI SINIFLAMASI									
SAG-SOL TÜP									
Haritalama Km.si : 8+380-9+000					TARİH : HARİTA NO : T1-A GST				
<b>2. Q (Jeomekanik sınıflama)- Barton Kaya Kalite Sınıflaması</b>									
		Parametre			Açıklamalar			Pn <sub>an</sub>	
1	RQD	Kaya Kalitesi Tanımı (%)						34	
2	J <sub>n</sub>	Çatlak Takım Sayısı*			üç çatlak sistemi ve gelişigüzel çatlaklar			12	
3	J <sub>r</sub>	Çatlak Pürüzlülük Durumu			Sürtünme izli, düzlemsel			0,5	
4	J <sub>a</sub>	Çatlak Ayrışma Durumu			Hafifçe ayrılmış çatlak yüzleri. Yumuşamayan mineral kaplamaları			2	
5	J <sub>w</sub>	Çatlak Suyu İndirgeme Faktörü			Kuru kazılar yada < 5 lt. / dak su gelen kazılar			1	
6	SRF	Gerilme İndirgeme Faktörü			Orta derecede gerilme			1	
7	ESR	Kazı Türü-Tüneller için						1	
* Tünelin Portal kesiminde J <sub>n</sub> x 2 değerleri alınır.									
FORMÜL $Q = \frac{RQD}{J_n} \times \frac{J_r}{J_a} \times \frac{J_w}{SRF} = 0,708$									
Kazı Çapı 12 m.									
A	Blok Büyüklüğü		RQD / J <sub>n</sub>	2,83	E	Desteksiz Açıklık, B <sub>max</sub>	$2(ESR) \times Q^{0.4}$	1,7423	
B	Blok İç Dayanımı		J <sub>r</sub> / J <sub>a</sub>	0,25	F	Tavan Destek Basıncı, P <sub>tavan</sub> , MPa	$2J_r \times Q^{-1/3}$	1,8824	
C	Etkin Gerilme Koşulu		J <sub>w</sub> / SRF	1,00	F*	Tavan Destek Basıncı, P <sub>tavan</sub> , MPa	$(2J_w^{0.5} \times Q^{-1/3}) / 3 \times J_r$	0,5434	
					G	Eşdeğer Boyut , De	$(Kazı Çapı / ESR)$	12	
H	Q DESTEK TİPİ (Önorm B 2203 1994 Ekim Sonrası)			C2 BASKILI		*Eklem sisteminin sayısı üçten az ise bu eşitlik kullanılacaktır.			
<b>3. Q indeksi ve RMR değerine göre kazı sınıfı (ÖNORM B 2203 Ekim 1994 Sonrası)</b>									
Kazı Sınıfı		C2 BASKILI							
<b>6. Tünel Destek Tipi</b>									
Destek Tipi		C2 destek sınıfı uygulanacaktır.							

Şekil 9. Tünel eksenli I. Kesim (km:8+380-9+000) için Q kaya kütle sınıflaması puanlaması

MJKM VADAR	1		2			3			4		
	A	B	C	C	E	F	G	H			
1994 NATM Ö-NORM B2203 1983	A1	A2	B1	B2	B3	C1	C2	C3	C4	C5	
	1	2	3	4		5		6	7		
	SAĞLAM	ZAMANLA KIRILGAN	AZ KIRILGAN	KIRILGAN veya AZ KIRILGAN		ÇOK KIRILGAN veya BASKILI		ÇOK BASKILI	AKICI		
NATM ESKİ	I SAĞLAM	ZAMANLA AZ KAVLAKLANAN	II KIRILGAN	III ÇOK KIRILGAN	IV BASKILI	V ÇOK BASKILI		VI ÖZEL HAL			
Q BARTON	ÇOK MÜKEMMEL	100 MÜKEMMEL	100 ÇOK İYİ	40 İYİ	10 ORTA	4	1	0.1	0.0001	KÖTÜ	
RMR CSIRO BIENIAWSKI	100	1	80	2	60	3	40	4	20	5	
	ÇOK İYİ		İYİ		ORTA		KÖTÜ		ÇOK KÖTÜ		
TERZAGHI YENİ (ROSE)	N=0										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
ESKİ Hp	0	0.0-15B 0.15-0.25 B	0.25-0.35(B+H) 0.35-0.75 (B+H)		0.75-1.1(B+H) 1-1.2(B+H)		2.1-4.5 (B+H)		4-5 (B+H) 75m	75m	AKICI
RQD DEER	90		75	50		25		0			
	ÇOK İYİ		İYİ		ORTA		ZAYIF		ÇOK ZAYIF		

Şekil 10. Tünel eksenli I. Kesimi için farklı kaya kütle sınıflamalarının karşılaştırılması



Şekil 11. Tünel eksenli I. Kesiminde uygulanan C2 klasındaki destekleme sistemi

Yukarıda RMR ve Q değerleri belirlendikten sonra kaya kütleline ait GSI puanı hesaplanmıştır (Sönmez ve Ulusay, 2002; Hoek ve Brown, 1980a; Hoek ve Brown, 1980b). Bu amaçla yapılan hesaplamalar aşağıda gösterilmiştir.

$$RQD = 115 - 3,3J_v$$

$$34 = 115 - 3,3 \cdot J_v$$

$$J_v = 24,55$$

$$SCR = R_r(\text{az pürüzlü}) + R_w(\text{çok ayrılmış}) + R_f(\text{yumuşak dolgu < 5 mm})$$

