

Anamur-Kaledran Arası (Mersin) T5 Tünelinin Kaya Kütle Sınıflaması

Mehmet AYDOĞDU¹, ORCID 0000-0002-2305-8585
Sedat TÜRKMEN*¹, ORCID 0000-0002-9867-5545

¹Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Adana

Geliş tarihi: 04.01.2023 Kabul tarihi: 28.03.2023

Atıf şekli/ How to cite: AYDOĞDU, M., TÜRKMEN, S., (2023). Anamur-Kaledran Arası (Mersin) T5 Tünelinin Kaya Kütle Sınıflaması. Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Dergisi, 38(1), 253-263.

Öz

Çalışma, Mersin ile Antalya illeri arasında yapımı süren karayolunun Anamur ilçesi ile Kaledran arasında açılan T5 tünelinin mühendislik jeolojisi özellikleri ve kaya kütle sınıflaması çalışmalarını içermektedir. Anamur-Kaledran arası yol projesinde yeralan T5 tüneli 780 m uzunluğundadır. Bu çalışmada tünel güzergahının jeolojik özelliklerinin araştırılması ve değerlendirilmesiyle tünelde geçilecek birimlerin kaya kütle sınıflamasının yapılması ve kazı – destek yöntemlerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Çalışma alanında Paleozoyik yaşlı metamorfik birimler egemen olup, tünel güzergahı bol eklemli, kırıklı ve çatlaklı Ordovisiyen yaşlı şistlerden oluşmaktadır. Şistler etkin paleotektonizmaya bağlı olarak deformasyona uğramış, parçalı – çok parçalı zonlar içermektedir. Belirlenen mühendislik özelliklerine göre RMR, Q ve NATM kaya sınıflamaları ile tünel güzergahı boyunca altı farklı kaya kütle sınıfı belirlenmiş ve bu gruplara göre kazı destekleme sınıflaması yapılmıştır. Kaya sınıflamaları sonucunda tünelin giriş ve çıkış kesimlerinin zayıf kaya, orta kesimlerinin orta kaya sınıfında olduğu belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Mühendislik Jeolojisi, Tünel, Kaya kütle sınıflaması, RMR, Q Sistemi, NATM

Rock Mass Classification of T5 Tunnel Between Anamur-Kaledran (Mersin)

Abstract

This study includes the Engineering Geology properties and rock mass classification studies of the T5 tunnel opened between Anamur district and Kaledran on the motorway under construction between Mersin and Antalya provinces. The T5 tunnel included in the project is 780 m long. By investigating and evaluating the geological features of the tunnel route, it is aimed to rock mass classification units to be passed in the tunnel and to determine the excavation - support methods. Paleozoic aged metamorphic units are dominant in the study area. The tunnel route consists of heavily jointed, fractured and cracked Ordovician schists. The schists contain fragmented – multi-component zones that have been deformed due to active paleotectonics. Six different rock mass classes were determined along the tunnel route with RMR, Q and NATM rock classifications according to the determined engineering properties, and

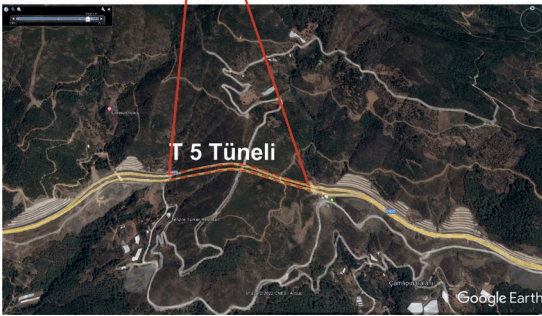
*Sorumlu yazar (Corresponding author): Sedat TÜRKMEN, sturkmen@cu.edu.tr

excavation support classification was made according to these groups. As a result of the rock classifications, it was determined that the entrance and exit sections of the tunnel were in the weak rock class, and the middle sections were in the middle rock class.

Key Words :Engineering Geology, Tunnel, Rock mass clasification, RMR, Q System, NATM

1. GİRİŞ

Bu çalışma, Mersin-Antalya arasında yapımı devam etmekte olan yol projesinin, Mersin ili Anamur ilçesi ile Kaledran arasında yer alan T5 olarak adlandırılan tünel güzergahı ve çevresinde yer alan kayaların kaya kütle özelliklerini belirlemeyi ve tünel kazı ve destekleme açısından kaya kütle sınıflaması belirlemeyi amaçlanmaktadır (Şekil 1).



Şekil 1. Çalışma alanı konum haritası (Google Earth, 2017)

Karayolu inşaatının Anamur-Kaledran arası planlanan karayolu projesi toplam 39 km uzunluğunda bir proje olup, T 5 Tüneli yaklaşık 780 m uzunluğundadır. Proje kapsamında Km: 224+765 – 225+560 arası gidişli gelişli çift tünel ile geçilmektedir. Tünel topografik şartlardan

dolayı mevcut karayolunun sağ tarafında kalmaktadır. Söz konusu karayolu projesi, Akdeniz bölgesinde Adana, Mersin ve Antalya illerini birbirine bağlayan önemli bir hatır [1].

