



**T.C.
SİVAS CUMHURİYET ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ELMALI TÜNELİ (ERZURUM) GÜZERGAHINDA YER ALAN
KAYA KÜTLELERİNİN DURAYLILIĞI ÜZERİNE ARAŞTIRMA**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**AYŞEGÜL KARAARSLAN
20179214007**

Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Prof.Dr. Işık YILMAZ

**SİVAS
Kasım, 2021**

Ayşegül KARAARSLAN' ın hazırladığı **“ELMALI TÜNELİ (ERZURUM) GÜZERGAHINDA YER ALAN KAYA KÜTLELERİNİN DURAYLILIĞI ÜZERİNE ARAŞTIRMA”** adlı bu çalışma aşağıdaki jüri tarafından **‘JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI’** nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Işık YILMAZ

(Tez Danışmanı)

Doç. Dr. İnan KESKİN

(Jüri Üyesi)

Doç. Dr. Halil İbrahim YUMRUTAŞ

(Jüri Üyesi)

Bu tez Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak onaylanmıştır.

Prof. Dr. Özlem Pelin CAN
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRÜ

Bu tez, Cumhuriyet Üniversitesi Senatosu'nun 20.08.2014 tarihli ve 7 sayılı kararı ile kabul edilen Fen Bilimleri Enstitüsü Lisansüstü Tez Yazım Kılavuzu (Yönerge)'nda belirtilen kurallara uygun olarak hazırlanmıştır.



Bu tez, Cumhuriyet Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (CÜBAP) Komisyonu tarafından M-781 Nolu proje kapsamında desteklenmiştir.



Bütün hakları saklıdır.

Kaynak göstermek koşuluyla alıntı ve gönderme yapılabilir.

© Ayşegül KARAARSLAN, 2021

ETİK

Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tez Yazım Kılavuzu (Yönerge)'nda belirtilen kurallara uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- ✓ Bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- ✓ Görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- ✓ Başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere, bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu ve atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- ✓ Bütün bilgilerin doğru ve tam olduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- ✓ Tezin herhangi bir bölümünü, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi veya bir başka üniversitede, bir başka tez çalışması olarak sunmadığımı; beyan ederim.

25.11.2021

Ayşegül KARAARSLAN

ÖZET

ELMALI TÜNELİ (ERZURUM) GÜZERGAHINDA YER ALAN KAYA KÜTLELERİNİN DURAYLILIĞI ÜZERİNE ARAŞTIRMA

Ayşegül KARAARSLAN

Yüksek Lisans Tezi, Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Işık YILMAZ

2021, 85 + xv sayfa

Tünellerin projelendirilebilmesi için; gerekli olan güzergâh seçimi, geometrik, jeolojik, hidrojeolojik, mühendislik faktörlerinin ve projenin yapılabirliğinin birlikte değerlendirildiği alan araştırmaları yapılır. Alan araştırmalarına bağlı olarak, yeraltı yapısını oluşturan kaya-zemin birimlerin jeoteknik özelliklerinin belirlenmesiyle tünel güzergâhının jeolojik/jeoteknik modeli oluşturulur. Bu modele bağlı olarak, tünel güzergâhında gözlenebileceği öngörülen kaya sınıfları ve sonrasında tünel projelendirilmesine esas parametreler ile kazı destek sınıfları ortaya çıkarılır. Kazı ve destek sınıflarına en uygun kazı yöntemi seçilerek tünel için optimum yapım stratejisi belirlenir.

Bu tez çalışmasında; Erzurum’da yer alacak Elmalı Tüneli güzergâhı boyunca açılmış olan temel sondaj verileri, laboratuvar deney sonuçları ve arazi gözlemleri birlikte değerlendirilerek tünel boyunca kaya kütlelerinin sınıflandırılarak bir görsele oturtulması ve gerekli olacak kazı destek sistemleri önerilerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Çalışmalardan elde edilen sonuçlara göre; öncelikli olarak tünel güzergâhı boyunca kaya kütlelerinin “Çok Zayıf” tan “Orta” ya kadar aralıkta değişim gösterdikleri, ancak “Çok Zayıf” ve “Zayıf” kaya kütlesi karakteristiğinin yaygın olarak dağıldığı ortaya görülmüştür. Tünel güzergâhı boyunca kaya kütlelerinin dağılımı göz önüne alındığında tünelin nerdeyse tamamında kalıcı destek (tahkimat) gereksinimin olacağı açıktır. Özellikle “Çok Zayıf” ve “Zayıf” kaya kütlesi karakteristiğinin belirlendiği lokasyonlarda desteksiz durma süresi 1 saat veya altında belirlenmiş olup ani çökmeye uğraması bakımından risklerin olduğu çok açıktır.

Anahtar Kelimeler: Kaya kütlesi, tünel güzergâhı, RMR, Q, Elmalı Tüneli.

ABSTRACT

RESEARCH ON THE STABILITY OF ROCK MASSES IN THE ELMALI TUNNEL (ERZURUM) ROUTE

Ayşegül KARAARSLAN

Master of Science Thesis, Department of Geological Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Işık YILMAZ

2021, 85 + xv sayfa

In order to design the tunnels; field studies are carried out in which the necessary route selection, geometric, geological, hydrogeological, engineering factors and the feasibility of the project are evaluated together. Depending on the field surveys, the geological/geotechnical model of the tunnel route is created by determining the geotechnical properties of the rock-soil units that create the underground structure. Depending on this model, the rock classes that are predicted to be observed on the tunnel route and then the parameters that are the basis for the tunnel project and excavation support classes are revealed. The optimum construction strategy for the tunnel is determined by choosing the most suitable excavation method for the excavation and support classes.

In this thesis; it is aimed to classify the rock masses along tunnel and to determine the suggestions for excavation support systems that will be necessary by evaluating the borehole data, laboratory test results and field observations along the Elmalı Tunnel route to be located in Erzurum. According to the results obtained from the studies; primarily, it has been observed that the rock masses vary in the range from "Very Weak" to "Medium", but the "Very Weak" and "Weak" rock mass characteristics are widely distributed along the tunnel route. Considering the distribution of rock masses along the tunnel route, it is clear that there will be a need for permanent support in almost the entire tunnel. Especially in locations where "Very Weak" and "Weak" rock mass characteristics are determined, the unsupported standing time is determined as 1 hour or less, and it is clear that there are risks in terms of sudden collapse.

Key words: Rock mass, tunnel route, RMR, Q, Elmalı Tunnel.

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tezimin her aşamasında değerli katkılarını ve desteğini esirgemeyen, çalışmalarım süresince bana titizlikle ve sabırla destek sağlayan, bilgi, deneyim ve kaynaklarından yararlandığım, çok değerli tez danışmanım, Sayın Prof. Dr. Işık YILMAZ 'a ,

Bu tez kapsamındaki ilgili projeleri kullanmam için destek veren DSİ Genel Müdürlüğü ve DSİ Genel Müdürlüğü Yeraltı Suları Daire Başkanı Sayın Dr. Ayhan KOÇBAY'a,

Tez çalışmama yapmış oldukları değerli önerileri ve katkılarından dolayı Jüri Üyeleri

Sayın Doç. Dr. İnan KESKİN'e, Sayın Dr. Öğr. Üyesi Halil İbrahim YUMRUTAŞ'a

Tüm hayatım boyunca her zaman yanımda olan, çalışmalarımı destekleyen, anlayışları ve sonsuz destekleri için canım annem, babam ve sevgili kardeşlerime,

Yoğun çalışma tempoma rağmen her koşulda bana kolaylık sağlayan, varlığı ile en büyük desteği veren eşim ve çocuklarıma sonsuz teşekkür ederim.

Ayşegül KARAARSLAN

Jeoloji Mühendisi

2021

İÇİNDEKİLER

ÖZET	vi
ABSTRACT	vii
TEŞEKKÜR	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	xiii
TABLolar DİZİNİ	xiv
1. GİRİŞ	1
2. TEZ PROJESİ VE SAHASININ GENEL ÖZELLİKLERİ	4
3. JEOLojİ	7
3.1 Genel Jeoloji	7
3.2 Stratigrafi	7
3.2.1 Rizekent Formasyonu (Jr)	7
3.2.2 Mescitdağları Formasyonu (Km)	8
3.2.3 Mescitdağları Formasyonu-Taşdere Üyesi (Kmt)	8
3.2.4 Lanetleme Tepe Formasyonu- Akbaba Kireçtaşı Üyesi (Jkla)	9
3.2.5 Kopdağı Ofiyolitleri (Kko)	9
3.2.6 Mafik-Ultramafik Kayalar (Kou)	10
3.2.7 Başkurdere Formasyonu (Kb)	11
3.2.8 Serçeme Formasyonu (KTs)	11
3.2.9 Kayaktepe Formasyonu (Tpek)	12
3.2.10 Koçdağı Volkanitleri (Tekv)	13
3.2.11 Kopdere Formasyonu (Tek)	13
3.2.12 Elmalı Formasyonu (Tee)	14
3.2.13 Gölveren Andeziti (Tega)	14
3.2.14 Aşkale Formasyonu (Tma)	15
3.2.15 Karahan Formasyonu (Tmplk)	15
3.2.16 Ürünlü Formasyonu (Tmü)	16
3.2.17 Mescitli Formasyonu (Tmm)	17
3.2.18 Arzutu Dasiti (Tmar)	17
3.2.19 Güngörmez Formasyonu (Tmg)	18

3.2.20 Gavurdağı Volkaniti (Tmgv)	18
3.2.21 Gelinkaya Formasyonu (Tmplgk)	19
3.2.22 Çobandere Volkanitleri (Tc)	19
3.2.23 Heyelanlar (Qh)	20
3.2.24 Eski Alüvyon Yelpazesi Çökelleri (Qeay)	20
3.2.25 Yamaç Molozu (Qym)	20
3.2.26 Alüvyon (Qal)	20
3.3 Yapısal Jeoloji ve Tektonizma	23
3.4 Depremsellik	27
4. HİDROJEOLJİ	30
5. TÜNEL GÜZERGÂHI MÜHENDİSLİK ÖZELLİKLERİ	35
5.1 SK-1 Nolu Temel Sondaj Kuyusu	37
5.2 SK-2 Nolu Temel Sondaj Kuyusu	37
5.3 SK-3 Nolu Temel Sondaj Kuyusu	38
5.4 SK-4 Nolu Temel Sondaj Kuyusu	38
5.5 SK-5 Nolu Temel Sondaj Kuyusu	39
5.6 SK-6 Nolu Temel Sondaj Kuyusu	39
5.7 SK-7 Nolu Temel Sondaj Kuyusu	39
5.8 SK-8 Nolu Temel Sondaj Kuyusu	40
5.9 SK-9 Nolu Temel Sondaj Kuyusu	40
5.10 SK-10 Nolu Temel Sondaj Kuyusu	41
5.11 SK-11 Nolu Temel Sondaj Kuyusu	41
5.12 SK-12 Nolu Temel Sondaj Kuyusu	41
5.13 SK-13 Nolu Temel Sondaj Kuyusu	42
5.14 SK-14 Nolu Temel Sondaj Kuyusu	42
5.15 SK-15 Nolu Temel Sondaj Kuyusu	42
5.16 SK-16 Nolu Temel Sondaj Kuyusu	43
6. TÜNEL GÜZERGÂHINDA KULLANILAN KAYA KÜTLESİ DEĞERLENDİRME YÖNTEMLERİ	44
6.1 Kaya Yüku Sınıflaması (Terzaghi)	44
6.2 Kaya Kütle Sınıflaması (RMR)	44
6.3 Kaya Kütle Değeri (Q)	44