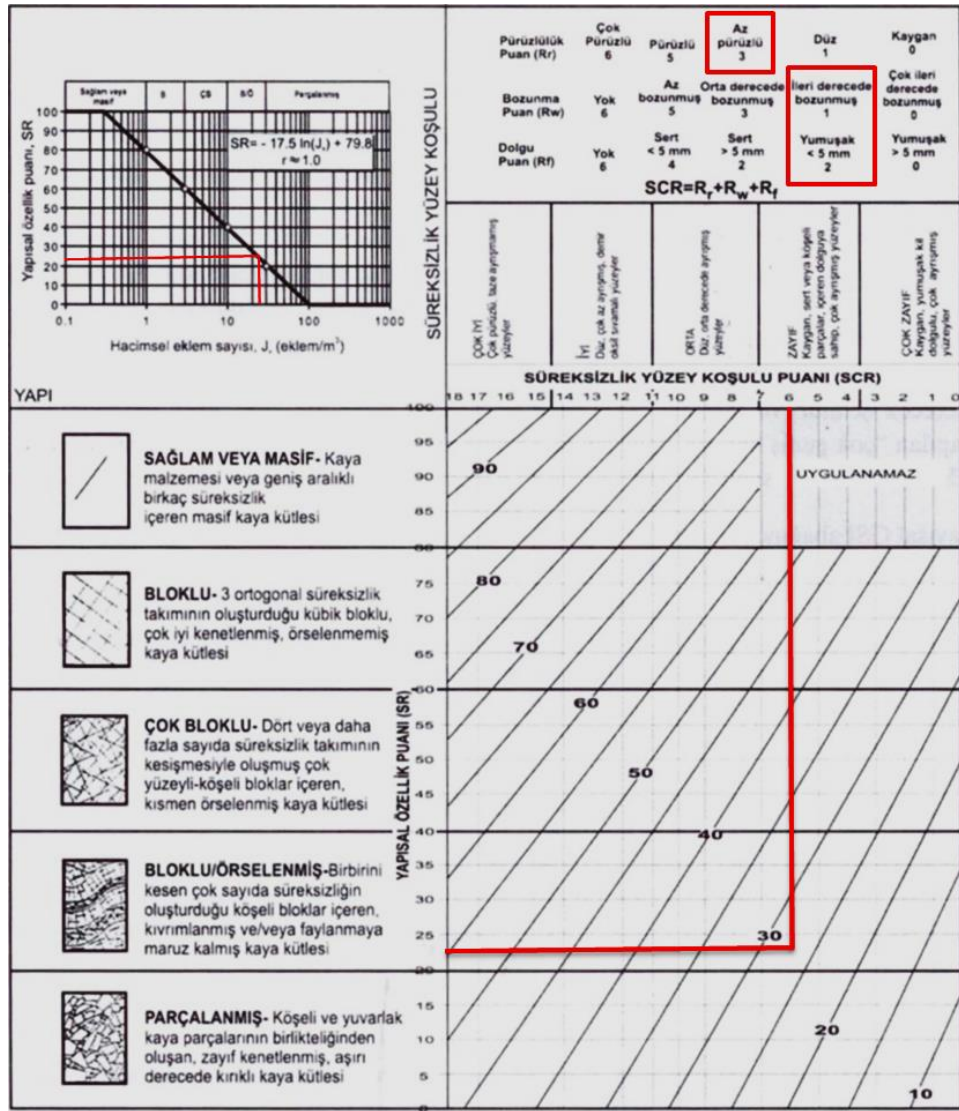
$$SCR = 3 + 1 + 2 = 24,55$$

$$SR = -17,5 \times \ln J_v + 79,8$$

$$SR = -17,5 \times 30,61 + 79,8$$

$$SR = 23,79 \text{ yaklaşık olarak bulunmuştur.}$$

Bu değerlere göre GSI değeri 28 olarak tespit edilmiştir (Şekil 12)



Şekil 12. Tünel Eksen I. kesim için Sönmez ve Ulusay (1999) tarafından önerilen modifiye edilmiş GSI sistemi

Temel kazısı iş makinası ile yapılacağından örselenme faktörü (D) 0.4 alınmıştır. Ortalama tek eksenli sıkışma dayanımı değeri 27 MPa alınmıştır. mi değeri Hoek ve Diederichs (2006) tarafından önerilen çizelgeden yararlanılarak 6 alınmıştır.

#### 4.4.2 Tünel Ekseni II. Kesim (km: 9+000-10+100) Değerlendirmeleri

Bu km'ler arasında genel olarak kireçtaşı- killi kireçtaşı aralanmasından oluşan birimler gözlenmiştir. Tünel ekseni II. Kesim bölgesi altında topografyanın elverişli olduğu bölgelerden yapılan sondajdan elde edilen karot numuneleri ve tünel aynaları incelendiğinde; RMR için dolgu durumu sert dolgu <5 mm olarak tanımlanmıştır. Süreksizlik aralığı genel olarak farklı değerler sunmakla beraber, sondaj karotlarında RQD değerlerinin oldukça düşük olması göz önüne alındığında süreksizlik aralığı<6cm, süreksizlik uzunluğunun 1-3 m, süreksizlik açıklığının 0,1-1 mm arası olduğu belirlenmiştir. Kaya kalite göstergesi (RQD) ve Tek eksenli basınç dayanımı için laboratuvarında bulunan değer alınmıştır. Tüm bu özellikler göz önüne alındıktan sonra temel RMR değeri 50 olarak belirlenmiş ve kaya sınıfı “Orta Kalite” olarak tanımlanmıştır (Şekil 13).

Tünel II. Kısmında çatlak takım sayısı (Jn); üç eklem takımı ve gelişi güzel çatlaklar çatlak pürüzlülük durumu (Jr): Düz dalgalı, çatlak ayrışma durumu (Ja); Siltli veya kumlu kil kaplamaları, yumuşamayan düşük kil oranı, Çatlak Suyu İndirgeme Faktörü (Jw); Orta derecede su gelişi veya basınç, çatlak dolgularının yer yer yıkanması, SRF(Gerilme İndirgeme Faktörü); Orta derecede gerilme gibi faktörler belirlenip ESR değeri ise tünel olduğu için 1 olarak alınmıştır. Puanlama yapıldıktan sonra Q değeri 1,467'olarak belirlenmiştir.. Tünel kazı çapı 12 m olduğu için Q kaya sınıfına göre tünel kayası“ Zayıf kaya” olarak bulunmuştur (Şekil 13).

NATM, RMR ve Q sınıflama sistemleri incelenmiş ve ayrıca Şekil 14'deki tabloyu kullanarak RMR-Q sistemi karşılaştırıldıktan sonra Tünel eksen II. Kesim'in kaya sınıflaması “B3 Taneli” olarak adlandırılmıştır (Şekil 15 ve 16). Tünel güzergahındaki kaya kütlelerinin davranışı, su etkisi, kazı ile destekleme ve desteklemenin zamanlaması belirlenmiştir.