Mersin ve Antalya önemli bir turizm altyapısına sahip iller olmalarının yanında aynı zamanda Akdeniz iklim koşulları açısından zengin tarım ürünlerine yetiştirilen önemli bir bölgedir. Yetiştirilen ürünlerin ülkenin diğer tüketim merkezlerine ulaştırılması gerekliliği, yolun önemini arttırmaktadır. Uzun yıllar hizmet veren Silifke – Anamur – Gazipaşa yolu, topoğrafyanın çok engebeli olmasına bağlı olarak alt yapı bakımından standartı düşük ve kullanıcılar açısından sıkıntılı bir güzergahı oluşturmaktadır. Proje, Mersin ve Antalya'nın kıydan standardı yüksek bir yolla birbirine bağlanmasını amaçlamaktadır. Proje ile ulaşım rahatlayacak ve yol standartı yükselecektir.

2. BÖLGESEL JEOLJİ

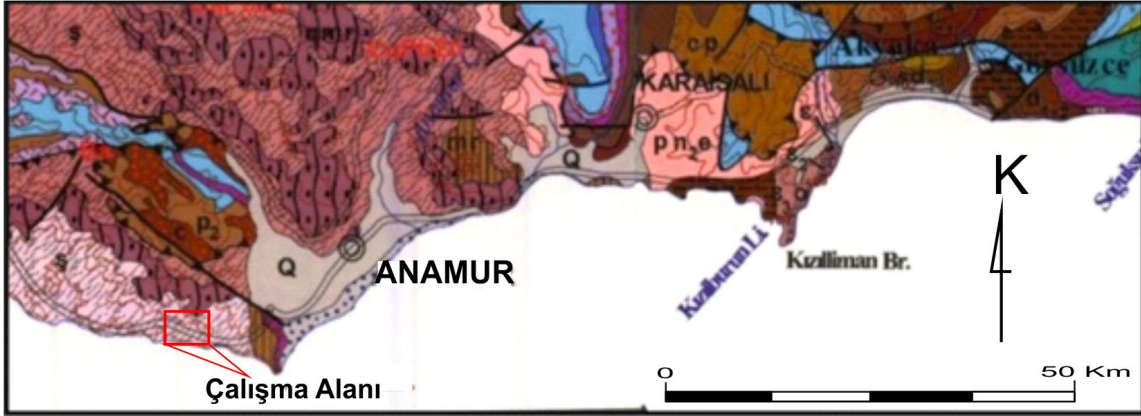
Anamur-Alanya yöresinde önceki çalışmalarda adlandırılan ve birlik olarak ayırtılan jeolojik birimler yüzeylenmektedir. Proje ve çevresinde Alanya Birliği olarak adlandırılan birimler mostra vermektedir. Birliğin adı, mostranın en iyi izlendiği Alanya ilçesinden alınmıştır [2,3]. Alanya birliği çoğunlukla metamorfik birimleri, mermer ve yeşil şistleri kapsar. Tipik yüzeylenmeler Gündoğmuş (Antalya), Alanya, Anamur bölgesinde izlenir (Şekil 2). Çalışma alanı ve çevresinde yüzeyleyen birimlerin ayırtman özellikleri, yaygın olarak Permien, Triyas ve erken Tersiyer yaşındaki birimleri içermesidir. Proje ve çevresinde Mesozoyik yaşlı birimlere rastlanılmamıştır. Metamorfizmanın etkin olduğu Permien ve Triyas yaşlı mermer ve yeşil şistler egemen kayaları oluşturur. Tersiyere ait kaya birimleri ise transgresiftir ve metamorfizma göstermezler [2-6].

3. ARAŞTIRMA BULGULARI

3.1. Tünel Güzergahının Jeolojisi

Anamur-Alanya arasında yaygın olarak Alanya Birliği üyelerine ait birimler görülmektedir.

Başlıca Paleozoyik ve Mesozoyik yaşlı mermer ve yeşil şistleri birimleri kapsar. Alanya, Anamur bölgesinde yüzeyleyen bu birimler Blumenthal, [2] tarafından Alanya Masifi adı altında incelenmiştir.



Şekil 2. Anamur ve Çevresinin 1/50000 Ölçekli Jeoloji Haritası [7]

Anamur-Kaledran arasında yer alan T5 tünel güzergahı önceki çalışmalarda değişik araştırmacılar tarafından Çakmak formasyonu olarak adlandırılan şist birimlerden oluşur. Yapılan arazi çalışmaları ve sondajlardan elde edilen veriler ve önceki çalışmalarda yapılan yaşlandırmalarda Çakmak formasyonunun yaşı Ordovisiyen olarak belirlenmiştir [5], (Şekil 3-6).



Şekil 3. Tüneli giriş portal kesim (Mersin – Anamur Yönü)

Anamur ve civarında yüzeyleyen metamorfik birimler, koyu yeşilimsi-sarı renkli, ince dokulu, gevrek, kırılğan, ince tabakalı, foliasyonlu, mikalı, fillatlardan oluşur. Tabaka yüzeylerinde ayrışma özelliği göstermektedir. Çakmak formasyonu içerisinde yer yer yumrulu kireçtaşı ve dolomit düzeyleri izlenir. Bu birimleri Geç Permiyen yaşlı birimler uyumsuz olarak örtmektedir [5]. Tünel güzergahının olduğu yamaçlarında, tünel giriş ve çıkış bölgelerinde birimin çok eklemlili ve kırıklı bir yapı sunduğu dolayısıyla orta-ileri derecede ayrışma gösterirken genel olarak zayıf-orta dayanımlı kaya özelliği göstermektedir (Şekil 4).