7. ELMALI TÜNELİ KAYA KÜTLE DEĞERLENDİRMESİ	54
7.1 Km:0+000-0+050 Arası Kaya Kütle Değerlendirmesi	54
7.1.1 Kaya Yüğü Sınıflaması (Terzaghi)	54
7.1.2 Kaya Kütle Sınıflaması (RMR)	54
7.1.3 Kaya Kütle Değeri (Q)	55
7.2 Km:0+050-1+200 Arası Kaya Kütle Değerlendirmesi	56
7.2.1 Kaya Yüğü Sınıflaması (Terzaghi)	56
7.2.2 Kaya Kütle Sınıflaması (RMR)	57
7.2.3 Kaya Kütle Değeri (Q)	58
7.3 Km:1+200-4+200 Arası Kaya Kütle Değerlendirmesi	59
7.3.1 Kaya Yüğü Sınıflaması (Terzaghi)	59
7.3.2 Kaya Kütle Sınıflaması (RMR)	59
7.3.3 Kaya Kütle Değeri (Q)	61
7.4 Km:4+200-5+600 Arası Kaya Kütle Değerlendirmesi	62
7.4.1 Kaya Yüğü Sınıflaması (Terzaghi)	62
7.4.2 Kaya Kütle Sınıflaması (RMR)	63
7.4.3 Kaya Kütle Değeri (Q)	64
7.5 Km:5+600-6+200 Arası Kaya Kütle Değerlendirmesi	65
7.5.1 Kaya Yüğü Sınıflaması (Terzaghi)	65
7.5.2 Kaya Kütle Sınıflaması (RMR)	65
7.5.3 Kaya Kütle Değeri (Q)	67
7.6 Km:6+200-6+600 Arası Kaya Kütle Değerlendirmesi	68
7.6.1 Kaya Yüğü Sınıflaması (Terzaghi)	68
7.6.2 Kaya Kütle Sınıflaması (RMR)	68
7.6.3 Kaya Kütle Değeri (Q)	70
7.7 Km:6+600-8+150 Arası Kaya Kütle Değerlendirmesi	71
7.7.1 Kaya Yüğü Sınıflaması (Terzaghi)	71
7.7.2 Kaya Kütle Sınıflaması (RMR)	71
7.7.3 Kaya Kütle Değeri (Q)	72
7.8 Km:8+150-9+000 Arası Kaya Kütle Değerlendirmesi	73
7.8.1 Kaya Yüğü Sınıflaması (Terzaghi)	73
7.8.2 Kaya Kütle Sınıflaması (RMR)	74
7.8.3 Kaya Kütle Değeri (Q)	75

8. SONUÇLAR ve ÖNERİLER	77
KAYNAKLAR	81
ÖZGEÇMİŞ	83



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1 Çalışma alanı yer bulduru haritası (ölçeksiz)	5
Şekil 2.2 Elmalı Tüneli ve Sulaması Genel Vaziyet Plan	6
Şekil 3.1 Erzurum Elmalı Tüneli boyunca 1:5000 ölçekli hazırlanan jeoloji haritası ve boy kesiti	21
Şekil 3.2 Erzurum Elmalı Tüneli ve çevresine ait Stratigrafik Dikme Kesiti (Ölçeksiz)	22
Şekil 3.3 Erzurum Elmalı Tüneli ve çevresine ait diri fay haritası (MTA-2012)	26
Şekil 3.4 Türkiye deprem bölgeleri haritası	27
Şekil 3.5 Çalışma alanı deprem haritası	27
Şekil 4.1 Sulama alanında görülen sulak alan	30
Şekil 5.1 Çalışma alanında açılan sondajlara ait Google Earth görüntüsü	35
Şekil 5.2 Erzurum Elmalı Tüneli boyunca 1:5000 ölçekli hazırlanan jeoloji haritası ve boy kesiti	36
Şekil 6.1 Tek eksenli sıkışma dayanımı, süreksizlik aralığı ve RQD parametrelerine ait puanların belirlenmesinde kullanılan grafik (Bieniawski, 1989)	48
Şekil 6.2 Q Kaya Kalite Kütleli sınıflandırma sistemi destekleme türleri	49
Şekil 6.3 RMR kaya kütleli sınıflarına göre desteksiz durma süresi ve desteksiz tavan açıklığı arasındaki ilişki (Bieniawski, 1989)	53
Şekil 8.1 Tünel güzergahı boyunca hazırlanmış profil üzerinde kaya kütlelerinin dağılımı.	79

TABLolar DİZİNİ

Tablo 3.1 Proje alanı için olasılıksal yöntemle belirlenen sismik tehlike değerleri	29
Tablo 4.1 Temel sondajlarının km aralıkları, derinlik, kot ve yeraltı suyu derinlikleri	31
Tablo 4.2 Temel sondajlarında geçilen birimlerin geçirimsizlik kademeleri	32
Tablo 6.1 Kaya Yüğü (Terzaghi) Sınıflaması	45
Tablo 6.2 RMR Sınıflama değışkenleri ve puanlamaları (Bieniawski, 1989) (1MPa=10.197kgf/cm ²).	46
Tablo 6.3 RMR Süreksizlik durumuna göre düzeltme (Bieniawski,1989).	46
Tablo 6.4 RMR toplam değerdendirmeden kaya sınıflaması belirlenmesi ve nicelik anlamları	47
Tablo 6.5 RMR destek sistemleri [10 m genişliğinde tüneller için destekleme sistemleri (Bieniawski, 1976)]	47
Tablo 6.6 Kazı destek oranları (ESR-1974)	48
Tablo 6.7 RQD Sistemi Sınıflaması	50
Tablo 6.8 Eklem Takım Sayısı (J _n)	50
Tablo 6.9 Eklem Pürüzlülük Sayısı (J _r)	50
Tablo 6.10 Eklem Alterasyon Sayısı (J _a)	51
Tablo 6.11 Eklem Suyu İndirgeme Faktörü (J _w)	51
Tablo 6.12 Gerilme Azaltma Faktörü (SRF)	52
Tablo 7.1 RMR Kaya Sınıfı puan durumu	55
Tablo 7.2 Kaya Kütle Değeri (Q) Özet Tablo	56
Tablo 7.3 RMR Kaya Sınıfı puan durumu	58
Tablo 7.4 Kaya Kütle Değeri (Q) Özet Tablo	59
Tablo 7.5 RMR Kaya Sınıfı Puan Durumu	61
Tablo 7.6 Kaya Kütle Değeri (Q) Özet Tablo	62
Tablo 7.7 RMR Kaya Sınıfı puan durumu	64
Tablo 7.8 Kaya Kütle Değeri (Q) Özet Tablo	65
Tablo 7.9 RMR Kaya Sınıfı Puan Durumu	67
Tablo 7.10 Kaya Kütle Değeri (Q) Özet Tablo	68
Tablo 7.11 RMR Kaya Sınıfı Puan Durumu	69
Tablo 7.12 Kaya Kütle Değeri (Q) Özet Tablo	70

Tablo 7.13 RMR Kaya Sınıfı puan durumu	72
Tablo 7.14 Kaya Kütle Değeri (Q) Özet Tablo	73
Tablo 7.15 RMR Kaya Sınıfı Puan Durumu	75
Tablo 7.16 Kaya Kütle Değeri (Q) Özet Tablo	76
Tablo 8.1 Tünel güzergâhı boyunca yapılan kaya kütle sınıflandırmaları	77



1. GİRİŞ

Günümüzde, modern çağın gereği olarak, standardı daha yüksek ve aynı zamanda da çevreye duyarlı ulaşım imkânları sağlanmaya çalışılmaktadır. Bu anlamda, hızla gelişen teknolojiye de paralel olarak, karayolu yapımında gerek trafik güvenliğini ve konforunu artıracak gerekse de seyahat süresini kısaltabilecek tünelli geçişlerin projelendirilmesine öncelik verilmektedir. Tünellerin projelendirilebilmesi için; gerekli olan güzergâh seçimi, geometrik, jeolojik, hidrojeolojik, mühendislik faktörlerinin ve projenin yapılabirliğinin birlikte değerlendirildiği alan araştırmaları yapılır. Alan araştırmalarına bağlı olarak, yeraltı yapısını oluşturan kaya-zemin birimlerin jeoteknik özelliklerinin belirlenmesiyle tünel güzergahının jeolojik/jeoteknik modeli oluşturulur. Bu modele bağlı olarak, tünel güzergâhında geçilebileceği öngörülen kaya sınıfları ve sonrasında tünel projelendirilmesine esas parametreler ile kazı destek sınıfları ortaya çıkarılır. Kazı ve destek sınıflarına en uygun kazı yöntemi seçilerek tünel için optimum yapım stratejisi belirlenir.

Yeraltı homojen olmayıp, tüneller değişik jeolojik koşullarda açılmaktadır. Özellikle derin ve uzun tünellerde yeraltına ait bilgilerin gerçeğe en yakın ön tahminlerini yapabilmek, oldukça fazla zaman ve maliyet gerektirmektedir. Sığ tünellerde ise araştırma imkanları daha fazla olmasına rağmen, kemerleşme etkisinin oluşmaması, tasman sorunu ve dolayısıyla üzerindeki diğer yerüstü yapılarının zarar görebilmesi gibi problemler söz konusudur. Planlama, imalat ve ekonomiklik açısından çok bilinmeyenli bir yapım süreci gerektiren tünelcilikte esneklik tercih edilen ana faktör olmalıdır.

Çok çeşitli tünel açma yöntemleri olmasına rağmen, Yeni Avusturya Tünel Açma Metodu (NATM) tünelciliğe bu esnek anlayışı getirmiştir. NATM getirdiği yenilikler ve modern parçalı kesit yöntemi olarak kabul edilmesi sebebiyle günümüzde en çok kullanılan tünel açma yöntemlerinden biridir. NATM, 1958 yılında A. Brunner tarafından patentlenmiş ve 1959 yılında L.V.Rabcewicz tarafından tanıtılmıştır. Yöntemin yirmiden fazla prensibi olup, kayacın belirli bir deformasyonuna izin verilerek, oldukça esnek ve ince bir destekleme ile tünele gelen yüklerin bir kısmının, kazı etrafındaki kayacın kendisine taşıtılması esastır. Kazı adımlarına bağlı olarak, yer

altı açıklığının etrafında oluşacak ikincil gerilmelerin ve deformasyonların yakından izlenmesi, denetlemesi ve zamanında sağlamlaştırma işlemlerinin yapılması sistemin gereğidir ve amaçlandığı gibi minimum seviyede kullanılacak destekler (iksa, bulon, püskürtme beton vb.) ile ekonomik bir uygulamanın gerçekleştirilmesi sağlanır. Tünele gelen tasarım yüklerini ve tünel kazısına bağlı gelişecek deformasyonları belirlemek amacıyla, çeşitli yöntemlerle (ampirik ve sayısal yöntemler) analizler yapılmaktadır. Tünel projelerinde, tasarım girdi parametresi olarak kullanılan Q ve RMR sınıflama sistemleri kullanılmaktadır.

Tünel tasarımıyla ilgili görgül yöntemler (kaya kütle sınıflamaları; Kaya Kütlelerinin Mühendislik Sınıflaması (Q), Kaya Kütlelerinin Jeomekanik Sınıflaması (RMR), Jeolojik Dayanım İndeksi (GSI), Modifiye RMQR, vb.) ve sayısal yöntemlerden faydalanılmaktadır. Bu sınıflamalar yaklaşık 70 yıl öncesinde (Terzaghi, 1946) başlayarak günümüze kadar geliştirilmiş ve yeni sınıflamalar ortaya konmuş ve pekçok araştırmacı tarafından uygulanmıştır (Bieniawski, 1973; Barton et al., 1974; Hoek and Brown, 1980; Bieniawski, 1989; Nicholson and Bieniawski, 1990; Palmström, 1995; 2000; Singh and Goel, 1999; 2006; Marinos and Hoek, 2000; Barton, 2002; Sönmez ve Ulusoy, 2002; Ramamurthy, 2004; Basarir vd., 2005; Gurocak, 2011; Kaya et al., 2011).

Tünellerin projelendirilebilmesi için; gerekli olan güzergah seçimi, geometrik, jeolojik, hidrojeolojik, mühendislik faktörlerinin ve projenin yapılabilişliğinin birlikte değerlendirildiği alan araştırmaları yapılır. Alan araştırmalarına bağlı olarak, yeraltı yapısını oluşturan kaya-zemin birimlerin jeoteknik özelliklerinin belirlenmesiyle tünel güzergahının jeolojik/jeoteknik modeli oluşturulur. Bu modele bağlı olarak, tünel güzergâhında geçilebileceği öngörülen kaya sınıfları ve sonrasında tünel projelendirilmesine esas parametreler ile kazı destek sınıfları ortaya çıkarılır. Kazı ve destek sınıflarına en uygun kazı yöntemi seçilerek tünel için optimum yapım stratejisi belirlenir.