SİLİFKE – MUT ( 1. KISIM ) YOLU KM : 0 + 000 – 16 + 700 ARASI KESİMİNİN YAPIM İŞİ			
T1-A TÜNELİ JEOLOJİK AYNA HARİTASI VE KAYA KLASI SINIFLAMASI			
SAG-SOL TÜP			
Haritalama Km.si	: 9+000-10+100	TARİH	:
		HARİTA NO	: T1-A GST
Açılan tünel kayasının jeomekanik ve mühendislik özelliklerinden yararlanılarak yerinde yapılan gözlemler, sondajlar ve laboratuvarda elde edilen veriler neticesinde RMR ve Q sınıflama sistemleri ile KGM - NATM Uygulamalı Yer altı Tünel İşleri Teknik şartnameye göre ödemeye esas olan ÖNORM B 2203 Ekim 1994 Sonrası Kaya Sınıflandırma Sistemi aşağıda verilmiştir.			
1. RMR (Jeomekanik sınıflama)- Bieniawski Kaya Kalite Sınıflaması			
	Parametre	Açıklamalar	Puan
1	Kaya Malzemesinin Dayanımı, Mpa	25 - 50 Mpa	4,0
2	Kaya Kalite Göstergesi (RQD %)	40	8,0
3	Süreksizlik Aralığı, mm.	60-200 mm	8,0
4	Yeraltısuyu q, lt/dk.	Yok	15
<b>Süreksizlik Koşulu</b>			
5	a Uzunluk (Devamlılık), m.	1-3	4
	b Açıklık, mm.	0,1-1	4
	c Pürüzlülük	Pürüzlü	5
	d Dolgu, mm.	Sert Dolgu <5 mm	4
	e Bozunma	Orta Ayrışmalı	3
6	Süreksizlik Yönelimine Göre Düzeltme	Orta	-5
7	TOPLAM PUAN	50,0	
8	KAYA SINIFI	III Orta Kalitede Kaya	
<b>Kaya Sınıfı Bazı Özellikleri</b>			
9	a Ort. Desteksiz Kalabilme Süresi	5 metre açıklık için 1 hafta	
	b Kaya Kütlelerinin Kohezyonu, kPa	200 - 300	
	c Kaya Kütlelerinin İçsel Sürtünme Açısı, derece	25 - 35	
	d Destek Basıncı, kPa, $P = ((100 \cdot RMR) / 100) \cdot \gamma \cdot BS$	175,50 kPa	
10	<b>RMR DESTEK TİPİ</b> ( Önorm B 2203 1994 Ekim Sonrası)	<b>B3 TANELİ</b>	
<i>γ: Kayanın birim hacim ağırlığı; B: Tünel genişliği; S: Gerilme faktörü</i>			

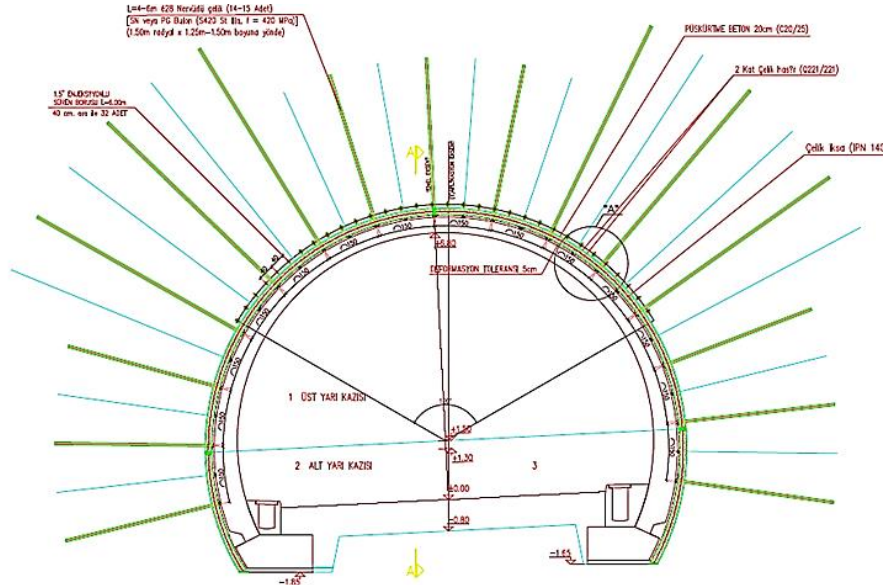
Şekil 13. Tünel eksenli II. Kesim km: 9+000-10+100 için RMR kaya kütle sınıflaması puanlaması

SİLİFKE – MUT ( 1. KISIM ) YOLU KM : 0 + 000 – 16 + 700 ARASI KESİMİNİN YAPIM İŞİ									
T1-A TÜNELİ JEOLOJİK AYNA HARİTASI VE KAYA KLASI SINIFLAMASI									
SAG-SOL TUP GİRİŞ									
Haritalama Km.si : 9+000-10+100					TARİH : HARİTA NO : T1-A GST				
<b>2. Q (Jeomekanik sınıflama)- Barton Kaya Kalite Sınıflaması</b>									
		Parametre			Açıklamalar			Puan	
1	RQD	Kaya Kalitesi Tanımı (%)						40	
2	Jn	Çatlak Takım Sayısı*			üç çatlak sistemi ve gelişigüzel çatlaklar			12	
3	Jr	Çatlak Pürüzlülük Durumu			Düz dalgalı			2	
4	Ja	Çatlak Ayrışma Durumu			Siltli veya kumlu kil kaplamaları, yumuşamayan düşük kil oram			3	
5	Jw	Çatlak Suyu İndirgeme Faktörü			Orta derecede su gelişi veya basınç, çatlak dolgularının yer yer yıkanması			0,66	
6	SRF	Gerilme İndirgeme Faktörü			Orta derecede gerilme			1	
7	ESR	Kazı Türü-Tüneller için						1	
* Tünelin Portal kesiminde Jn x 2 değerleri alınır.									
FORMÜL $Q = \frac{RQD}{Jn} \times \frac{Jr}{Ja} \times \frac{Jw}{SRF} = 1,467$									
Kazı Çapı 12 m.									
A	Blok Büyüklüğü		RQD / Jn	3,33	E	Desteksiz Açıklık, Bmax	$2(ESR) \times Q^{-0.4}$	2,3311	
B	Blok İç Dayanımı		Jr / Ja	0,67	F	Tavan Destek Basıncı, Ptavan, MPa	$2/3r \times Q^{-1/3}$	0,2273	
C	Etkin Gerilme Koşulu		Jw / SRF	0,66	F*	Tavan Destek Basıncı, Ptavan, MPa	$(2Ja^{-0.5} \times Q^{-1/3}) / 3 \times Jr$	1,0497	
					G	Eşdeğer Boyut , De	$(Kazı Çapı / ESR)$	12	
H	Q DESTEK TİPİ (Önorm B 2203 1994 Ekim Sonrası)			B3 TANELİ		*Eklem sisteminin sayısı üçten az ise bu eşitlik kullanılacaktır.			
<b>3. Q indeksi ve RMR değerine göre kazı sınıfı (ÖNORM B 2203 Ekim 1994 Sonrası)</b>									
Kazı Sınıfı		B3 TANELİ							
<b>5. Tünel Destek Tipi</b>									
Destek Tipi		B3 destek sınıfı uygulanacaktır.							
NOT: Zeminde gözlenen değişiklikler Mühendise iletilecek gerektiğinde kaya sınıflaması yeniden oluşturulacaktır.									