Şekil 4. Tünel giriş kesimi ileri derecede eklemlili şistler (Çakmak Fm.)

3.2. Sondajlar Çalışmaları

Tünel güzergahındaki birimlerin tanımlanması, mühendislik jeolojisi ve jeoteknik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla yönelik topografik şartlardan dolayı yalnızca 3 adet sondaj açılabilmiş, ayrıca arazide hat boyunca süreksizlik ölçümleri alınmıştır (Çizelge 1-3). Sondaj çalışmalarda deneylerin doğru sonuç verebilmesi için örneğin tek eksenli basınç dayanımı, elastisite modülü ve poisson oranı tayini gibi deneylerde uygun karot çapı seçilmiştir. Sondajların tamamında wire-line döner sondaj yöntemi ile karot alınmıştır [8,9].

3.3. Jeoteknik Veriler

Arazi çalışmaları ile elde edilen gözlemler, yapılan sondajlar ve laboratuvar test sonuçlarına göre tünel eksenli boyunca yüzeyleyen birimler için aşağıdaki ortalama jeoteknik veriler elde edilmiştir (Çizelge 1). Birimin şist ağırlıklı olması dolayısıyla değerler geniş aralıkta çıkmıştır.

RQD (%)	: 0 -75
Birim Hacm. Ağırlık (gr/cm ³)	: 2,61 - 2,87
Tek Eksn. Sıkışma Dayanımı (MPa)	:22,01 - 103,5
Elastisite Modülü (GPa)	:13,30 - 65,19

Çizelge 1. Deney sonuçları özet çizelgesi

Sondaj no	Sondaj derinliği (m)	Birim hacim ağırlık (gr/cm ³)	Tek eksenli basınç direnci (UCS)(MPa)	Elastisite modülü (E) (GPa)	Poisson oranı	Nokta yük dayanım indeksi (MPa)
SK 1	13,00-13,10					2,25
SK 1	17,50-17,60					3,55
SK 1	22,80-23,00					3,49
SK 1	27,70-27,90	2,61	32,27	22,74	0,19	
SK 1	31,00-31,15					3,84
SK 2	147,80-148,00	2,74	101,46	35,48	0,27	
SK 2	150,30-150,45	2,81	58,28	28,57	0,28	
SK 2	154,00-154,15	2,70	74,02	31,08	0,26	
SK 2	159,10-159,25	2,77	89,99	34,55	0,25	
SK 2	164,60-164,80	2,74	67,45	22,46	0,26	
SK 2	173,70-173,80					1,82
SK 2	187,10-187,30	2,61	32,92	13,03	0,14	
SK 3	12,75-13,00	2,72	39,30	28,41	0,26	
SK 3	17,50-17,90	2,85	59,32	63,88	0,29	
SK 3	24,00-24,30	2,84	21,57	22,59	0,31	
SK 3	34,60-34,90	2,87	54,80	59,40	0,29	
SK 3	37,60-37,90	2,84	57,17	57,67	0,30	
SK 3	42,30-42,50					1,31

3.4. Süreksizlik Ölçümleri

Tünel güzergahı boyunca giriş kesiminde, orta bölümde ve çıkış bölgesinde, kaya kütle parametrelerin belirlenmesi amacıyla, arazide süreksizlik ölçümleri yapılarak, süreksizliklerin özellikleri belirlenmiştir. Tünel giriş bölgesinde, orta (eksen) ve çıkış kesiminde ölçülen süreksizlik değerleri, aşağıda ayrı ayrı sunulmuştur.

Giriş kesimi (Km: 224+800'e Kadar): Tünel girişinde süreksizlik sistemi incelendiğinde klivajlı yapı ile beraber 3 süreksizlik takımının hakim olduğu belirlenmiştir. Sarımsı yeşil - kahverengi şistlerde süreksizlik düzlemlerinde eğim; 25°-35°, eğim yönü; 090°-120° aralığında bir değer gösterir. Bu kesimde kaya kütlesi genellikle çok bozunmuş, zayıf-orta ve düşük dayanımlı bir özellik gösterir. Klivaj düzlemleri dışında izlenen süreksizlik takımının bir tanesinin eğimi 50°-70° arasında,

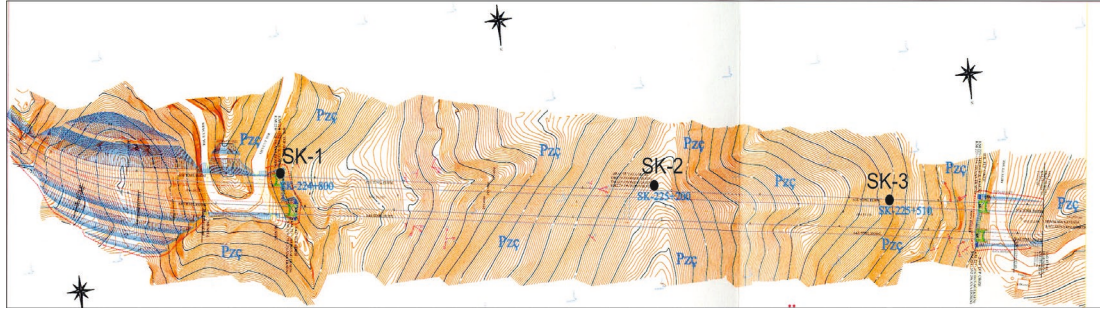
eğim yönü ise, 015°-035° arasında ölçülürken, ikinci süreksizlik takımında ise eğim; 50°-65° arasında, eğim yönüne ise; 100°-120° arasında ölçülmüştür. Eklemler çok sık aralıklı, eklem yüzeyler açık, devamlılığı fazla, düz ve az pürüzlü, kil dolgululu, ileri derecede ayrışmış durumdadır. Bunların dışında farklı eğim ve eğim yönlerine sahip gelişi güzel gelişmiş süreksizliklerde söz konusudur.