Bu yüksek lisans tez çalışması kapsamında; Erzurum'da yer alacak Elmalı Tüneli güzergahı boyunca açılmış olan temel sondaj verileri, laboratuvar deney sonuçları ve arazi gözlemleri birlikte değerlendirilerek tünel boyunca gerekli olacak kazı destek

sistemleri önerilerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu kapsamda; tünel güzergahi boyunca tünel güzergahi boyunca seçilecek kesimlerde yer alan kaya kütlelerinin duraylılığı ve kazı destek sistemini belirlemek üzere güzergah değişimler dikkate alınarak birden fazla bölgelere ayrılarak ve her bir bölgeye ilişkin kaya kütlesi sınıfları RMR ve Q yöntemleri ile belirlenip, kazı destek sistemi gereklilikleri bakımından değerlendirilmesi yapılmıştır. Daha sonra elde edilen değerlendirme sonuçları kullanılarak, güzergah boyunca çizilen profil kesit üzerinde zonlanarak görsel açıdan daha kolay bir değerlendirmeye olanak sağlayacak değişimler ve potansiyel sorunlar ortaya konulmuştur.



2. TEZ PROJESİ VE SAHASININ GENEL ÖZELLİKLERİ

Tez proje alanı Erzurum ilinin yaklaşık 30 km kuzeydoğusunda Erzurum–Artvin Yolu (D950) üzerinde yer alan Söğütyanı köyü ile Erzurum ilinin yaklaşık 37 km kuzeybatısında Erzurum-Erzincan Yolu (E80) ve Erzurum-Pazaryolu Yolu (D925) üzerinde yer alan Gelinkaya köyleri arasında kalmakta olup (Şekil 2.1), mevcut yolların büyük bir kısmı asfalt, az bir kısmı stabilize yol olup, proje alanına ulaşım her mevsim sağlanabilir.

İşletmedeki Kuzgun Barajında düzenlenen ve etek santralinden türbinlenen sular ile ara havzadan, dere yatağında doğal akışından gelen sular 1935 talveg, 1944,75 m kret kotunda yapılması öngörülen Elmalı Regülatörü vasıtasıyla yaklaşık 9 km uzunluğundaki giriş kotu yaklaşık 1937 m, çıkış kotu yaklaşık 1920 m olan Elmalı Tüneline aktarılarak Daphan Ovasına açılacak, daha sonra hem tünelden gelen hem de ovadaki baz akışlı derelerden gerekli görülenlerin suları tünel sonunda yapılacak tevzi havuzunda toplanacaktır. Tevzi havuzundan işletmedeki iletim hattı sonuna (Ana kanal başlangıcına) yapılacak bağlantıyla Daphan Ovası 1. ve 2. Kısım Sulamaları (23750 ha) ile inşa halindeki borulu kanallı Ortabahçe Ovası Sulamasına (6388 ha) ihtiyaç debileri verilecektir. Böylece bu sulamaların bir anda devre dışı kalma ihtimali nedeniyle mevcut durumdaki iletim hattıyla bağlantısı kesilerek Elmalı Tüneli vasıtasıyla sulanması sağlanacaktır.

Tevzi havuzundan yapılacak kanallarla Çoraklar Pompaj (7000,00 ha) ve Karasu Ovası (Daphan-3) (9202,41 ha) ile 1878 talveg, 1882,25 m kret kotunda yapılması öngörülen Çipak Regülatörü ile Çipak Regülatörü Sulama sahalarının (1200,00 ha) cazibeyle ve borulu sistemle sulanması planlama çalışmaları bu iş kapsamında yapılacak olup, Erzurum Projesi Elmalı Tüneli ve Sulaması Genel Vaziyet Planı Şekil 2.2’de verilmiştir.



Şekil 2.1 Çalışma alanı yer bulduru haritası (ölçeksiz)

3. JEOLOJİ

3.1 Genel Jeoloji

Çalışma alanı ve yakın çevresinde Rizekent formasyonu (Jr), Mescitdağları Formasyonu (Km), Tardere Üyesi (Kmt), Koçdağı Volkanitleri (Tekv), Başkurdere Formasyonu (Kb), Akbaba Kireçtaşı Üyesi (Jkla), Mafik-Ultramafik Kayalar (Kou), Kopdağı Ofiyolitleri (Ko), Serçeme Formasyonu (KTs), Kavaktepe Formasyonu (Tpek), Kopardere Formasyonu (Tek), Elmalı Formasyonu (Tee), Gölveren Andeziti (Tega), Aşkale Formasyonu (Tma), Ürünlü Formasyonu (Tmü), Mescitli Formasyonu (Tmm), Arzutu Dasiti (Tmar), Gavurdağı Volkaniti (Tmgv), Güngörmez Volkaniti (Tmg), Gelinkaya formasyonu (Tplgk), Karahan Formasyonu (Tmplk), Eski Alüvyon Yelpazesi Çökelleri (Qeay), Yamaç Molozu (Qym), Alüvyon (Qal) ve Heyelan (Qh) birimleri gözlenmiştir.

Gözlenen birimler yaşlıdan gence doğru olmak üzere aşağıda anlatılmıştır.

3.2 Stratigrafi

3.2.1 Rizekent Formasyonu (Jr)

Yesirçöl istifinin taban bölümünü oluşturan ve alttan tektonikle sınırlanan karbonat ara tabakalı kırıntılı kayalar, Rizekent formasyonunun üst seviyeleri ile benzer stratigrafik özellikler taşıdığından Rizekent formasyonu adı altında incelenmiştir. Birim, Kuzgun Barajı'nın batı-güneybatısında geniş yayılım göstermektedir. Yaklaşık kalınlığı 500 m olan birimin alt-üst ilişkileri ve kaya türü özellikleri en iyi izlendiği yer Kızıköprüsü ve çevresidir. Birim kumtaşı, silttaşı, marn, kumlu kireçtaşı ve mikritik kireçtaşı ardalanmasından oluşur. Koyu renkli, orta-kalın katmanlı, orta-ince taneli kumtaşlarında, derecelenme tabaka üst düzeyinde paralel laminalanma ve akıntı kırışıklıkları, tabaka alt yüzeylerinde aşınma ve yük kalıpları gibi yapılar gelişmiştir. Kumtaşları genel olarak; volkanik kaya ve kireçtaşı kırıntılarında oluşur. Açık gri, yeşilimsi renkli, ince katmanlı, volkanit ve plajiyoklaz kırıntılı mikritler ile boz renkli, sarımsı ayrışmalı, kalın katmanlı, yer yer çakıllı, bol biyoklastlı kalkarenitlerden oluşan kumlu kireçtaşları istifin alt düzeyinde daha yaygın olarak bulunur. Rizekent formasyonu, Kop dağı ofiyolitleri ve Elmalı formasyonu üzerine bindirmiştir.

Üste doğru Mescitdağları formasyonuna geçer. Açık şelf ortamında çökelmiş birim, yayılım alanının her kesiminde, karbonat oranının artması ile tedrici olarak, killi mikritlere geçer.

3.2.2 Mescitdağları Formasyonu (Km)

Yer yer kıltaşı, kumtaşı ara düzeyli killi kireçtaşı, çörtlü kireçtaşlarından oluşan birim, Kuzgun Barajı'nın kuzeybatısında (göl alanının bir kesiminde) ve güneybatısında görülmektedir. Birimin kalınlığı 400-500 m'dir. Açık gri, esmer, bej, pembemsi krem renkli olan kireçtaşları, ince-orta katmanlı yer yer kalın katmanlı, sert, yer yer laminalı, ince çört bantlı ve çört yumrulu, düzenli eklemli, kırıklı ve kalsit damarlıdır. Tümüyle ince dokulu kireç çamurundan yapılmış olan mikritler yer yer yumru veya pelletoidler şeklinde koyu renkli kil çamuru kapsar. Birimin en üst seviyesinde; yeşil marn, kıltaşı ve kumtaşı ara düzeyli, ince katmanlı killi kireçtaşı yer alır. Mescitdağları formasyonu, Rizekent formasyonu üzerine geçişli bir dokanakla gelir. Birim; yamaç, yamaç önü ortamında çökelmiştir.

3.2.3 Mescitdağları Formasyonu-Taşdere Üyesi (Kmt)

Fliş benzeri görünümü ile dikkati çeken Taşdere üyesi, genelde kirli beyaz, alaca renkli litarenit, kalkarenit, kıltaşı, marn ve killi mikrit tabakalarının ardalanmasından oluşur. Birim Kuzgun Barajı aks yer ve göl alanı ile Kuzgun derivasyon kondüvisinde yayılım göstermektedir. Düzenli ardalanma gösteren litofasiyelerin, çok düzenli, bazen kıvrımcıklı tabakalarının kalınlığı 5-30 cm arasında değişir. Litarenitler, boz, sarımsı kahve, koyu yeşil renk orta-ince tanelidir. Çok net türbidit sıralanımları izlenebilir. Genellikle orta-iyi boylanmış, kireç çimentolu çört, feldispat, kireçtaşı, volkanik kaya ve glokoni parçalarından oluşur. Taşdere üyesi üzerine geçişli olarak gelen killi mikritlerde silt-kum boyutunda kuvars, volkanik kaya parçaları, bol ammonit, belemnit ve bivalv kalıntısı bulunur. Taşdere üyesine oranla daha seyrek olan kalkarenit ara tabakalarında neritik ortamı karakterize eden biyoklastlar; litarenit tabakalarında, taban yapıları (akıntı izleri), biyotürbasyonlar, kayma kıvrımcıkları (slump yapıları) ve derecelenme yapıları gözlenir. Başkurdere formasyonu tarafından enerji düzeyinin değişimine işaret eden bir kumtaşı tabakası ile uyumlu veya geçişli olarak üstlenen çörtlü mikritler; Başkurdere güneyi ile Toprakkale batısı arasında

Başkurdere formasyonu üzerine devrilmiştir. Burada kuzeye devrik bir senklinal içinde kalan mikritler, güney sınırda, Rizekent formasyonunun altına dalar. Mescitdağları formasyonunun Ovacık birliğindeki mikritleri, havza kenar veya derin şelf kenarı ortamında çökelmiştir. Tabaka içi veya daha büyük ölçekteki kayma-oturma yapılarının çokluğu çökelme tabanını oluşturan şelf kenarındaki eğime işaret eder.

3.2.4 Lanetleme Tepe Formasyonu- Akbaba Kireçtaşı Üyesi (JKla)

Lanetleme Tepe ve Akbaba Tepe dışında kalan alanlarda bağımsız bloklar halinde yüzeylenen kireçtaşları; beyaz, kirli beyaz, hafif pembemsi, gri renkli, yer yer kristalize görümlü oosparit, intraklastlı pelletli biyosparit, biyopelsparit ve biyopelmikritlerden oluşur. Kireçtaşı, sert, düzensiz kırılmalı, bol kalsit dolgulu çatlaklı, yersel breşik yapılı, belirsiz tabakalanmalı bir yönde çok iyi gelişmiş eklemli, karstik erimeli, bloklar halinde yarılmalı ve çok döküntülüdür. Aşınma yüzeylerinde düzensiz karrenler göze çarpar. Serpantinleşmiş ultramafitlerin üzerine geldiği kesimlerde sarımsı kırmızı renkli milonit zonu ile çevrelenmiştir. Sulama alanının kuzeybatısında, Kuzgun Barajı'nın ise güneybatısında kısıtlı alanlarda görülmektedir. Bu kesimde tektonik etkilerle kırılarak dizilmiş (sucuk yapısı) bir mercek olarak yorumlanabilen kireçtaşları, kumtaşları ile üstlenir. Akbaba Tepe'de ise genellikle moloz akmaları ile örtülen kireçtaşı, kuzey sınırında küçük bir alanda, ortaya çıkan kumtaşı üyesinin üzerindedir. Çoğunlukla, ultramafitler üzerinde korunmuş bloklar kümesi halinde görülen kireçtaşı, genç volkanitler veya moloz akmaları ile örtülen bağımsız bloklar şeklinde bir dizilim sunar. Burada dikkati çeken özellik, blokların uzun eksenlerinin dizilim doğrultusuna paralel oluşudur.