Şekil 14. Tünel eksenii II. Kesim km:9+000-10+100 için Q kaya kütle sınıflaması puanlaması

MIKM VADAR	1 A	2 B	C	C	3 E	F	G	4 H
1994 NATM Ö-NORM B2203 1983	A1 1 SAĞLAM	A2 2 ZAMANLA KIRILGAN	B1 3 AZ KIRILGAN	B2 4 KIRILGAN ya ya AZ KIRILGAN	B3 5 ÇOK KIRILGAN veya BASKILI	C1 6 ÇOK BASKILI	C2 7 AKICI	C3 8 AKICI
NATM ESKİ	I SAĞLAM	ZAMANLA AZ KAVLAKLANAN	II KIRILGAN	III ÇOK KIRILGAN	IV BASKILI	V ÇOK BASKILI	VI ÖZEL HAL	
Q BARTON	ÇOK MÜKEMMEL	100 MÜKEMMEL	100 ÇOK İYİ	40 İYİ	10 ORTA	4 1	0.1 KÖTÜ	0.0001
RMR CSIRO BIENIAWSKI	100 ÇOK İYİ	1 İYİ	80 İYİ	2 60 ORTA	3 40 KÖTÜ	4 20 ÇOK KÖTÜ	5	
TERZAGHI YENİ (ROSE)	N=0							
ESKİ Hp	0	0.0-15B 0.15-0.25 B	0.25-0.35(B+H) 0.35-0.75 (B+H)	0.75-1.1(B+H) 1-1.2(B+H)	2.1-4.5 (B+H)	4-5 (B+H) 75m	75m	AKICI
RQD DEER	90 ÇOK İYİ	75 İYİ	50 ORTA	25 ZAYIF	0 ÇOK ZAYIF			

Şekil 15. Tünel eksenli II.kesim için farklı kaya kütle sınıflamalarının karşılaştırılması



Şekil 16. Tünel eksenli II. Kesimde uygulanan B3 klasındaki destek sistemi

Yukarıda RMR ve Q değerleri belirlendikten sonra kaya kütlelerine ait GSI puanı hesaplanmıştır (Sönmez ve Ulusay, 2002; Hoek ve Brown, 1980a; Hoek ve Brown, 1980b). Bu amaçla yapılan hesaplamalar aşağıda gösterilmiştir.

$$RQD = 115 - 3.3J_v$$

$$40 = 115 - 3,3 \cdot J_v$$

$$J_v = 21,21$$

$$SCR = R_r (\text{pürüzlü}) + R_w (\text{orta ayrılmış}) + R_f (\text{sert dolgu} < 5\text{mm})$$

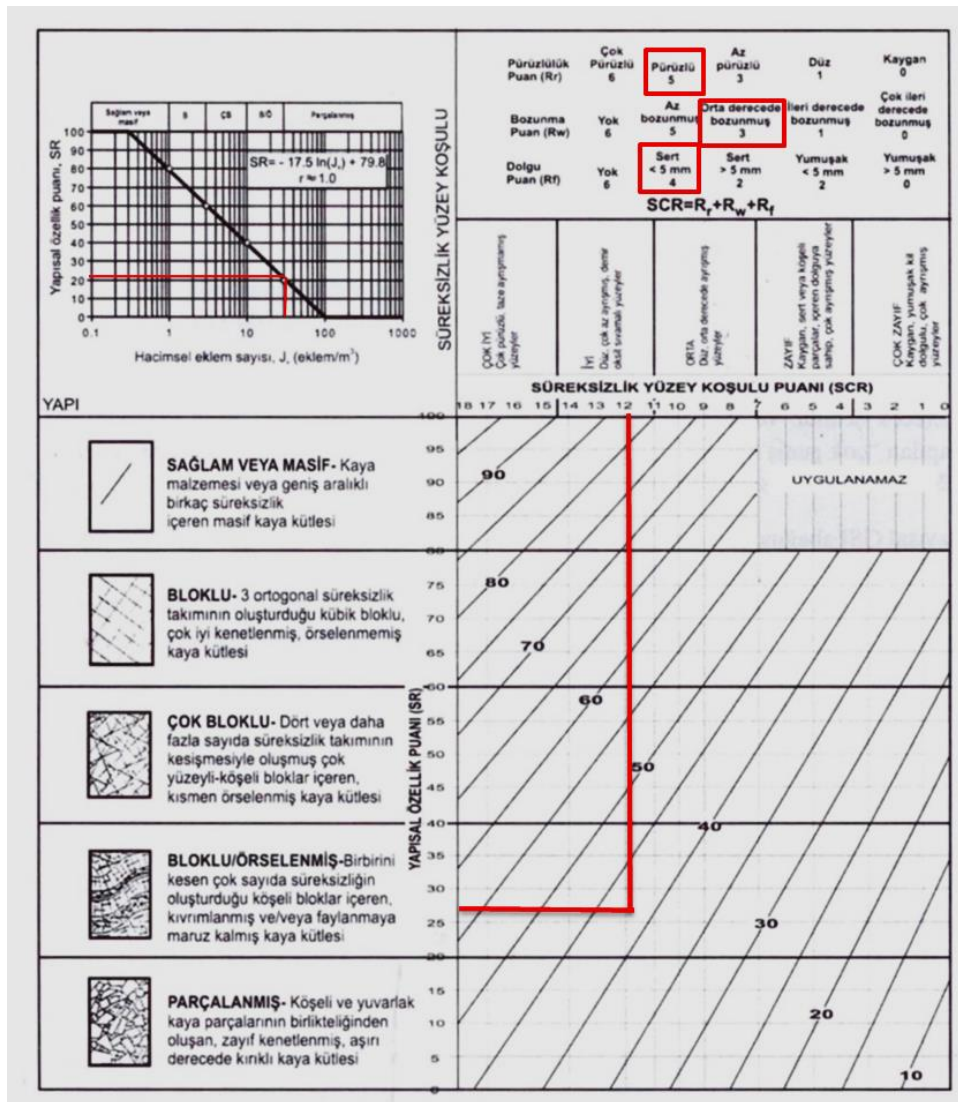
$$SCR = 4 + 3 + 5 = 12$$

$$SR = -17,5 \times \ln J_v + 79,8$$

$$SR = -17,5 \times \ln 21,21 + 79,8$$

SR = 26,34 yaklaşık olarak bulunmuştur.