Orta Kesim (Km: 224+800-225+530 arası): tünelinin orta kesiminde yapılan gözlemlerde tabakalanma ile birlikte 3 süreksizlik setinin olduğu saptanmıştır. Sarımsı yeşil - kahverengili şistlerde tabakalanmanın eğimi 25°-35°, eğim yönü ise 110°-130° arasındadır. Tünelin orta kesiminde tünel kayası genel olarak az ayrışmış, orta dayanımlı özelliktedir. Belirlenen süreksizlik sistemlerinin bir tanesinin eğimi; 50°-65° arasında, eğim yönü ise 100°-110° arasında ölçülmüş, ikinci süreksizlik takımının eğimi; 40°-55° arasında, eğim yönü ise 340°-355° arasında ölçülmüştür. Eklemler genel olarak sık aralıklı, yüzeyleri açık, orta-

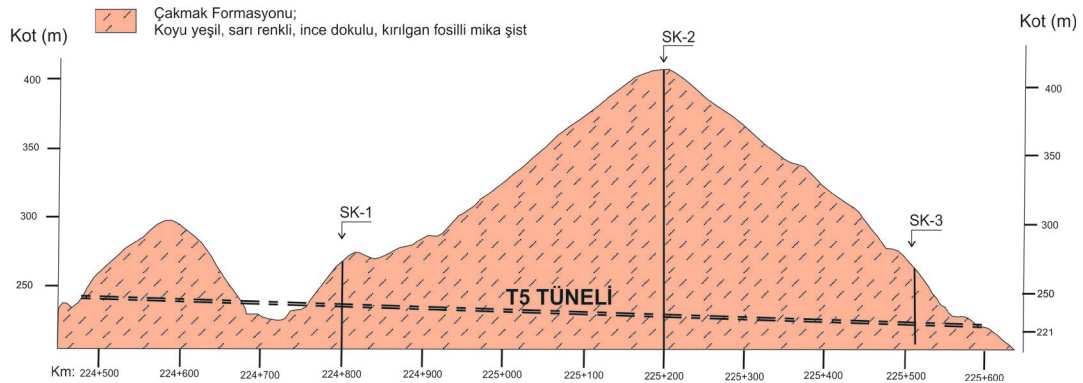
yüksek devamlı, düz ve az pürüzlü, dolgunsuz, oksit sıvalı, az ayrışmış özelliktedir.

Çıkış kesimi (Km: 225+530-Çıkış arası): Tünel çıkışında süreksizlik sistemi incelendiğinde klivajlı yapı ile beraber 3 süreksizlik takımının hakim olduğu belirlenmiştir. Sarımsı yeşil - kahverengi şistlerde süreksizlik düzlemlerinde eğim; 10°-20°, eğim yönü ise 260°-330° aralığındadır. Bu kesimde kaya kütlesi çoğunlukla orta-çok bozunmuş, zayıf-orta dayanımlı özelliktedir. Diğer bir süreksizlik takımında eğim; 60°-80° arasında, eğim yönü ise, 150°-165° arasında, üçüncü süreksizlik takımında eğim; 50°-65° arasında, eğim yönü ise; 065°-080° arasında ölçülmüştür. Süreksizlikler genel olarak sık aralıklı, yüzeyleri açık, devamlı, ve düz - az pürüzlü, dolgunsuzdur. Bunların dışında farklı eğim ve eğim yönlerinde düzensiz gelişmiş süreksizliklerde söz konusudur.

Genel olarak tünelin giriş ve çıkış kesimlerinde kırıklı ve çatlaklı yapının hakim olduğu ve ayrışmanın fazlaştığı gözlenmiştir.



Şekil 5. Tünel Güzergahının jeoloji haritası



Şekil 6. Tünel güzergahının enine jeolojik kesiti

Çizelge 2. Sondaj listesi ve sondajlara ait bilgiler

No	KM	Sondaj no	Derinlik (m)	X	Y	Kot	Açıklama
1	224+800	SK-1	46,00	3990663	476081	279,00	PORTAL
2	225+200	SK-2	201,00	3990720	475693	409,00	EKSEN
3	225+510	SK-3	48,00	3990775	475379	267,00	PORTAL

Çizelge 3. Numune listesi

Sondaj no	Numune derinliği	Sondaj no	Numune derinliği	Sondaj no	Numune derinliği
1	13,00-13,20	2	147,80-148,00	3	12,75-13,00
	17,50-17,60		150,30-150,45		17,80-17,90
	22,80-23,00		154,00-154,15		24,00-24,30
	27,70-27,90		159,10-159,25		34,60-34,90
	31,00-31,15		164,60-164,80		37,60-37,90
			173,70-173,80		42,35-42,50
			187,10-187,30		