3.2.5 Kopdağı Ofiyolitleri (Kko)

Kopdağı ofiyolit napının asıl kütesini oluşturan ofiyolit topluluğu kayaları Kopdağı ofiyolitleri adı altında incelenmiştir. Kuzgun Barajı'nın güneyinde, sulama alanının kuzey-kuzeybatısında yüzeylenimleri bulunan ofiyolitler; Kop Dağı'nın güney yamacında, Erzurum-Bayburt yolu boyunca tipik olarak izlenir. Tektonik hatlar boyunca mercekler şeklinde ortaya çıkan ofiyolitler, Gölyurt formasyonunun yayılım alanının her kesiminde, irili ufaklı bloklarla temsil edilir. Esas itibarıyla mafik ve

ultramafik kayalardan oluşan Kopdağı ofiyolitleri içinde yer yer çökel ve volkanik kaya yüzeylenimlerine ve granitoyitik intrüzyonlara rastlanır. Genellikle aşırı derecede biçim bozulmasına uğramış ofiyolitlerde düzenli bir istiflenme gözlenmez. Deformasyon sırasında gelişen düzensiz kırık ve ekaylarla parçalanmış olan birim ezilmiş ve karmaşık bir yapı kazanmıştır. Karadağ'da olduğu gibi bir ultramafit masifi şeklinde korunabilmiş kesimlerde bile kaya türlerinin sınırları kırılma, ezilme, breşleşme, milonitleşme ve sürtünme yüzeyleri gibi tektonik izler taşır. Masifte özellikle peridotitler egemen kaya türünü oluşturur. Çoğunlukla ultramafitler içinde dayk, damar veya stoklar şeklinde görülen mafik kayalar, bazen net tektonik dokanaklar ile ayrılırlar. Ultramafit-çökel dokanakları ise, her zaman belirgin yapısal izler taşır ve bu kesimlerdeki ultramafitler aşırı derecede serpantinleşmiş, ezilmiş, yer yer silisifiye olmuştur.

3.2.6 Mafik-Ultramafik Kayalar (Kou)

Ofiyolit napı içinde düzenli ya da düzensiz kırıklarla parçalanmış bloksu kütleler halindedir. Elmalı çevirme yapısı ve Elmalı Tüneli'nin kuzeybatısı-güneybatısı boyunca yüzlek veren birim, çoğunlukla koyu yeşil renkli peridotitler içinde dayk veya kafalar şeklinde yüzeylenen piroksenitler, daha açık yeşil renkleri ve bol piroksen kristallerinin parlaklığı ile dikkati çeker. Karadağ batısında daha iyi korunmuş olan peridotitlerde yer yer tektoniklere özgü magmasal bantlaşma, kataklazma, çizgisel paralelizm ve yapraklanma yapıları izlenir. Ancak çoğu kütleler serpantinitten oluşan mavimsi koyu yeşil renkli bir kabukla çevrilidir. Serpantinleşmenin fazla etkin olmadığı kesimlerden alınan örneklerin petrografik incelemesine göre, Kopdağı ofiyolitlerindeki peridotitler, çoğunlukla dünit, harzburgit pek az da verlittir. Bunların değişim kayası olan serpantinitle ise özellikle ultramafit masifinin dışında kalan alanlarda en yaygın kaya türüdür. Ultramafitler içine sokulmuş değişik büyüklüklerdeki dayklar halinde bulunan ve ultramafitlerden ayırtlanamayan mafik kayalar (gabro ve diyabaz) bazı alanlarda izole edilmiş bağımsız kütleler şeklindedir ve bu durumda ultramafitlerle olan dokanakları tektonik izler taşır. Küçük dayklarda erken soğuma kenarları izlenir.

Yeşilimsi boz renkli gabrolar mikroskop altında, holokristalin, kataklastik, taneli, bazen ofitik, poiklitik dokuludur. Kahverengi, yeşil anhedral hornblend, ojit, subhedral-öhedral plajiyoklas (andezin, labrodor) ve piroksen mineralleri bulunur. Tektonik zonlara yakın kesimlerde şiddetli deformasyon etkisi altında kalmış olan gabrolar amfibolite dönüşmüştür. Ultramafit masifleri içindeki ekay zonlarında spilitleşmiş bazalt, andezit lavlarına ve spilitlere rastlanır.

3.2.7 Başkurdere Formasyonu (Kb)

Ovacık birliğinde çörtlü mikritleri üstleyen kumtaşı, marn ve mikritik kireçtaşları Başkurdere formasyonu adı ile tanımlanmıştır (Akdeniz ve diğerleri, 1994). Başkurdere formasyonu, proje alanının kuzeybatısında yayılım gösterir. Kumtaşı-silttaşı-kiltaşı-marn-killi mikritlerin ince-orta kalınlıktaki tabakaların ardalanmasından oluşan formasyonda litofasiyeslerin dağılımı homojen değildir. Genel olarak alt seviyelerde kumtaşı, üstte marnlar egemendir. Yer yer bir diğeri ile girik, kama veya mercek şekilli lithozomlar halinde çökelmiş fasiyesler, Geyik güneyinde; Pinyatan üyesi, Kumtaşı üyesi ve Geyik üyesi adları ile ayırtlanmıştır.

3.2.8 Serçeme Formasyonu (KTs)

Ofiyolit napının ilk örtüsünü oluşturan volkaniklastik kumtaşı, pelajik foraminiferli mikrit ve resifal kireçtaşları Akdeniz ve diğerleri (1994) tarafından Serçeme formasyonu adı ile ayırtlanmıştır. Serçeme Çayı'nda tip kesit veren Serçeme formasyonu, Elmalı çevirme yapısı ve Elmalı Tüneli girişinde yüzeyleyir. Bölgede ofiyolit napları üzerine uyumsuz olarak gelen birim Şehitler Tepe ve Aktaş Sırtı'nda ofiyolitler üzerinde tektonik dokanaklıdır. Genellikle alttan ve üstten tektonik dokanaklarla sınırlanan birimin tip kesitindeki görünür kalınlığı, 300-350 m dolayındadır. Serçeme Çayı vadisinde bol makro fosilli kumtaşı ve şeyller (Eosen) üzerinde tektonik konumlu olan; formasyonun tabanında yer alan yeşilimsi, sarımsı, kıvımsı renkli, yersel içeren bol planktonik foraminifer kalıntılı ince mikrit bandı, olistostromal çakıltaşı mercekleri içeren kumtaşı ve çamurtaşlarına geçer. Yer yer kırmızı radyolarit, çamurtaşı ve spilitleşmiş ve volkanit katkıları gözlenir. Üste doğru, tane boyu incelimi gösteren istifte, kumtaşı-kiltaşı ardalanmasına ve karbonat oranının

artması ile de mikrit ara katkılı marnlara ve killi mikritere geçilir. Formasyon, ultramafitler tarafından tektonik dokanakla üstlenir.

3.2.9 Kayaktepe Formasyonu (Tpek)

Elmalı çevirme yapısı ve Elmalı Tüneli'nin kuzeybatısı-güneybatısı boyunca yüzeylenen alacalı mor renk çakıldaşı-kumtaşı ardalanmasının oluşturduğu stratigrafi seviyesi, Akdeniz ve diğerleri (1994) tarafından Kavaktepe formasyonu adı ile ayrılanmıştır. Kavak Tepe'nin güneyinde tip kesit veren birim, Kavak Tepe'den geçen KD-GB eksenli bir senklinal oluşturur. Yesirçöl Dağı'nın (Yeşilçöl Dağı) güney yamacı boyunca inceleme alanı dışına kadar uzanan birimin tip kesitindeki stratigrafik kalınlığı, 600 m dolayındadır. Yayılım alanının çoğu kesimlerinde, Gölyurt formasyonu ultramafitler veya Lanetleme-tepe formasyonu üzerine çakıldaşı-kumtaşı ardalanması ile diskordan olarak oturan formasyon, Ballıkaya Tepe ve Eskipolat kuzeyinde, Ballıkaya üyesi üzerine uyumlu olarak gelen kirli sarı ayrışmalı, gri renkli, orta tabakalanmalı, kumlu kireçtaşları ile başlar. Genelde mor, renkli çakıldaşı-kumtaşı ardalanması, yerel alanlarda şarabi kırmızı renkli silttaşı veya karbonat yumrularının oluşturduğu ara tabakalar dışında, tabandan tavana kadar pek fazla değişim göstermez. Ardalanma her zaman düzenli değildir. Çakıldaşı ve kumtaşı tabakaları derecelenmeli olduğu gibi, çizgisel de ayrılabilirler. Çakıldaşı tabakalarının tabanında oygu- dolgu yapıları, kazımlar gözlenir. İyi-orta yuvarlanmış, küresel, az küresel, disk şekil kireçtaşı, ofiyolit (serpantinit, gabro, diyabaz, koyu çört, radyolarit) ve sarımsı kahve renkli kumtaşı çakıllarından oluşan çakıldaşında tane boyu ince kum ile kaba çakıl arasında değişir, boylanma kötüdür. Tabanda seyrek bloklar bulunabilir. Yesirçöl Dağı (Yeşilçöl Dağı) güneyi boyunca ultramafitler ve Yesirçöl birliği Kavaktepe formasyonu üzerine itilmiştir. Erken-Orta Miyosen yaşlı Aşkale formasyonunun kumtaşıları, Kavaktepe formasyonu üzerinde açısız diskordanslıdır. Çakıldaşı-kumtaşı ardalanması akarsu ortamının izlerini taşır. Yassı çakıllardaki dizilim ve fabrik, tek yönlü, kuvvetli akıntılara işaret eder. Genel özellikler, proksimal örgülü akarsu çökellerine benzer. Kırmızı siltler ve karbonatlı yumrular bırakılmış yatak çökeli olmalıdır.

3.2.10 Koçdağı Volkanitleri (Tekv)

Ovacık-Olur zonunda Jura-Alt Kretase çökelleri içine sokulmuş volkanik kayalar Koçdağı Tepe'de tipik olduğundan Akdeniz ve diğerleri (1994) tarafından Koçdağı volkanitleri adı altında haritalanmıştır. Koçdağı volkanitlerinin irili ufaklı dayklar şeklindeki yüzeylenimleri, Kuzgun Barajı'nın batısında görülebilmektedir. Çökeller içerisine sokulmuş yarı derinlik veya damar kayaları olan Koçdağı volkanitlerinin etkilediği en genç birim, Alt Kretase kireçtaşlarıdır (Mescitdağları formasyonu) ve bu ilişkiye dayanılarak, sokulumun Erken Kretase sonrasında (Eosen?) gerçekleştiği söylenebilir.

3.2.11 Kopardere Formasyonu (Tek)

Ovacık birliğini kuzeyden sınırlayan, KD-GB uzanımlı dar bir havzada (Kurdere-Oltu zonu) birikmiş çökel istifinin tabanını oluşturan kaba kırıntılılar, Akdeniz ve diğerleri (1994) tarafından Kopardere formasyonu adı altında incelenmiştir. Proje alanının kuzeybatısında yüzeylenir. Genel olarak kötü boylanmalı çakıltaşından oluşan Kopardere formasyonu, yerel alanlarda çakıllı veya bitkili kumtaşlarını da kapsar. Çakıl taşları, kirlili beyaz, sarımsı-yeşilimsi boz, yersel kızılımsı renklidir. Bol kireçtaşı (mikrit, çörtlü mikrit), çört, kumtaşı çakılları yanında metamorfik, volkanik ve ofiyolit kayalarının parçalarını da içerir. Üzerine geldiği Ovacık birliğinin karbonatlı seviyelerinden aldığı kireçtaşı parçaları ana tane türünün büyük oranını oluşturur ve bu oran değişse bile kireçtaşı çakıllarının yoğunluğu Kopardere formasyonunun karakteristik özelliğidir. Çakıltaşında genellikle iyi yuvarlanmış, küt köşeli tanelerin boyları, kaba kum ile iri çakıl arasında değişir. Kopardere'de özellikle tabana yakın kesimlerde, 80-100 cm ye ulaşan küt köşeli bloklar gözlenebilir. Çoğu küresel şekilli olan taneler, tane desteklidir. Bazı kesimlerde yaygın kum matriksin yoğunlaşması ile oluşan kumtaşı mercikleri, bir yamaç molozu birikimi gibi görünen çakıltaşlarında kaba bir tabakalanmanın belirmesini sağlar. Üste doğru belirgin derecelenme ile kumtaşına geçer. Ketin (1951)'e göre, fliş fasiyesinde gelişen Eosen'in alt kısmında, 1600 m kalınlığa ulaşan çakıltaşı ve kumtaşları Yipresiyen yaşındadır.