Bu değerlere göre GSI değeri 43 olarak tespit edilmiştir (Şekil 17).



Şekil 17. Tünel Eksenii II. kesim için Sönmez ve Ulusay (1999) tarafından önerilen modifiye edilmiş GSI sistemi

Hoek Brown yenilme kriterine göre kaya kütlesi dayanım özellikleri her bir sondajdan elde edilen verilerden ve rocklab programından yararlanılarak belirlenmiştir. Tünel kazısı delme-patlatma ile yapılacağından örselenme faktörü (D) 0.5 alınmıştır. Ortalama tek eksenli sıkışma dayanımı değeri 37 MPa alınmıştır. mi değeri. Hoek ve Diederichs (2006) tarafından önerilen çizelgeden yararlanılarak 17 alınmıştır.

### **Tünel Eksen III. Kesim (km: 10+100-11+245) Değerlendirilmesi**

Bu km'ler arasında genel olarak marn - kumtaşı ardalanmasından oluşan birimler gözlenmiştir. Tünel eksen III. Kesim bölgesi altında topografyanın elverişli olduğu bölgelerden yapılan sondajdan elde edilen karot numuneleri ve tünel aynaları incelendiğinde; RMR için dolgu durumu sert dolgu <5 mm olarak tanımlanmıştır. Süreksizlik aralığı genel olarak farklı değerler sunmaktadır. Süreksizlik aralığı<6cm, süreksizlik uzunluğunun 1-3 m, süreksizlik açıklığının 0,1-1 mm arası olduğu belirlenmiştir. Kaya kalite göstergesi (RQD) ve Tek eksenli basınç dayanımı için laboratuvarda bulunan değer alınmıştır. Tüm bu özellikler göz önüne alınıp Şekil 18'da puanlama yapıldıktan sonra temel RMR değeri 57 olarak belirlenmiş ve kaya sınıfı "Orta Kalite Kaya" olarak tanımlanmıştır (Şekil 18).

Tünel III. Kısımında çatlak takım sayısı(Jv); üç eklem takımı ve gelişi güzel çatlaklar çatlak pürüzlülük durumu (Jr); Pürüzlü ya da düzensiz, düzlemsel, çatlak ayrışma durumu (Ja); siltli veya kumlu kil kaplamaları, yumuşamayan düşük kil oranı, Çatlak Suyu İndirgeme Faktörü (Jw); Kuru Kazılar veya Yer Yer Az Su Geliri, Lokal Olarak 5 lt/dk., <1 kg/cm<sup>2</sup>), SRF (Gerilme İndirgeme Faktörü); Orta derecede gerilme gibi faktörler belirlenip ESR değeri ise tünel olduğu için 1 olarak alınmıştır. Puanlama yapıldıktan sonra Q değeri 3,938'olarak bulunmuştur. Bulunan bu değer kazı çapı 12 m olduğundan tünel kayası Q kaya sınıfına göre " Zayıf kaya" olarak bulunmuştur (Şekil 19).

NATM, RMR ve Q sınıflama sistemlerine göre ve ayrıca Şekil 18'deki tabloyu kullanarak RMR-Q sitemi karşılaştırıldıktan sonra Tünel eksen III. kesimin kaya sınıflaması "B2 Çok

Gevrek” olarak adlandırılmıştır (Şekil 20 ve 21). Tünel güzergahındaki kaya kütlelerinin davranışı, su etkisi, kazı ile destekleme ve desteklemenin zamanlaması belirlenmiştir.

SİLİFKE – MUT ( 1. KISIM ) YOLU KM : 0 + 000 – 16 + 700 ARASI KESİMİNİN YAPIM İŞİ				
T1-A TÜNELİ JEOLojİK AYNA HARİTASI VE KAYA KLASI SINIFLAMASI				
SAĞ-SOL TÜP				
Haritalama Km.si	: 10+100-11+245	TARİH	:	
		HARİTA NO	:	T1-A GST
Açılan tünel kayasının jeomekanik ve mühendislik özelliklerinden yararlanılarak yerinde yapılan gözlemler, sondajlar ve laboratuarda elde edilen veriler neticesinde RMR ve Q sınıflama sistemleri ile KGM - NATM Uygulamalı Yer altı Tünel İşleri Teknik şartnameye göre ödemeye esas olan ÖNORM B 2203 Ekim 1994 Sonrası Kaya Sınıflandırma Sistemi aşağıda verilmiştir.				
1. RMR (Jeomekanik sınıflama)- Bieniawski Kaya Kalite Sınıflaması				
Parametre	Açıklamalar			Puan
1	Kaya Malzemesinin Dayanımı, Mpa	25 - 50 Mpa		4,0
2	Kaya Kalite Göstergesi (RQD %)	63		13,0
3	Süreksizlik Aralığı, mm.	60-200 mm		8,0
4	Yeraltısuyu q, lt/dk.	Yok		15
Süreksizlik Koşulu				
5	a	Uzunluk (Devamlılık), m.	1-3	4
	b	Açıklık, mm.	0,1-1	4
	c	Pürüzlülük	Pürüzlü	5
	d	Dolgu, mm.	Sert Dolgu <5 mm	4
	e	Bozunma	Az Ayrışmalı	5
6	Süreksizlik Yönelimine Göre Düzeltme	Orta		-5
7	TOPLAM PUAN	57,0		
8	KAYA SINIFI	III Orta Kalitede Kaya		
Kaya Sınıfı Bazı Özellikleri				
9	a	Ort. Desteksiz Kalabilme Süresi	5 metre açıklık için 1 hafta	
	b	Kaya Kütlelerinin Kohezyonu, kPa	200 - 300	
	c	Kaya Kütlelerinin İçsel Sürtünme Açısı, derece	25 - 35	
	d	Destek Basıncı, kPa, $P = ((100 - RMR) / 100) \cdot \gamma \cdot BS$	150,93 kPa	
10	RMR DESTEK TİPİ (Ön norm B 2203 1994 Ekim Sonrası)	B2 ÇOK GEVREK		
$\gamma$ : Kayanın birim hacim ağırlığı; B: Tünel genişliği; S: Gerilme faktörü				