5. KAYA KÜTLE SINIFLAMALARI

Açılan sondajlar ile tünel güzergahının tamamının şist birimi (Çakmak formasyonu) içerisinde olduğunu anlaşılmıştır. Yapılan arazi çalışmaları, ölçümler ve laboratuvar deney sonucunda jeolojik ve jeoteknik değerlendirmelerle, tünelin giriş ve çıkış bölümlerindeki birimlerin çok ayrılmış zayıf-orta dayanımlı olduğu, orta bölümlerindeki birimlerin ise genel olarak orta dayanımlı, yer yer de orta-iyi dayanımlı özellikte olduğu belirlenmiştir. Elde edilen veriler ve arazi ölçümleri ışığında yaygın olarak kullanılan ampirik yaklaşımlar olan RMR, Q ve NATM kaya kütle sınıflamalarına göre tanımlamalar yapılmıştır [10-14]. 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 [10-14]. Elde edilen veriler ve arazi gözlemleri göz önüne alındığında tünel güzergahında altı bölüm için kaya kütle sınıflaması oluşturulmuştur (Şekil 7). Özet olarak verilmesi amacıyla giriş, orta kesim ve çıkış kesimine ait RMR, Q ve NATM sınıflama parametreleri Çizelge 4-10'da verilmiştir.

Giriş Kesimi (224+765 - Km.224+800 arası)

Değerlendirmede Km: 224+800'de yapılan sondaj ile portal giriş kesiminde yapılan jeoteknik ölçümler ve veriler kullanılmıştır. Giriş kesiminde RMR=36 (zayıf kaya) ve Q=0,0625 (çok zayıf kaya) değerlerine göre Tüneli giriş kesiminin NATM sınıflamasında B3 kazı ve destek sistemi ile geçilmesi uygun olacaktır.

Çizelge 4. Giriş kesimine ait RMR kaya kütle sınıflama parametreleri

RMR	Sınıflaması	Puan
RQD	= 15*	4
Serbest basınç dayanımı	= 33 MPa**	4
Süreksizlik aralığı	: 0,02-0,6 mm	8
Süreksizlik durumu		
Süreksizliğin uzanımı	: >20 m	0
Süreksizlik açıklığı	: <1 mm	4
Pürüzlülük	: Orta pürüzlü	3
Dolgu durumu : Yumuşak dolgu <5 mm		2
Ayrışma	: Ayrılmış	1
Yer altı suyu	: Kuru	15
Temel RMR puanı	=	41
Süreksizlik yönü	: Orta	-5
(Tünel eksenine paralel ve dike yakın doğrultu ve eğim>45 ⁰)		
RMR puanı	= 36	(Zayıf kaya)

Çizelge 5. Giriş kesimine ait Q kaya kütle sınıflama parametreleri

Q	Sınıflaması	Puan
RQD= 15*	15	
Eklem sayısı (Jn)	: 3 Set (2X9)	18
Eklem ayrışması (Ja)	: Ayrışmış yumuşak dolgulu eklemeler	4
Su durumu (Jw)	: Kuru	1
SRF (Stres azaltma faktörü) (Portal Kesimi) (Şistozite düzleminin tünel kazısına etkisinin belirtilebilmesi amacıyla, birimin kendisi “zayıf zon” olarak kabul edilmiştir.)		5
$Q=(RQD/Jn)x(Jr/Jn)x(Jw/SRF)= (15/18)x(1,5/4)x(1/5)$		= 0,0625 (Çok zayıf kaya)

Kaya Kütleli Elasto-Plastik Parametreleri:

Kaya kütleli elasto-plastik parametreleri RockLab 1.0 programı kullanılarak elde edilmiş olup, program girdileri aşağıda sunulmaktadır [15-17].

m_i , intakt kayanın (Hoek-Brown Dayanım Parametresi) = 10

$GSI = RMR-5 \Rightarrow 41-5=36$

q (UCS-Tek Eksenli Basınç Dayanımı) = 33 MPa

$E_i = 23$ GPa (Tünel girişinde Km: 224+800 sondajından 5 adet numune elde edilmişti, bunlardan ancak bir tanesinden elastisite modülü deneyi yapılabilmiş olup bu deneyin sonucudur)

$MR \Rightarrow E_i/q=697$

Örtü Kalınlığı = 10 m

D (Örselenme Faktörü) = 0,4

Orta Kesim-III (Km: 225+300–225-400 arası):

Değerlendirmede Km: 225+200’de ve Km: 225+510’da yapılan sondaj kuyularının verileri kullanılmıştır. RMR=58 (orta-iyi kaya) ve Q=5,00 (zayıf-orta kaya) değerlerine göre T5 Tünelinin bu kesiminde **B1** kazı ve destek sistemi ile geçilmesi uygun olacaktır.

Kaya Kütleli Elasto-Plastik Parametreleri:

Kaya kütleli elasto-plastik parametreleri RockLab 1.0 programı kullanılarak elde edilmiş olup, program girdileri aşağıda sunulmaktadır.

m_i (intakt kayanın Hoek-Brown Dayanım Parametresi) = 10

$GSI = RMR-5 \Rightarrow 63-5=58$

q (UCS-Tek Eksenli Basınç Dayanımı) = 60 MPa

$E_i = 37$ GPa (Km: 225+200 sondajından 7 adet numune ve Km: 225+510 sondajından da 6 adet numune elde edilmiştir, bunlardan onbir tanesinden elastisite modülü deneyi yapılabilmiş olup bu deneylerin ortalama sonucudur)

$MR \Rightarrow E_i/q=617$

Örtü Kalınlığı = 135 m

D (Örselenme Faktörü) = 0,6 (T5 Tünelinin bu kesimlerinde, kaya kalitesi “orta-iyi kaya” sınıfındadır ve tünel kazılarının “patlatmalı” yapılması düşünülmektedir. Bu nedenle orta-iyi kayada, orta-iyi kalitede yumuşak patlatma yapılacağı düşünülerek “**D=0,6**” olarak belirlenmiştir.)