3.2.12 Elmalı Formasyonu (Tee)

Birbirleri Serçeme vadisinde Aksay (1987)'ın Ağcakent formasyonunu karşılayan kızıl renkli çakıltası, kumtaşı ve nummulitli kireçtaşları Akdeniz ve diğerleri (1994) tarafından Elmalı formasyonu adı ile ayırtlanmıştır. Birimin inceleme alanındaki kalınlığı 40-50 m dolayında olup, Elmalı Tüneli giriş kesiminde ve Elmalı çevirme yapısının kuzeydoğusunda küçük yamalar şeklinde yüzeylenmektedir. Ultramafitler veya Yesirçöl birliği üzerine açılal diskordansla oturan Elmalı formasyonu, bağımsız yüzeylenimlerinin tümünde bir çakıltası ile başlar. Ultramafitler üzerine geldiğinde kızıl renkli olan bu çakıltası, çökeller üzerinde, gri, boz renklidir. Oldukça iyi yuvarlanmış, bazen yassı kireçtaşı, çört, radyolarit, ultramafik ve volkanik kaya çakıllarından oluşan, kötü boylanmalı çakıltaları, genellikle kumtaşına derecelenir. Yersel yaygın kiltası- marn ara tabakaları içeren kumtaşlarının üzerinde, yer yer kumlu kalkarenit görünümünde, kalın tabakalanmalı, bazen ince yapraklanmalı, bol nummulitli, sarı renkli kireçtaşları yer alır. Aksay (1987), Arpat (1965)'ın Eosen yaşını verdiği formasyonda Erken-Orta Eosen yaşını veren fosilleri bulmuştur. Genel özellikleri ile kırıntılı sığ kıyı ortamını yansıtan birim, Miyosen çökel ve volkanitleri ile uyumsuz olarak örtülür. Yesirçöl Dağı (Yeşilçöl Dağı) güney yamaçları ve Ağcakent dolaylarında Yesirçöl birliği tarafından tektonik olarak üstlenir.

3.2.13 Gölveren Andeziti (Tega)

Karadağ-Yesirçöl Dağı (Yeşilçöl Dağı) uzanımının güney yamaçlarında ultramafitlerin kesen andezit sokulumları Gölveren andeziti adı ile ayırtlanmıştır (Akdeniz ve diğerleri, 1994). Elmalı çevirme yapısının güneybatısında küçük bir alanda ortaya çıkan andezitler, yer yer aşırı derecede ayrılmış, kurşuni gri, sarımsı kahve renkli, porfirik dokulu, genellikle düzensiz kırıklı bir andezittir. Taze yüzeylerde, porfirik dokuyu oluşturan, beyaz benekler halindeki feldispat ve altıgen şekilli hornblend kristalleri dikkati çeker. Ayrıştığı kesimlerde, bol limonitten dolayı sarı beneklidir. Kavaktepe formasyonu kayalarını kesen Gölveren andeziti, Lütesiyen Sonu yaşlı bindirme düzleminin altında kalır ve bu ilişkilerine göre, Lütesiyen yaşlı bir volkanizmanın ürünü olmalıdır.

3.2.14 Aşkale Formasyonu (Tma)

Birbirleri ile girik sığ denizel, lagüner ve karasal fasiyeslerden oluşan evaporitli çökeller Aşkale formasyonu adı altında incelenmiştir (Akdeniz ve diğerleri, 1994). Proje alanının batısında geniş yayılım gösteren Aşkale formasyonu, genellikle, gri, yeşilimsi, kirli sarı renkli kumtaşı ve kiltaşları ile başlar. Yersel alanlarda ise, bol ofiyolit çakılı içeren, kızıl renkli, gevşek çakıltaşı ve kumtaşlarından oluşan taban fasiyesleri (Ciritmeydanı, Atçayırı ve Karaçayır üyeleri) gelişmiştir Düzensiz uzanımlı jips (Jips üyesi) ve bazı alanlarda ofiyolitik temel üzerine oturan kireçtaşı (Taşpınar üyesi) mercikleri içeren kumtaşı kiltası seviyesi üstten, gevşek çakıltaşına (Çatveren üyesi) geçer. Kop Geçidi'nde mavimsi renkli marn ve yalnızca ostrakod kavkılarında oluşan açık renkli kireçtaşı ara tabakaları kapsayan kiltaşları içinde dağılmış kristaller veya ince damarlar halinde görülen jipsler, Kapıkale doğusunda kalın mercikler oluşturur. Aşkale formasyonu Kurtdere-Oltu zonunda açık renkli, bol çakıllı, gastropodlu kiltası ve marnlara değişen, kalın bir çakıltaşı (Karaçayır üyesi) ile başlar. Yer yer sarımsı renkli çakıltaşı mercikleri içeren marnlar üzerinde kaba dokulu, oolitle kireçtaşları yer alır. Ostrea kabukları şeklinde ayrışan, çok ince-orta tabakalanmalı, yer yer yumrulu veya travertenimsi görümlü bu kireçtaşları bol tatlı su alg'idir. Kireçtaşını üstleyen kirli sarı, yeşilimsi boz renkli, kötü ayrışmalı bol ostrakod kalıntılı kiltası, marn ve limonit benekli kumtaşı ardalanmasının üst seviyelerinde karbonat oranı yeniden artar ve resif büyümesi gösteren, bol ostrakod ve bivalv kavkılı, kirli beyaz renkli, tebeşirimsi kireçtaşı tabakaları ortaya çıkar. Batıya doğru kalınlaşan tebeşirler üzerine kızıl renkli kumtaşı (Purdere üyesi) gelir. Kurt Çayı'nın kuzeyinde ise, sarı renkli kumtaşları ve kiltaşları yaygındır. İspir- Pazaryolu dolayında bol ostrakod ve yer yer 25-30 cm kalınlığa ulaşan kömür mercikleri içeren, bitümlü şeyl görümlü, kartonsu yayımlı kiltaşları dikkati çeker.

3.2.15 Karahan Formasyonu (Tmplk)

İspir-Karahan linyitlerini içeren volkaniklastik katkılı göl çökelleri Karahan formasyonu adı altında incelenmiştir (Akdeniz ve diğerleri, 1994). Kuzgun Barajı kuzeyi ve göl alanında geniş bir yayılım gösteren formasyonun toplam kalınlığı 100-125 m dolayındadır.

Karahan formasyonu altta, sarı renkli kumtaşı, silttaşı, mavimsi bej kiltası ve laminalı marnlardan oluşur. Çipot (Kazancık Mahallesi)-Karahan arasında yer yer iri kireçtaşı çakıl ve bloklarını da kapsayan bu taban seviyesinin üstüne doğru giderek artan volkaniklastikler kömürlü seviyenin altında, kirli beyaz renkli, karbonatlı tuf-tüfit tabakalarını oluşturur. Tebeşirsi, beyaz tüfitler üzerinde yer alan 8-10 m kalınlığındaki kömürlü düzeyde, yer yer 1,5- 2 m kalınlığa ulaşan iki alt damar işletilir. Kömürlü düzey üzerinde kiltası ve kumtaşı ara tabakalı, gri renkli, iri kristalli, vitrofirik dokulu, andezitik tüfleri, gevşek litik tuf, tüfit ve sınırlı yayılım gösteren aglomeralarla devam eden birim Gavurdağı volkanitlerini oluşturan lavlar tarafından üstlenir. Karahan formasyonunun laminalı marnları, tatlı su ortamını karakterize eder. Kömürleri oluşturan bitki kalıntıları, sığ göl kıyısındaki turba bataklıklarından taşınmıştır. Kömür içeriği nedeniyle oldukça ayrıntılı araştırmalara konu olan Karahan formasyonu, kömürlü düzeyin baz olarak alındığı bütün bu çalışmalarda (Has, 1968; Gelincik ve İsmailoğlu 1981) genellikle, alt tüfit, kömürlü seri ve üst tüfit olmak üzere 3 stratigrafik seviyeye ayrılarak incelenmiştir. Gelinkaya formasyonu ile yanal ilişkili olması gereken Karahan formasyonu, Tarhan ve diğerleri (1992)'nin Aşkale-Çat dolaylarında ayırtladıkları Yolüstü formasyonu ile deneştirilebilir.

3.2.16 Ürünlü Formasyonu (Tmü)

Gösel ortamda çökelmiş, tuf ve epiklastik ara katkılı kumtaşı-silttaşı-marn araldanmasından oluşan birim, Konak ve diğerleri (2001) tarafından Ürünlü formasyonu olarak adlandırılmıştır. Birimin kalınlığı 40-50 m dolayındadır. Çipak regülatörünün kuzeybatısında ve Çipak sulama alanının yaklaşık ilk 4 km kesiminde gözlenen formasyon, genellikle kirli beyaz-bej-kirli sarı renkli olan birim, çamurtaşı ara katmanlı kumtaşlarıyla başlar ve üste doğru tuf-epiklastik ara katkılı kumtaşı-silttaşı-marn araldanmasına geçer. Kumtaşları, ince-orta katmanlı, silttaşı ve kiltası düzeyleri ise daha çok ince ve belirgin katmanlıdır. Ürünlü formasyonu yanal ve düşey yönde volkanitlere geçer. Ürünlü formasyonu, volkanik karakterli Karataş formasyonu üzerine açılal uyumsuzlukla gelir. Birim Geç Miyosen yaşlı volkanitler ve Mescitli formasyonu tarafından uyumlu ve geçişli olarak örtülür. Ürünlü formasyonunda yaş verecek fosil bulunamamıştır.

Çalışma alanı dışında Geç Miyosen yaşlı Harabedere formasyonu ile yanall olarak girik olması nedeniyle birimin yaşı da Geç Miyosen kabul edilmiştir (Konak ve Hakyemez, 2008). Ürönlü formasyonu, göl ortamında çökelmıştır.

3.2.17 Mescitli Formasyonu (Tmm)

Riyolitik bileşimli piroklastik akıntı, döküntü ve az miktarda sürge istiflerinden oluşan ve hemen hemen tümüyle camsı materyalden meydana gelen birim Rathur (1965) tarafından Mescitli formasyonu olarak tanımlanmıştır. Aynı birim Keskin (1998) tarafından "Taban tuf düzeyi" olarak anlatılmıştır. Çipak regülatörü ve çevresinde gözlenen birim genel olarak, gri ve beyaz ignimbiritler ile piroklastik döküntü katmanları ile bazik lav merceklerinin ardalanmasından oluşur. Birim bazen tek bir lav veya piroklastik akıntı/döküntü düzeyinden oluştukları gibi bazen de çok sayıda lav akıntıları veya piroklastiklerin üst üste istiflenmesinden de meydana gelmişlerdir. Bazen istif içindeki bir lav veya piroklastik birim, anahtar düzey oluşturacak biçimde uzun mesafeler izlenebilmekte, yüzlerce km² alanı kaplayabilmektedir. Birimin kalınlığı yer yer 150-200 m'ye kadar ulaşır. Mescitli formasyonu, Ürönlü formasyonu üzerine uyumlu ve geçişli olarak gelir. Dumludağı'nda üzerine uyumlu ve geçişli olarak Arzutu dasiti gelirken, Güngörmez köyü civarında Güngörmez volkaniti tarafından da uyumlu ve geçişli olarak örtülür. Birimin lav düzeylerinden alınan örnekten K/Ar yaş tayini 6,541±0,14 milyon yıl vermiştir (Keskin, 1998). Bu da Geç Miyosen yaşına denk gelmektedir. Bu nedenle birimin yaşı Geç Miyosen olarak kabul edilmiştir.