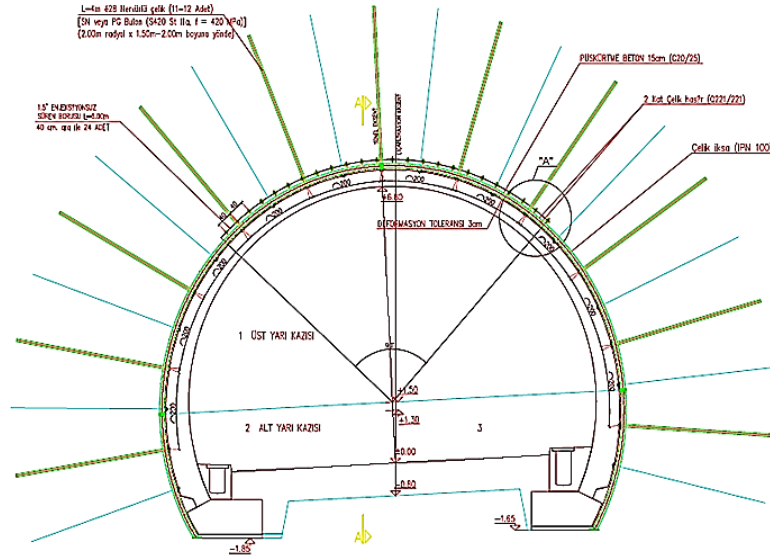
Şekil 18. Tünel eksen III. Kesim km: 10+100-11+245 için RMR kaya kütle sınıflaması puanlaması

SİLİFKE – MUT ( 1. KISIM ) YOLU KM : 0 + 000 – 16 + 700 ARASI KESİMİNİN YAPIM İŞİ									
T1-A TÜNELİ JEOLOJİK AYNA HARİTASI VE KAYA KLASI SINIFLAMASI									
SAG-SOL TUP GIRIŞ									
Haritalama Km.si : 10+100-11+245					TARİH : HARİTA NO : T1-A GST				
<b>2. Q (Jeomekanik sınıflama)- Barton Kaya Kalite Sınıflaması</b>									
		Parametre			Açıklamalar			Puan	
1	RQD	Kaya Kalitesi Tanımı (%)						63	
2	Jn	Çatlak Takım Sayısı*			üç çatlak sistemi ve gelişigüzel çatlaklar			12	
3	Jr	Çatlak Pürüzlülük Durumu			Pürüzlü ya da düzensiz, düzensel			1,5	
4	Ja	Çatlak Ayrışma Durumu			siltli veya kumlu kil kaplamaları, yumuşamayan düşük kil oranı			2	
5	Jw	Çatlak Suyu İndirgeme Faktörü			Kuru Kazılar veya Yer Yer Az Su Geliri, Lokal Olarak 5 lt/dk., <1 kg/cm2)			1	
6	SRF	Gerilme İndirgeme Faktörü			Orta derecede gerilme			1	
7	ESR	Kazı Türü-Tüneller için						1	
* Tünelin Portal kesiminde Jn x 2 değerleri alınır.									
FORMÜL $Q = \frac{RQD}{Jn} \times \frac{Jr}{Ja} \times \frac{Jw}{SRF} = 3,938$									
Kazı Çapı 12 m.									
A	Blok Büyüklüğü		RQD / Jn	5,25	E	Desteksiz Açıklık, Bmax	$2(ESR) \times Q^{-0.4}$	3,4603	
B	Blok İç Dayanımı		Jr / Ja	0,75	F	Tavan Destek Basıncı, Ptavan, MPa	$2/Jr \times Q^{-1/3}$	0,1129	
C	Etkin Gerilme Koşulu		Jw / SRF	1,00	F*	Tavan Destek Basıncı, Ptavan, MPa	$(2Jw^{0.5} \times Q^{-1/3}) / 3 \times Jr$	0,2933	
					G	Eşdeğer Boyut , De	(Kazı Çapı / ESR)	12	
H	Q DESTEK TİPİ (Önöm B 2203 1994 Ekim Sonrası)			B2 ÇOK GEVREK		*Eklem sisteminin sayısı üçten az ise bu eşitlik kullanılacaktır.			
<b>3. Q indeksi ve RMR değerine göre kazı sınıfı (ÖNORM B 2203 Ekim 1994 Sonrası)</b>									
Kazı Sınıfı		B2 ÇOK GEVREK							
<b>4. Tünel Destek Tipi</b>									
Destek Tipi		B2 destek sınıfı uygulanacaktır.							
NOT: Zeminde gözlenen değişiklikler Mühendise iletilecek gerektiğinde kaya sınıflaması yeniden oluşturulacaktır.									

Şekil 19. Tünel eksen III. Kesim km:-10+100+11+245 için Q kaya kütle sınıflaması puanlaması

MJKM VADAR	1	A	B	C	C	E	F	G	4	H	
1994 NATM	A1	A2	B1	B2	B3	C1	C2	C3	C4	C5	
Ö-NORM B2203 1983	1 SAĞLAM	2 ZAMANLA KIRILGAN	3 AZ KIRILGAN	4 KIRILGAN veya AZ KIRILGAN	5 ÇOK KIRILGAN veya BASKILI	6 ÇOK BASKILI	7 AKICI				
NATM ESKİ	I SAĞLAM	ZAMANLA AZ KAVLAQLANAN	II KIRILGAN	III ÇOK KIRILGAN	IV BASKILI	V ÇOK BASKILI	VI ÖZEL HAL				
Q BARTON	ÇOK MÜKEMMEL	100 MÜKEMMEL	100 ÇOK İYİ	40 İYİ	10 ORTA	4	1	0.1	0.0001		
RMR CSIRO BIENIAWSKI	100	1	80	2	60	3	40	4	20	5	
		ÇOK İYİ		İYİ		ORTA		KÖTÜ		ÇOK KÖTÜ	
TERZAGHI YENİ (ROSE)	N=0										
ESKİ Hp	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
	0	0.0-15B	0.25-0.35(B+H)	0.35-0.75 (B+H)	0.75-1.1(B+H)	1-1.2(B+H)	2.1-4.5 (B+H)	4-5 (B+H)	75m	AKICI	
RQD DEER	90	75	50				25		0		
	ÇOK İYİ	İYİ	ORTA				ZAYIF		ÇOK ZAYIF		

Şekil 20. Tünel eksenli III. Kesim için farklı kaya kütle sınıflamalarının karşılaştırılması



Şekil 21. Tünel eksenli III. Kesimde uygulanan projedeki B2 klasındaki destek sistemi