Çizelge 6. Orta kesim-III (Km:225+300 – 225-400 arası) RMR kaya kütle sınıflama parametreleri

RMR	Sınıflaması	Puan
RQD=30*		7
Serbest basınç dayanımı $\sigma=60$ MPa**		7
Süreksizlik aralığı	: 0,06-2,0 m	13
Süreksizlik durumu		
Süreksizliğin uzanımı	: 3-10 m	2
Süreksizlik açıklığı	: <1 mm	4
Pürüzlülük	: Orta pürüzlü	3
Dolgu durumu	: Dolgusuz	6
Ayrışma	: Ayrışmış	6
Yer altı Suyu	: Kuru	15
	<i>Temel RMR Puanı=</i>	<i>63</i>
Süreksizlik yönü (Tünel eksenine paralel ve dike yakın doğrultu ve eğim>45°)	: Orta	-5
RMR puanı	=	58 (Orta-İyi kaya)

Çizelge 7. Orta kesim – III (Km:225+300 – 225-400 arası) Q kaya kütle sınıflama parametreleri

Q Sınıflaması		Puan
RQD	=30	15
Eklem sayısı (Jn)	: 3 Set	9
Eklem pürüzlülüğü (Jr)	Düzlemsel pürüzlü eklemler	1,5
Eklem ayrışması (Ja)	: Ayrışmamış eklemler	1
Su durumu (Jw)	: Kuru	1
SRF (Stres azaltma faktörü)		1
$Q=(RQD/Jn)x(Jr/Jn)x(Jw/SRF) = (30/9)x(1.5/1)x(1/1)$		= 5.00 (Zayıf-Orta Kaya)

Çıkış Kesim (Km:225+530 – Tünel çıkışı arası)

Değerlendirmede Km:225+510'da yapılan sondaj kuyusunun ve çıkış portal ayna kesiminden elde edilen verileri kullanılmıştır.

Bu kesimde RMR=40 (zayıf-orta kaya) ve $Q=0,139$ (çok zayıf kaya) değerlerine göre T5 Tüneli çıkış portal kesiminde **B3** kazı ve destek sistemi ile geçilmesi uygun olacaktır.

Kaya Kütleli Elasto-Plastik Parametreleri

Kaya kütleli elasto-plastik parametreleri RockLab 1.0 programı kullanılarak elde edilmiş olup, program girdileri aşağıda sunulmaktadır.

m_i (intakt kayanın Hoek-Brown Dayanım Parametresi) = 10

$GSI = RMR-5 \Rightarrow 45-5=40$

q (UCS-Tek Eksenli Basınç Dayanımı) = 31 MPa

$E_i = 26$ GPa (Tünel çıkışında yapılan Km:225+510 sondajından 6 adet numune elde edilmiştir, bunlardan beş tanesinden elastisite modülü deneyi yapılabildiği. Bu sonuçlardan portal kesiminde olduğumuz için en düşük ikisinin ortalaması olan 26 GPa olan değer alınmıştır)

$MR \Rightarrow E_i/c=838$

Örtü Kalınlığı = 10 m

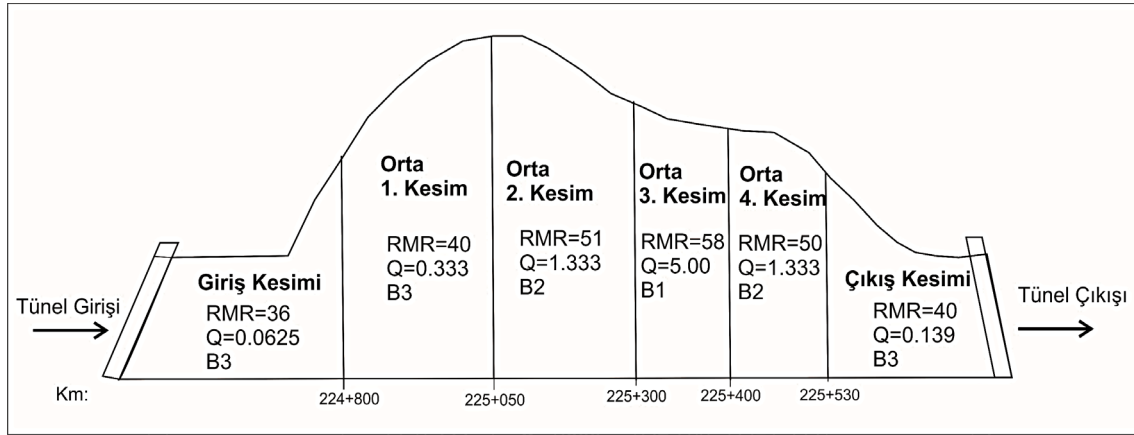
D (Örselenme Faktörü) = 0.4 (T5 Tüneli çıkış portal kesiminde, kaya kalitesi “zayıf kaya” sınıfındadır ve tünel kazılarının “patlatmalı” yapılması düşünülmektedir. Bu nedenle zayıf kayada, orta-iyi kalitede yumuşak patlatma yapılacağı düşünülerek “**D=0,4**” olarak belirlenmiştir.)