3.2.18 Arzutu Dasiti (Tmar)

Daphan-3 sulama alanı ile Çoraklar sulama alanı arasında izlenen ve plajiyoklas, amfibol ve çok az miktarda bronzit-hipersten ve ojit mikrokristalleri ve mikrolitler içeren, mikroporfiritik dokulu, gri, bazen pembemsi renkli kalın ve masif lav akıntıları Keskin (1998), tarafından Arzutu dasiti olarak adlandırılmıştır. Birimin yaklaşık kalınlığı 50-70 m civarındadır. Arzutu dasiti, Dumludağı'nda, Mescitli formasyonu üzerine uyumlu ve geçişli olarak gelir. Güngörmez volkaniti tarafından da uyumlu ve geçişli olarak örtülür. Birim, Mescitli formasyonu ile eş yaşta olup, yaşı Geç Miyosen olarak kabul edilmiştir.

3.2.19 Güngörmez Formasyonu (Tmg)

Andezitik ve dasitik lavlardan oluşan birim Keskin (1998) tarafından Güngörmez volkaniti olarak adlandırılmıştır. Çipak sulama alanının doğusunda geniş bir yayılım gösteren birimin kalınlığı genel olarak 300-400 m civarında olmakla birlikte, Güngörmez köyü civarında birimin kalınlığı yaklaşık 600 m civarında olduğu belirtilmiştir. Birim genel olarak siyahtan açık griye kadar değişen renkler sunan, afirik yer yer vesiküler doku sergileyen masif genellikle homojen, levhamsı eklem takımlı Andezitik ve dasitik lav düzeylerinden oluşur. Birim bazı düzeylerde dış görünüşü itibariyle bazaltı andıran dasitik bileşimde siyah kompakt ve afirik lav düzeyleri de kapsar. Güngörmez volkaniti, tabanda Mescitli ve Arzutu dasiti üzerine uyumlu olarak gelir. Birimin alt düzeyindeki lavlardan alınan örnekten K/Ar yöntemiyle $6,54 \pm 0,14$ My yaşı belirlenmiştir (Keskin, 1998).

3.2.20 Gavurdağı Volkaniti (Tmgv)

Genel olarak andezit, bazaltik andezit ve bazaltik lavlardan oluşan birim, Akdeniz ve diğerleri (1994) tarafından Gavurdağı volkaniti olarak adlandırılmıştır. Birim çalışma alanında Elmalı Tüneli güzergâhının temel kayası olan birim, Çipak ile Çoraklar sulama alanlarının kuzeyinde geniş bir yayılıma sahiptir. Birim genel olarak bozumsu gri, gri, koyu renkli soğuma çatlaklı, masif, levhamsı eklem takımlı, iri tane kristalli, porfirik ve afiritik dokulu, amfibol fenokristalleri ve çok az miktarda klinopiroksen mikrokristalleri içeren dasitik-andezitik lavlardan kızılımsı kahve renkli, gaz boşluklu, porfirik ve vitoporfirik dokulu, plajiyoklaz ve piroksen fenokristalleri içeren, yer yer akıntı doku gösteren bazaltlardan oluşur. Bu lavlar arasında, beyaz tuf ve kahve renkli, ayrışmalı, kötü boylanmalı aglomera mercekleri izlenir. Gavurdağı volkaniti, Mescitli formasyonu üzerine uyumlu olarak gelir. Üzerinde ise uyumsuz olarak Pliyosen yaşlı Gelinkaya ve Pliyo-Kuvaterner yaşlı Horasan formasyonu yer alır. Gavurdağı volkaniti, Keskin (1994, 1998) tarafından tanımlanan Geç Miyosen yaşlı Güngörmez ve Dumlu volkanitlerine eş değer olması ve Pliyosen yaşlı Gelinkaya formasyonu tarafından uyumsuz olarak örtülmesi nedeniyle birimin yaşı Geç Miyosen olarak yorumlanmıştır.

3.2.21 Gelinkaya Formasyonu (Tmplgk)

Çakıltaşı, kumtaşı, silttaşı, kiltası, marn, tüfit ve aglomera tabakalarının düzensiz ardalanmasından oluşan birim, Arpat (1965) tarafından adlandırılmıştır. Çoraklar sulama alanının tamamında yüzeylenen Gelinkaya formasyonu; boz, gri, sarımsı gri renkli, çakıltaşı, kumtaşı, silttaşı, kiltası ardalanması ile başlar. Birim içinde yanal-düşey yönde tane boyu değişimleri, derecelenme, kamalanma ve merceklenme olağandır. İstifin orta düzeylerinde, kirli beyaz renkli tüfitler, kahve renkli aglomera ara düzeyleri yer alır. İstifin taban ve üst düzeyinde yer alan çakıl taşları kötü boylanmalı, tane destekli, derecelenmeli, orta-kaba taneli, tablamsı ve tekneimsi çapraz tabakalıdır. Tabaka alt düzeylerinde oygu-dolgu, yapıları gelişmiştir. Gri, boz, yeşilimsi, renkli, paralel Laminallı kiltaları dereceli olarak marnlara geçer. Kiltaları ile ardalanmış kumtaşlarında derecelenme ve paralel laminalanma iyi gelişmiştir. Gelinkaya formasyonu, bölgede yaygın olarak mostra veren Geç Miyosen yaşlı volkanitler üzerine uyumsuz olarak gelir (Arpat, 1965; Aksay, 1987). Aşkale formasyonu üzerine diskordan olarak gelen kırıntılılar, yanal-düşey geçişli olduğu Gavurdağı volkanitleri tarafından üstlenir. Birimin kalınlığı yaklaşık 1000 m dolayındadır. Sedimantolojik özellikleri, Gelinkaya formasyonunun tabanının bir akarsu ortamında çökeldiğini gösterir. Giderek bir tatlı su gölüne dönüşen bu çökel ortamında biriken kiltası ve marnlar, belki de doldurulmuş göl üzerinde ilerleyen akarsularla taşınmış yeni bir çakıltaşı tarafından üstlenir.

3.2.22 Çobandere Volkanitleri (Tc)

Ağırlıklı olarak bazaltlardan oluşan Pliyosen ve daha genç volkanitler Çobandere bazaltları (Tokel, 1965) ve Kargapazarı bazaltları (Akkuş, 1965) olarak adlandırılmıştır. Piroklastik düzeylerin de önemli bir yer tutması nedeniyle birimin adı Çobandere volkanitleri olarak kullanılmıştır. Bu volkanitler konumu ve özellikleri yönüyle Karayazı volkanitleri ile denestirilebilir. Koyu siyah ve kahverengi, yaygın olarak gaz boşluklu ve soğuma eklemli olan lavlar, porfirik dokulu ya da akma dokusu gösteren intersertal dokuludur. Bazaltlarda plajiyoklas mikrolitli bir hamurda olivin, hornblend, ojit, andezin-labrador arası plajiyoklas çubukları ve opak elemanlar görülmektedir. Bu volkanitler bol yeşilimsi likenlidir. Çobandere volkanitleri, daha

eski birimlerin üzerinde yataya yakın bir konumda yer alır. Pliyosen ya da Pliyo-Kuvaterner yaşlı olabilir.

3.2.23 Heyelanlar (Qh)

Çökme, kayma ve yüksek viskoziteli akmlar şeklinde gelişen bu heyelanlar heterojen litofasiyeslerden oluşan, Jura-Kretase yaşlı fliş veya fliş benzeri kırıntılı çökeller (Akçağıl formasyonu, Kelkit formasyonu, Konakyeri formasyonu, Yeşiltepe formasyonu, Gölyurt formasyonu ve Rizekent formasyonu) ile ayrılmış volkanitler (Çoruh formasyonu) jipsli çökellerin (Aşkale formasyonu) yüzeylendiği alanlarda oldukça yaygındır. Çoğu kesimlerde kalın tabakalanmalı resifal kireçtaşı falezlerinin eteklerinde döküntü akmları gözlenir. Bir kısım heyelanların çökme alanlarında küçük göller oluşmuştur. Heyelan afeti nedeniyle inceleme alanında birçok köyün (Elmalı, Taşçılar, Taşpınar) yeri değiştirildiği gibi daha birçok köy (Kılıççı, Göztepe, Yeşiltepe, Gölyanı, Deliktaş Mah., Yk. Masat, Çimağıl-Taşındibi Mah., Petekkaya, İğdir, Ballıtaş, Söğütlü) ve yol güzergâhları da aktif heyelan tehdidi altındadır.

3.2.24 Eski Alüvyon Yelpazesi Çökelleri (Qeay)

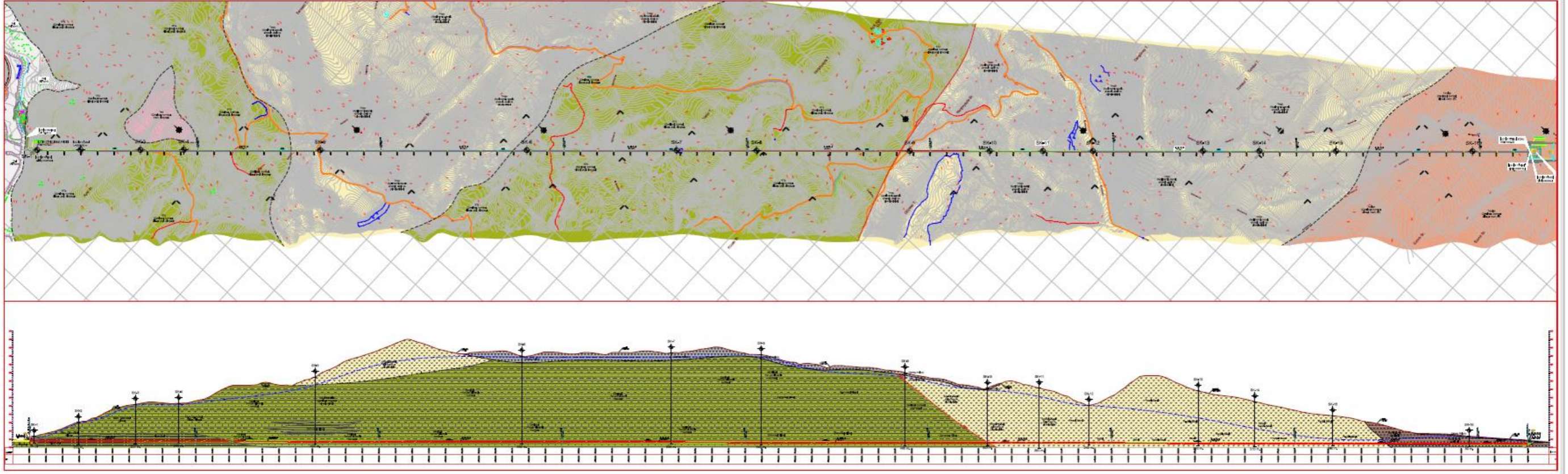
Tutturulmamış blok, çakıl, kum, silt boyutunda, köşeli, yarı köşeli kaya türlerinden oluşur. Çipak sulama alanının büyük bir kısmı ile Daphan-3 sulama alanının kuzey kesiminde görülmektedir.

3.2.25 Yamaç Molozu (Qym)

Dağ ve tepe gibi yüksek engebelerin eteklerinde dolgunlaşmış ve malzemesi bu engebeyi oluşturan kayalardan türemiş, köşeli, tane destekli çakıltaşı ve bloklardan oluşur.

3.2.26 Alüvyon (Qal)

Günümüz akarsu yataklarında dolgularan çakıl, blok, kum, silt, kil gibi çok çeşitli boyutlarda tutturulmamış çökellerdir. Daphan-3 sulama alanının büyük bir kısmı alüvyon birimler üzerindedir.