Yukarıda RMR ve Q değerleri belirlendikten sonra kaya kütlelerine ait GSI puanı hesaplanmıştır (Sönmez ve Ulusay, 2002; Hoek ve Brown, 1980a; Hoek ve Brown, 1980b). Bu amaçla yapılan hesaplamalar aşağıda gösterilmiştir.

$$RQD = 115 - 3,3 \cdot J_v$$

$$63 = 115 - 3,3 \cdot J_v$$



$$J_v = 15,76$$

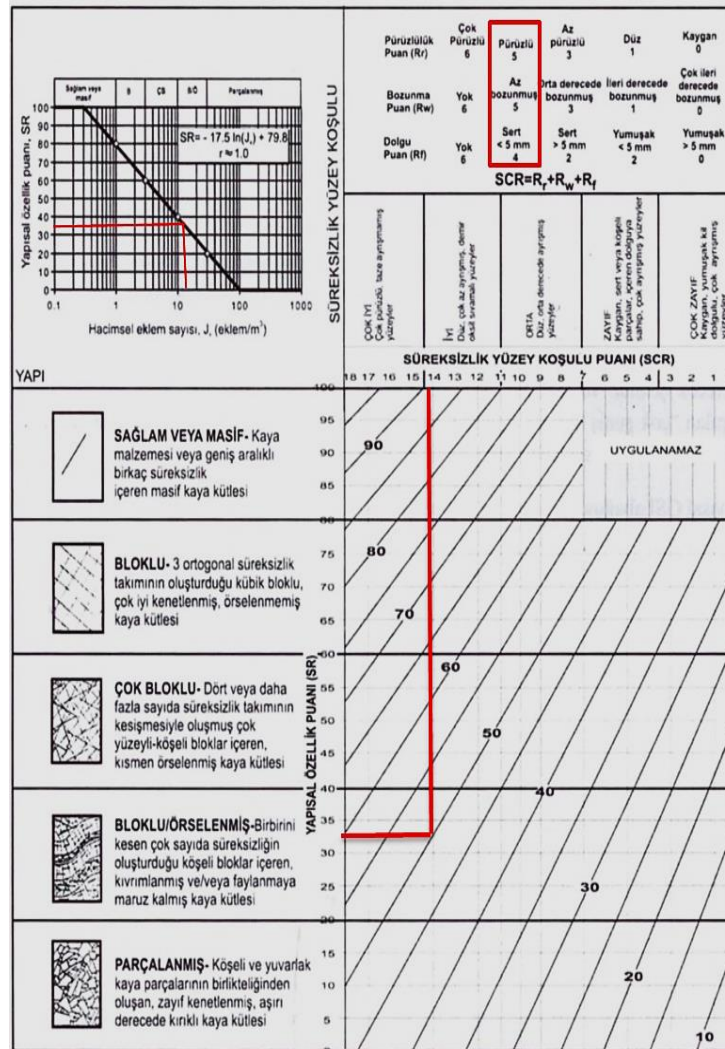
$$SCR = R_r (\text{pürüzlü}) + R_w (\text{az ayrılmış}) + R_f (\text{sert dolgu} < 5\text{mm})$$

$$SCR = 5 + 5 + 4 = 14$$

$$SR = -17,5 \times \ln J_v + 79,8$$

SR = 31,55 yaklaşık olarak bulunmuştur.

Hoek Brown yenilme kriterine göre kaya kütlesi dayanım özellikleri her bir sondajdan elde edilen verilerden ve rocklab programından yararlanılarak belirlenmiştir. Yerinde yapılan incelemeler, gözlemler ve hesaplamalar sonucunda GSI değeri 50 olarak hesaplanmıştır (Şekil 22). Temel kazısı delme-patlatma yöntemi ile yapılacağından örselenme faktörü (D) 0.5 alınmıştır. Ortalama tek eksenli sıkışma dayanımı değeri 49 MPa alınmıştır. mi değeri. Hoek ve Diederichs (2006) tarafından önerilen çizelgeden yararlanılarak 9 alınmıştır.



**Şekil 22.** Tünel eksenini III. kesim için Sönmez ve Ulusay (1999) tarafından önerilen modifiye edilmiş GSI sistemi

## SONUÇ VE ÖNERİLER

1. T1-A tüneli güzergahındaki kayaçların mühendislik özellikleri incelenerek, tünel kesiti üç kesime ayrılmış ve tünel eksenini I, tünel eksenini II, tünel eksenini III altında incelenmiştir. RMR, Q ve NATM destek sınıfına göre C2, B3, B2 sınıfları belirlenmiş ve bu sınıflara göre destekleme sistemleri uygulanması önerilmiştir.
2. T1-A tüneline, I. kesim için kayaçların mühendislik özellikleri ve laboratuvarından elde edilen sonuçlar incelenerek RMR=28, Q=0,708, RQD=34, UCS=27 MPa, jeoloji dayanım indeksi GSI=28, Hoek Brown yenilme kriterlerinden  $E_m=88,35$  MPa bulunmuştur. RMR, Q ve NATM kaya kütle sınıflaması ve ayna haritalanması yapıldıktan sonra kayacın belirlenen sınıfı C2'dir. Tünel içerisindeki destekleme sisteminde 200 mm NPI profil iksa, ilerleme boyu 1,00 m, Q 221/221 çift kat çelik hasır, 22-23 adet enjeksiyonlu 6m SN bulon, 2 inç kalınlığında 32 adet enjeksiyonlu boru süren ve püskürtme beton kullanılması uygun görülmüştür.
3. T1-A tüneline, II. kesim için kayaçların mühendislik özellikleri ve laboratuvarından elde edilen sonuçlar incelenerek RMR=50, Q=1,467, RQD=40, UCS=37 MPa, jeoloji dayanım indeksi GSI=43, Hoek Brown yenilme kriterlerinden  $E_m=187,39$  MPa bulunmuştur. RMR, Q ve NATM kaya kütle sınıflaması ve ayna haritalanması yapıldıktan sonra kayacın belirlenen sınıfı B3'tür. Tünel içerisindeki destekleme sisteminde 140 mm NPI profil iksa, ilerleme boyu 1,25-1,50 m, Q 221/21 çift kat çelik hasır, 1,5 inç kalınlığında 32 adet enjeksiyonlu boru süren, tabanlar ve eksen kısmında 4m, omuzlarda 6m olmak üzere 14-15 adet enjeksiyonlu SN bulon ve püskürtme beton kullanımı uygun görülmüştür.
4. T1-A tüneline, tünel eksenini III. kesim için kayaçların mühendislik özellikleri ve laboratuvarından elde edilen sonuçlar incelenerek RMR=57, Q=3,938, RQD=63, UCS=49 MPa, jeoloji dayanım indeksleri GSI=50, Hoek Brown yenilme kriterleri  $E_m=267,43$  MPa hesaplanmıştır. RMR, Q ve NATM kaya kütle sınıflaması ve ayna haritalanması yapıldıktan sonra kayacın belirlenen sınıfı B2'dir. Fakat çıkış portalinden itibaren 110 m B2 sınıfında olmasına rağmen ayna daha güvenli olsun diye B3 sınıfında geçilmiştir. Tünel

içerisindeki destekleme sisteminde 120 mm NPI profil iksa, ilerleme boyu 1,5-2m, Q 221/221 çift kat çelik hasır, 11-12 adet 4m enjeksiyonlu SN bulon ve püskürtme beton kullanımı uygun görülmüştür.