Çizelge 8. Çıkış kesim (Km:225+530) RMR kaya kütle sınıflama parametreleri

RMR sınıflaması		Puan
RQD	= 25*	6
Serbest basınç dayanımı	= 31 MPa**	4
Süreksizlik aralığı	: 0,02-0,6 m	8
<u>Süreksizlik durumu</u>		
Süreksizliğin uzanımı	: >20 m	0
Süreksizlik açıklığı	: <1 mm	4
Pürüzlülük	: Orta Pürüzlü	3
Dolgu durumu	: Yumuşak dolgu <5 mm	2
Ayrışma	: Orta ayrışmış	3
Yer altı suyu	: Kuru	15
<i>Temel RMR puanı= 45</i>		
Süreksizlik yönü	: Orta	-5
(Tünel eksenine paralel ve dike yakın doğrultu ve eğim>45 ⁰)		
RMR puanı	=40	(Zayıf-Orta kaya)

Çizelge 9. Çıkış kesim (Km: 225+530) Q kaya kütle sınıflama parametreleri

Q Sınıflaması	Puan
RQD = 25	25
Eklem sayısı (Jn) : 3 Set (2x9)	19
Eklem pürüzlülüğü (Jr) : Düzlemsel pürüzlü eklemler	1,5
Eklem ayrışması (Ja) : Orta ayrılmış yumuşak dolgulu eklemler	3
Su durumu (Jw) : Kuru	1
SRF (Stres azaltma faktörü)	5
$Q=(RQD/Jn)x(Jr/Jn)x(Jw/SRF) = (25/18)x(1,5/3)x(1/5) = 0,139$	(Çok zayıf kaya)

**Şekil 7.** Tünel güzergahı kazı destekleme bölümleri (RMR, Q ve NATM sınıflamasına göre)**Çizelge 10.** Tünel güzergahı kaya kütle sınıflamaları

Tünel kilometresi	RMR	Q	NATM	GSI	YÜK.	qc(Mpa)
KM: 224+800 (Giriş kesimi)	36 Zayıf kaya	0,0625 Çok zayıf kaya	B3	36	10 m	33
KM: 0+224+800-225+050 (Orta kesim 1)	40 Zayıf-orta kaya	0,333 Çok zayıf kaya	B3	40	115m	50
KM: 225+050-225+300 (Orta kesim 2)	51 Orta kaya	1,333 Zayıf kaya	B2	51	175m	72
KM: 225+300-225+400 (Orta kesim 3)	58 Orta- iyi kaya	5,00 Zayıf-orta kaya	B1	58	135m	60
KM: 225+400-225+530 (Orta kesim 4)	50 Orta kaya	1,333 Zayıf kaya	B2	50	95m	47
KM: 225+530 (Çıkış kesimi)	40 Zayıf-orta kaya	0,139 Çok zayıf kaya	B3	40	10m	31

7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Mersin-Antalya arasındaki D-400 Karayolu projesi içerisinde Antalya sınırına kadar 22 adet tünel projelendirilmiştir. Bu çalışmada Projenin Anamur kesiminde, Kaledran mevkiinde yer alan 780 m uzunluktaki T5 Tünelinin kazı ve desteklemesine

yönelik zemin parametreleri araştırılmıştır. T5 Tüneli güzergahını oluşturan egemen jeolojik birim, önceki çalışmalarda Çakmak formasyonu olarak adlandırılan Paleozoyik yaşlı şistlerdir. Arazi incelemeleri, sahada yapılan ölçümler ve laboratuvar deney sonucunda jeolojik ve jeoteknik değerlendirmelerle, tünel güzergahının giriş, orta

ve çıkışında altı ayrı bölüm ayrılmıştır. Bu altı bölüm için ampirik yaklaşımlara göre (RMR, Q ve NATM'ye göre) kaya kütle sınıflaması yapılmıştır. Genel olarak Giriş kesimi, orta Kesim ve çıkış kesimi olarak özetlenecek olursa, giriş kesiminde RMR=36 (zayıf kaya), Q=0.0625 (çok zayıf kaya) değerlerine göre NATM sınıflamasında B3 kazı ve destek sistemi ile geçilebileceği değerlendirilmiştir. Orta kesim KM: 225+300-225+400 arası RMR=58 (orta-iyi kaya) ve Q=5,00 (orta-iyi kaya) değerlerine göre bu kesiminde **B1** kazı ve destek sistemi ile geçilmesi uygun olacaktır. Çıkış kesimi RMR=40 (zayıf-orta kaya) ve Q=0,139 (çok zayıf kaya) değerlerine göre T5 Tüneli çıkış portal kesiminde **B3** kazı ve destek sistemi ile geçilmesi değerlendirilebilir.

Zor topografik koşullara bağlı olarak tünel giriş, orta ve çıkış kesimini yansıtabilecek şekilde toplam 3 adet araştırma sondaj kuyusu açılabilmiştir (SK 1 Km:224+800, SK 2 Km:225+200, SK 3 Km:225+510).