AÇIKLAMALAR

		---	OLASI FORMASYON SINIRI
		---	OLASI FAY / BİNDİRME SINIRI
		---	YERALTISUYU SEVİYESİ
		TSK-1	Temel Araştırma Sondajı (Plan)
		TSK-1	Temel Araştırma Sondajı (Boykesit)
		DES-1	Jeofizik Rezistivite Ölçüm Noktası
SENOZOYİK	Kuvaterner	Qal	Alüvyon (Kum, çakıl)
		Qym	Yamaç Molozu/Heyelan Döküntüsü (Çakıllı, kumlu, killi silt)
	Pliyosen	Tmplgk	Gelinkaya Formasyonu (Çakıllı, kumtaşı, silttaşı, mam, tüf)
		Tmngv	Gavurdağı Volkaniti (Ayrılmamış bazalt, andezit, dasit ve piroklastikleri)
	Miyosen	Tee	Elmalı Formasyonu (Çakıllı, kumtaşı, mam, kireçtaşı)
Paleosen		KTs	Serçeme Formasyonu (Çakıllı, kumtaşı, kilitaşı, şeyl, kireçtaşı)
	Kretase		

Şekil 3.1 Erzurum Elmali Tüneli boyunca 1:5000 ölçekli hazırlanan jeoloji haritası ve boy kesiti.

Üst Sistem	Sistem	Seri	Simge	Litoloji	Açıklamalar
SENOZOYİK	Kuvaterner	Holosen	Qal/Qym		Alüvyon (Qal): Kum, çakıl Yamaç Molozu (Qym): Çakıllı, kumlu, killi silt
			Qay/Qeay		Alüvyon Yelpazesi (Qay) / Eski Alüvyon Yelpazesi (Qeay): Kumlu, killi silt — Uyumsuzluk
		Neojen	Pliyosen	Tç	
	Tmpgk				Gelinkaya Formasyonu: Çakıtaşı, kumtaşı, silttaşı, marn, tuf ve aglomera — Uyumsuzluk
	Miyosen		Tmgv		Gavurdağı Volkaniti: Ayrılmamış bazalt, andezit, dasit ve piroklastikler
			Tmg		Güngörmez Volkaniti: Andezitik ve dasitik lavlar — Geçişli
			Tmar		Arzutu Dasiti: Porfirik dokulu dasit — Geçişli
			Tmm		Mescitli Formasyonu: Bazalt ara katkılı piroklastik dokuntu ve tuf — Geçişli
			Tmü		Ürünü Formasyonu: Çakıtaşı, kumtaşı, silttaşı, marn — Uyumsuzluk
			Tmpk		Karahan Formasyonu: Kömürlü kumtaşı, silttaşı, kilitaşı, marn, tuf — Uyumsuzluk
			Tma		Aşkale Formasyonu: Jips ara katkılı çakıtaşı, kumtaşı, kilitaşı, kireçtaşı, silttaşı — Açısal Uyumsuzluk
			Paleojen	Eosen	Tega
	Tee				Elmalı Formasyonu: Çakıtaşı, kumtaşı, marn, kireçtaşı — Uyumsuzluk
	Tek				Kopdere Formasyonu: Çakıtaşı, kumtaşı — Uyumsuzluk
	Tekv				Koçdağı Volkanitleri: Porfirik andezit, trakiandezit, dasit — Uyumsuzluk
	Paleosen	Tpek			Kavaktepe Formasyonu: Çakıtaşı, kumtaşı — Geçişli
		KTs			Serçeme Formasyonu: Çakıtaşı, kumtaşı, kilitaşı, şeyl, kireçtaşı — Uyumsuzluk
		Kretase		Üst Kretase	Kb
	Ko/Kou				Kopdağı Ofiyolitleri (Ko): Serpantin, peridot, gabro, diyabaz Mafik-Ultramafik Kayalar (Kou): Serpantin, peridot, piroksenit — Tektonik
	Alt Kretase		JKla		Lanetlemepe Formasyonu Akbaba Kireçtaşı Üyesi: Resifal kireçtaşı, oosparit, biyopelsparit — Tektonik
Km/Kmt				Mecitdagları Formasyonu (Km): Mikrit, kumtaşı, çörtlü mikrit Tardere Üyesi (Kmt): Kumtaşı, kilitaşı, pelajik-hemipelajik kireçtaşı — Geçişli	
Jura			Üst Jura	Jr	

Şekil 3.2 Erzurum Elmalı Tüneli ve çevresine ait Stratigrafik Dikme Kesiti (Ölçeksiz)

3.3 Yapısal Jeoloji ve Tektonizma

İnceleme alanında, ilk kez Maastrichtiyen-Paleosen öncesi, Eosen sonu ve Orta-Üst Miyosen'de başlayıp günümüzde de sürmekte olan üç önemli tektonik evre ayırtılarak ilgili yapılar haritalanmıştır (Şekil 3.3).

Maastrichtiyen-Paleosen öncesi evrede, Akdağ Metamorfitletine ofiyolitli karmaşığa bindirmiştir. Metamorfitletler, karmaşığın altından tektonik bir pencere biçiminde yüzeylenmiştir. Ancak verrev atımlı faylar boyunca sınırlı olarak, metamorfitletler, ofiyolitli karmaşığın üzerinde yer alır.

Eosen sonu evrede ise ofiyolitli birimler, güneyindeki ve kuzeyindeki Maastrichtiyen-Eosen yaş aralığına sahip birimlere bindirmiştir. Bindirmelerin uzantıları yer yer Oligosen-Alt Miyosen yaşlı birimler tarafından örtülmüştür.

Orta-Üst Miyosen-Günümüz aralığında gelişen yeni tektonik evrede, Doğu Anadolu'nun sıkışma rejiminde denetiminde kaldığı ve doğu-batı uzanımlı kıvrım ve bindirmelerin yanı sıra doğrultu atımlı fayların meydana geldiği benimsenmektedir (Saroğlu ve diğerleri, 1980; Saroğlu, 1986; Barka, 1984; Koçyiğit ve diğerleri, 1985).

Yapılan çalışmada doğrultu atımlı fayların iki demet halinde olduğu ve doğrultu atımın egemen olduğu verrev faylar biçiminde gelişimlerini sürdürdükleri, bu fayların bazen kuzeydeki bazen güneydeki blokların yükseldiği belirlenmiştir. Fayların konumu ve ilişkin olduğu genç havzalarda ilişkileri irdelendiğinde gerek Tekman-Karayazı havzasının, gerek Erzurum- Pasinler havzalarının, verrev atımlı fayların denetiminde biçimlendiği ve bazı genç oluşuklarda genel gidişe aykırı yapıların (Barka, 1984) da geliştiği söylenebilir.

Tez çalışma alanı ve çevresinde Doğu Anadolu'da Koniasiyen?/Üst Maastrichtiyen ve Alt/Orta Miyosen zaman aralıklarında olmak üzere iki farklı jeolojik evrede kuzey güney sıkışma kuvvetleri ile naplı ve bindirmeli yapılar gelişmiştir (Tarhan, 1986, 1987, 1989a_ 1992).

Tez çalışma alanı ve çevresinde tabanda Anadolu ada yayı volkanosedimanter serisi yer alır Söz konusu bu birimi metaperidotitler tektonik bir dokanakla üzerlenmiştir.

Ada yayı birimlerini ve metaperidotitleri açısız uyumsuzlukla Üst Maastrihtiyen Alt Miyosen yaşlı birimler örter. Çalışma alanı ve dolayında Alt Miyosen yaşlı Adilcevaz formasyonu ve bunu oluşturan üyelerin yaygın yüzeylemeleri görülür. Çalışma alanında Alt Miyosen sonrası bindirmelerin gözlenememiştir.

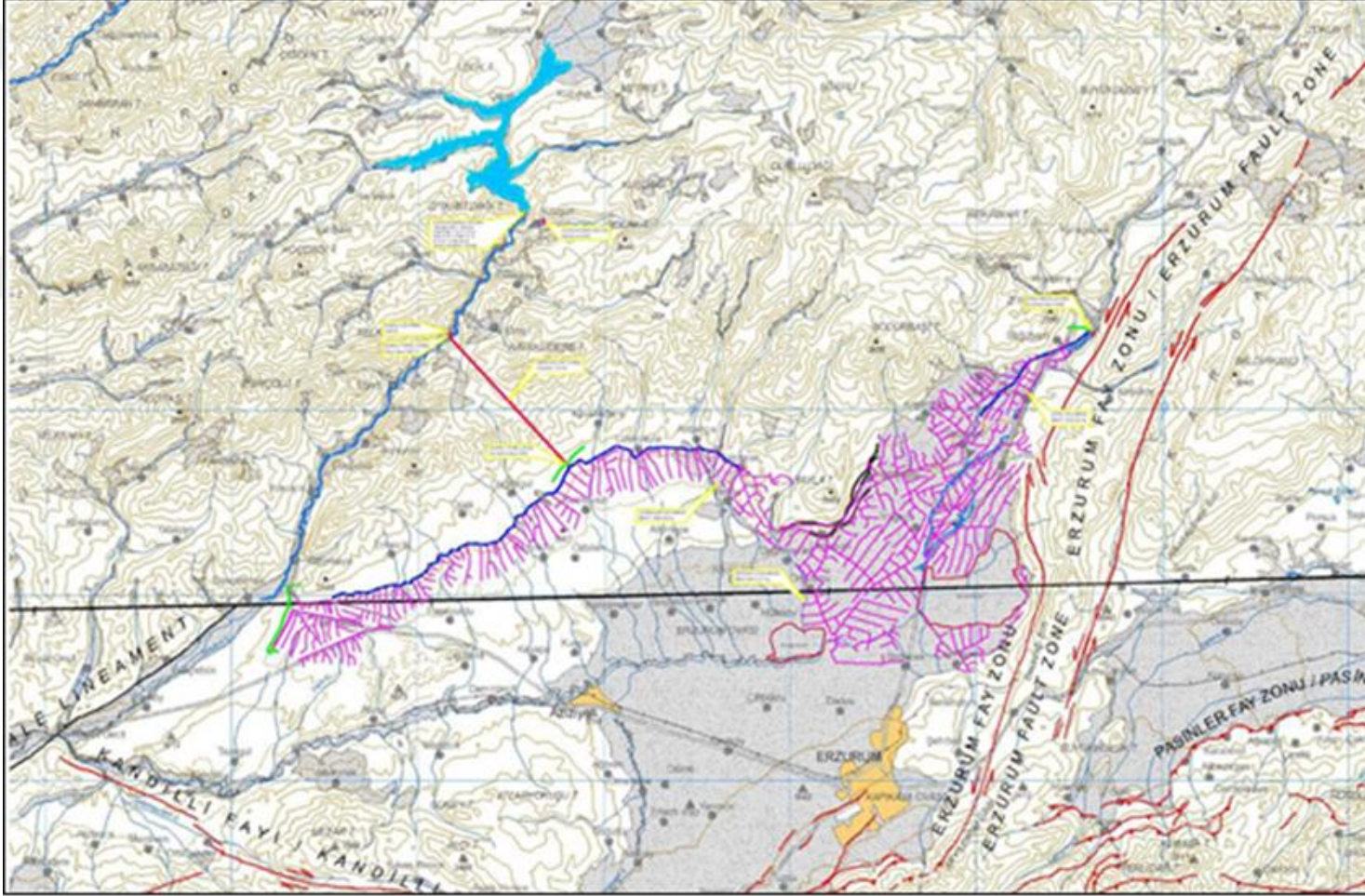
Tez çalışma alanı ve çevresinde KD-GB ve KB-GD yönlü fay sistemlerinin yaygınlığı dikkat çekmektedir. Söz konusu fay sistemleri, harita alanı içinde Aşkale Kükürtlü Penek ve Çat dolayında dar açılarla kesişirler. Kesişen bu fay sistemleri arasında kalan bölge baklava dilinimli bir tektonik yapı geliştirmiştir. KD-GB yönlü faylar sol yanal atımlı olup, Doğu Anadolu Fayı (DAF) sistemi isinde gelişmiş aktif doğrultu atımlı faylardır. Bu sistemdeki en büyük kırık zonunu Aşkale fay kuşağı ile Dumlu fay kuşakları (Koçyiğit ve diğ. 1985; Koçyiğit. 1985) oluşturmaktadır. Koçyiğit ve diğ. (1983) bu fay kuşaklarında yer alan kırık hatlarını tek tek adlamışlardır. KB GD yönlü fay hatları ise sağ yanal doğrultu atımlı faylar olup, Kuzey Anadolu Fay (KAF) sistemi içerisinde gelişmiş aktif fayları oluştururlar. Çat-Dumanlıdağ dolayından geçen. KB GD yönlü fayları Aşkale Penek dolayında Aşkale fay kuşağı; Çat dolayında ise Erzurum Dumlu fay kuşakları tarafından basamaklı bir şekilde kesildikleri gözlenmiştir. Bu olgu; KD-GB yönlü fay hatlarının bölgede daha etkin ve daha aktif olduklarını ortaya koyar. Başka bir deyişle, Aşkale Çat, Erzurum Pasinler dolayında KD-GB yönlü Doğu Anadolu Fay sisteminin kuzey kolunu oluşturan (Erzurum Kars Gürcistan arasında), söz konusu bu bölgedeki fayların aktifliklerinin daha etkin olduğunu göstermektedir. Nitekim 1983 yılındaki Pasinler-Narman depremi ve daha sonraki yıllarda gelişen depremler, bu bölgedeki KD-GB yönlü fayların zaman zaman yeniden harekete geçtiğini ve yer yer yeni kırık hatların oluşumlarına neden olduğu izlenmiştir. Ancak çalışma alanının güneyinde Erzincan Karlıova arasında yer alan KB GD yönlü fay sistemleri Kuzey Anadolu Fay zonunu oluşturmaktadır. Söz konusu bu fay zonu ise kuzey ve güneydeki KD-GB yönlü fay sistemlerini çok belirgin bir şekilde keserek, atımlara neden olmuştur (Tarhan ve diğ., 1992). Erzincan Karlıova arasındaki bölgede KB GD yönlü fay sistemleri, KD GB yönlü fay sistemlerine oranla daha etkin olup, aktif oldukları ortaya çıkmaktadır. Nitekim 13 Mart 1992 Erzincan ve 16 Mart 1992 Pülümür depremleri söz konusu yerde KAF zonunda bazı fayların yeniden harekete geçmeleri sonucu gelişmişlerdir. Bu depremler sırasında yeni fay kırıklarının