5. Ampirik olarak yapılan kaya kütle sınıflamaları ve önerilen kazı destek yöntemleri, uygulama sırasında karşılaşılabilecek olumsuz koşullar karşısında tekrar jeolojik-jeoteknik çalışmalar yapılarak destek tasarımlarında değişikliğe gidilebilecektir.
6. Yapım aşamasında düzenli ve sürekli olarak ayna haritalanmaları yapılmalı ve sürekli deformasyon ölçümleri yapılarak tünel içerisindeki davranışlar belirlenmeli ve ona göre tedbirler alınmalıdır.

## KAYNAKLAR

- Akarsu, İ., 1960, Mut Bölgesinin jeolojisi. Maden Tetkik Arama Enst. Dergi. No. 54, s. 36-45
- Barton, N., Lien, R., 1974, Engineering Classifications of Rock Masses for the Design of Tunnel Support, Rock Mechanics 6:189-239.
- Barton, N., 1976, Recent Experiences with the Q-System for Tunnel Support, Proceeding of the Symposium Explorations for Rock Engineering 1:107-114.
- Barton, N., 1976, The Shear Strength of Rocks and Rock Joints, International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences and Geomechanics Abstracts, 13:255-279
- Barton, N.R., 2002. Some New Q-value Correlations to Assist in Site Characterization and Tunnel Design. International Journal of Rock Mechanics Mining Sciences 39 (2), 185-216.
- Bieniawski, T., 1973, Engineering Classifications of Jointed Rock Masses, Transaction of South African Institution of Civil Engineering, 15:335.
- Bieniawski, T., 1989, Engineering Rock Mass Classifications, John Wiley and Sons, 237.
- Bizon, G.; Bizon. J. J.; Feinberg. H. ve Öztemur, E., 1974, Antalya, Mut, Adana havzaları Tersiyer biyostratigrafisi ve mikropaleontolojisi yenilikleri: Türkiye ikinci Petrol Kongresi Tebliğleri, 217-218, Ankara.
- Çetinkaya, M. 2022. Silifke –Mut (Mersin) Karayolu T1-A Tünelinin Jeoteknik Değerlendirilmesi. Ç.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, 93 s. ADANA.

- Deere, D.U., Miller, R.P., 1966. "Engineering Classification And Index Properties For Intact Rock", Tech.Rept. No AFWL-65-116, Air Force Base, New Mexico.
- Demirtaşlı, E., 1973, Bolkar dağlarının jeolojisi Cumhuriyetin 50. Yılı Yerbilimleri Kongresi Teb., s. 42J.57
- Demirtaşlı, E., 1984, Stratigraphy and tectonics of the area between Silifke and Anamur, Central Taurus Mountains, Geology of the Taurus Belt, Inter. Symp., 125-142, Ankara
- Gedik, A., Birgili, Ş., Yılmaz, H. ve Yoldaş, R., 1979: Mut-Ermenek-Silifke yöresinin jeolojisi ve petrol olanakları, Türkiye Jeol. Kur. Bülteni, C.22, s.7-26, Ankara.
- Gökten, E., 1976, Silifke yöresinin temel kaya birimleri ve Miyosen stratigrafisi Türkiye Jeol. Kur. Bült, 19, 2, s. 117-126.
- Grimstad, E., Barton, N., 1993, Updating the Q-System for NTM, Proceeing of the International Symposium Concrete-Modern Use of Wet Mix Sprayed Concrete for Underground Support, Norveç
- Hoek, E. & Brown, E.T., 1980, a) Underground excavations in rock. London, Inst. Min. Metall.
- Hoek, E. & Brown, E.T., 1980, b) Empirical strength criterion for rock masses. J.Geotech Eng. Div., ASCE, 106 (GT 9), 1013-1035
- Hoek, E., Diederichs, M.S., 2006. Empirical estimation of rock mass modulus. International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences, 43. 203-215.
- ISRM, 1981. Rock characterization, testing and monitoring. In: Brown, E.T. (Ed.), International Society for Rock Mechanics (ISRM) Suggested Methods. Pergamon, Oxford. 211 pp..
- Karayolları Teknik Şartnamesi, 2013. Karayolları Genel Müdürlüğü. Ankara.
- Korkmaz, S., ve Gedik, A., 1990, Mut-Ermenek-Silifke (Konya-Mersin.) havzasında ana kaya fasiyesi ve petrol oluşumunun organik jeokimyasal yöntemlerle incelenmesi, Türkiye Jeoloji Bülteni, 33, 29-37. Mühendisleri Odası Yayınları, No:60, Ankara.
- Nieoff, W., 1960, Mut 126/1 numaralı harita paftasının revizyon neticeleri hakkında rapor. Maden Tetkik Arama Enst. Der. Rap. No. 3390
- Özer, B., Duval, B.B., Courrier, P. ve Letouzey, J., 1974. Antalya-Mut-Adana Neojen havzaları jeolojisi. Türkiye 2. Petrol Kongresi Bildiriler Kitabı, 57-81.
- Özgül, N., 1971, Orta Torosların kuzey kesiminin yapısal gelişiminde blok hareketlerinin Türkiye Jeol. Kur. Bült. 14, 75-87.
- Rabcewicz, L., 1964. The New Austrian Tunneling Method, Water Power, 453-457.

Sezer, S., 1970, The Miocene stratigraphy of Mut region, southern Turkey (Doktora tezi).

Birkbeck college London University.

Terzaghi K., 1946. Introduction to Tunnel Geology. Rock tunneling with steel supports.

Ulusay ve Sönmez, 2002, Kaya Kütlelerinin Mühendislik Özellikleri, Jeoloji