Jeolojik ve jeoteknik değerlendirmeler sonucunda, tünelin giriş ve çıkışındaki birimler ayrılmış, kırıklı ve çatlaklı bir yapıda olup, buna bağlı olarak zayıf-orta dayanımlı kaya sınıfında olduğu, tünelin orta bölümündeki birimlerin ise genel olarak az ayrılmış, orta derecede dayanımlı özellik gösterdiği, kaya sınıfı olarak da orta-iyi kaya olduğu belirlenmiştir. Tünelin orta kesimlerinin, NATM sınıflamasına göre B2 ve yer yer de B1 kaya sınıfı ile geçilmesi, özellikle giriş ve çıkış tarafında ayrışma ve süreksizlik durumuna bağlı olarak B3 kazı ve destek sınıfına göre geçilmesi öngörülmüştür. Ayrıca tünel güzergahında kazı sırasında daha az eklemli ve nispeten daha sağlam kesimlerle de karşılaşılması mümkün olup bu durumda kazı ve destekleme sistemi B2 olarak değiştirilebilir.

Sonuç olarak, şist türü metamorfik kayaların içerisinde açılan tünellerde, salt yüzey araştırmalarının kaya kütle sınıflaması açısından değerlendirmelerde yetersiz kaldığı bilinmektedir. Tünel açımından önce yapılan ayrıntılı yüzey araştırmaları raporları ile tünel açılması esnasında farklı durumlarla karşılaşılması söz konusu olabilir. Bu nedenle arazi araştırmalarının yanı sıra

tünel açımı sırasında kayanın durumunun sürekli kontrol edilerek revize edilebilmesinin olması olduğu göz önünde tutulmalıdır. Proje aşamasında belirlenen kazı ve desteklemelerle tünel kazısı sırasında karşılaşılan farklı durumların zaman ve maliyet açısından çok büyük sorunlara sebebiyet vermemesi için kazı sırasında tünel aynanın durumunun dikkatli şekilde gözlemlenmesi, ön sondajlar ve deformasyon ölçümlerinin yapılması ve gerekli önlemlerin zamanında kararlaştırılarak değişikliklere gidilmesi maliyet ve zaman açısından avantaj sağlayacaktır.

8. KAYNAKLAR

1. Aydoğdu, M., 2015. D-400 Karayolu T5 Tünelinin (Anamur-Kaledran Arası) Jeoteknik Olarak İncelenmesi. Ç.Ü. Fen Bilimleri Ens. Y.Lisans Tezi, Adana, 86.
2. Blumenthal, M.M., 1951. Batı Toroslarda Alanya Ard Ülkesinde Jeolojik İncelemeler: MTA Derg., Ankara, 5,134.
3. Özgül, N., 1976. Toroslar'ın Bazı Temel Jeolojik Özellikleri: Türkiye Jeol. Kur. Bült., 19, 65-78.
4. Demirtaşlı, E., 1987. Toroslar'da Seydişehir ve Silifke Otoktanlarının Antalya, Alanya ve Hadim Naplılarıyla Olan İlişkilerinin Stratigrafik ve Tektonik Açısından İncelenmesi: TPAO. Rapo., Ankara, 2457.
5. Usta, D., 2001. Anamur-Bozyazı Dolayımın (Alanya P 29-c2, c3, c4 paftalarının) Jeolojisi, 8-22.
6. Ulu, Ü., 1983. Sugözü-Gazipaşa (Antalya) Alanının Jeoloji İncelemesi. Jeoloji Mühendisliği Dergisi, Ankara, 7(1), 3-10.
7. MTA, 2002. 1/500000 Ölçekli Jeoloji Haritası. Ankara.
8. ISRM, 1981. Rock Characterization, Testing and Monitoring. In: Brown, E.T. (Ed.), 1981. International Society for Rock Mechanics (ISRM) Suggested Methods. Pergamon, Oxford, 211.
9. ISRM (International Society for Rock Mechanics), 2007. The Complete ISRM Suggested Methods for Rock Characterization, Testing and Monitoring: 1974-2006. R. Ulusay and J.A. Hudson (eds.), Ankara, 628.

10. Barton, N., Lieu R., Lunde I., 1974. Engineering Clasification of Rock Masses for the Design of Tunnel Support. Oslo Norway, 106.
11. Barton, N., 2002. Some New Q-Value Correlations to Assist in Site Characterizations and Tunnel Design. International Journal of Rock Mechanics ve Mining., 39,185-216.
12. Bieniawski, Z.T., 1973. Engineering Classification of Jointed Rock Masses. Transaction of South African Institution of Civil Engineering, 15, 335-44.
13. Bieniawski, Z.T., 1974. Geomechanics Classification of Rock Masses and its Application in Tunneling. Proceedings of the 3rd Congress of International Society for Rock Mechanics, Denver, 2, 27-32.
14. Bieniawski,, Z.T., 1989. Engineering Roek Mass Classification. Mc. GrawHill, New York, 237.
15. Hoek, E., Brown, E.T., 1997. Practical Estimates of Rock Mass Strength. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 34(8), 1165-1186.
16. Hoek, E., Marinos, P., Benissi, M., 1998. Applicability of the Geological Strength Index (GSI) Classification for Very Weak and Sheared Rock Masses: the Case of the Athens Schist Formation. Bulletin of Engineering Geology and Environment, 57, 151-60
17. Hoek, E., 1983. Strength of Jointed Rock Masses, 1983 Rankine Lecture. Geotechnique, 33(3), 187-223.