gelişmesi de doğaldır. Ayrıca, Erzincan Pülümür arasında Ovacık-Çağlıyan'dan geçen KD GB yönlü Doğu Anadolu Fay sistemine ait aktif fay hattı Erzincan çöküntü alanında Derebağ köyü dolayında Kuzey Anadolu Fayı tarafından dar bir açı ile kesilir. Erzincan ve Pülümür arasında sık sık gelişen depremler KAF ve DAF sistemlerinin kesiştikleri bu alan içerisinde görülür. Bu alan tıpkı Karlıova'daki gibi üçlü bir kesişme noktasını oluşturmaktadır. Bu üçlü kesişme noktasında KAF zonu, Ovacık Çağlıyan-Derebağ (Erzincan) köyünden geçen fay zonuna oranla daha aktif ve morfolojide daha belirgin bir iz geliştirmiştir.

Ancak, Erzincan Karlıova arasında KAF zonu belirgin bir hat oluşturmadığı, seyrek fay hatları ile karakterize olduğu gözlenir. Erzincan-Karlıova arasında KAF zonu boyunca gelişen depremleri takiben, ritmik olarak Karlıova Bingöl veya Erzurum Pasinler Kağızman arasındaki DAF sistemlerine paralellik sunan fay hatları boyunca depremlerin gelişimi beklenir. KAF ve DAF sistemlerinin geçtikleri bölgede, birbirini takiben, ritmik ve tekrarlanmalı bir şekilde büyük, orta ve küçük şiddetteki depremlerin gelişimi kaçınılmazdır. Söz konusu bu fay sistemleri boyunca birbirini takip eden depremler ve üçlü kesişme noktalarından dolayı da makaslanma zonlarını geliştirmiştir.

Doğu Anadolu ve Kafkaslardaki depremlerin sığ odaklı olduğu ve yitim zonuna bağlı olmadığı belirlenmiştir (Nowroozi, 1971, 1972; Mckenzie, 1972; Ghalib ve Alsanawi, 1974; Osmanşahin ve diğerleri, 1986). Ayrıca, Deprem Araştırma Enstitüsü'nün bölgedeki çalışmalarında depremlerin her yıl giderek sayı ve şiddetlerinin arttığı ortaya konulmuştur. Bu nedenle, harita alanı içindeki fay sistemlerinin aktiviteleri ve derine doğru yayılımları giderek artmaktadır. İnceleme alanına en yakın ve aktif fay olan Aşkale Fayı Doğu Anadolu Bölgesi'nde, Erzurum Aziziye ilçesinin bazı yerleşmelerini kapsamaktadır.

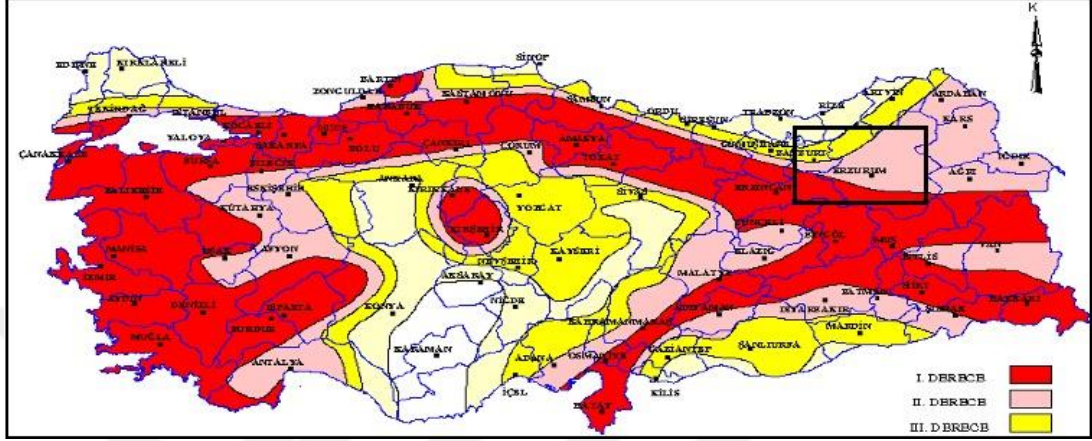
Aşkale fayı ve çevresinde, deprenselliğinin yüksek olması yanında, meydana gelen depremlerin şiddetini artırıcı bir takım fiziki ve beşeri özelliklere de sahiptir. Sahanın kırık hatlar ihtiva etmesi, geniş alüvyal dolgu alanına sahip olması ve killi, kumlu, marnlı Neojen dolgularının yer alması, deprem şiddetini arttıran fiziki faktörlerdir.



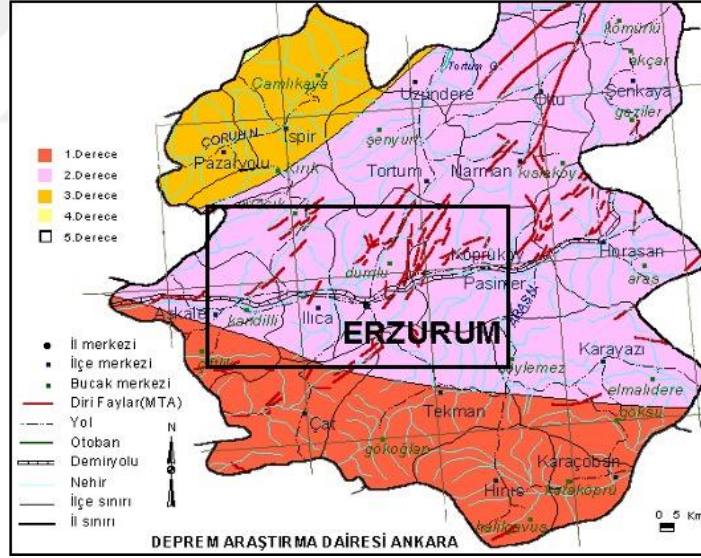
Şekil 3.3 Erzurum Elmalı Tüneli ve çevresine ait diri fay haritası (MTA- 2012)

3.4 Depremsellik

18.4.1996 tarih ve 96/8109 sayılı karar ile yürürlüğe giren Afet İşleri Genel Müdürlüğü “Türkiye Deprem Bölgeleri Haritasına” göre proje alanı 2. Derece Deprem Bölgesi üzerinde bulunmaktadır (Şekil 3.4 ve 3.5).



Şekil 3.4 Türkiye deprem bölgeleri haritası



Şekil 3.5 Çalışma alanı deprem haritası

Bölgenin sismotektonik özellikleri göz önünde bulundurularak, deprem parametreleri Olasılık (Probabilistik) Yöntemi ve Deterministik Yöntemleri ile iki ayrı yoldan belirlenmiştir. Bu çalışmaların temelini oluşturan olasılıksal (probabilistik) ve belirleyici (deterministik) yöntemlerin sonuçlarının güvenilirlikleri, sismolojik

verilerin gözlem süresine, doğruluk derecesine ve tektonik yapının ortaya çıkarılmış olmasına bağlıdır. Bu veriler deprem kaynak bölgelerinin; frekans-aletsel büyüklük, aletsel büyüklük-yırtılma ve azalım ilişkilerinin; en büyük deprem potansiyelinin; sismik boşluk ve periodisitelerin; arka plan sismisitesinin belirlenmesinde önem taşır. İnceleme alanında 1900-2018 yılları arasında oluşmuş, magnitüdü $M_w \geq 4.5$ olan depremler B.Ü Kandilli Rasathanesi kaynaklarından sağlanarak bu çalışmada kullanıldığı belirtilmiştir.

İnceleme alanına en yakın ve aktif fay olan Aşkale Fayı Doğu Anadolu Bölgesi'nde, Erzurum Aziziye ilçesinin bazı yerleşmelerini kapsamaktadır.

Aşkale fayı ve çevresinde, deprenselliğinin yüksek olması yanında, meydana gelen depremlerin şiddetini arttırıcı bir takım fiziki ve beşeri özelliklere de sahiptir. Sahanın kırık hatlar ihtiva etmesi, geniş alüvyal dolgu alanına sahip olması ve killi, kumlu, marnlı Neojen dolgularının yer alması, deprem şiddetini arttıran fiziki faktörlerdir.

Aşkale depremlerinin meydana geldiği Erzurum yöresi Kuzey Aktif fay yoğunluğu nedeniyle tarihsel ve aletsel dönemde Erzurum ili çok sık yıkıcı depremlerin meydana geldiği bir bölgedir. Son yüzyılda bölgede meydana gelmiş 1924 Horasan (M:6.8), 1939 Tercan (Ms:5.9), 1966 Varto (Ms:6.9), 1983 Horasan-Narman (Ms:6.8) depremleri can ve mal kaybıyla sonuçlanmış depremlerdir. Tarihsel dönemde de bölgenin çok sık yıkıcı depremlerden etkilendiği bilinmektedir. 1766, 1769, 1852 ve 1859 depremleri son 250 yılda bölgede can ve mal kaybıyla sonuçlanmış önemli büyük depremlerdir. 02.06.1859 depreminde Erzurum çevresinde meydana gelen depremde yaklaşık 15 000 kişinin yaşamını yitirdiği bilinmektedir.

Proje yerindeki aktif faylar ile ilgili detaylı arazi çalışmaları gerçekleştirilmiş ve proje yerini yakından etkileyen aktif fayların lokasyonları ile tahmin edilen maksimum deprem büyüklükleri belirlenmiştir. Söz konusu çalışmaya göre, çalışma alanı için MCE'yi kontrol eden sismik kaynak $M_s=6.3$ deprem büyüklüğü ve $D=13$ km minimum mesafe ile Aşkale fayıdır.

Olasılıksal Sismik Tehlike Analizinde, bölgenin sismotektonik özellikleri göz önüne alınarak sismik kaynak karakterizasyonu yapılmış ve bir adet arka plan kaynak alan

(yarıçapı 100 km olan bir daire) ile 1 adet alan kaynak ve 1 adet arka plan kaynak tanımlanmıştır. Hesaplamalarda bu kaynaklar içerisinde kalan 4'den büyük moment magnitud ($MW \geq 4$) değerleri kullanılmıştır.

Olasılıksal hesapla bulunan 100 yıllık ekonomik ömür içerisinde %50 aşılma olasılığı ile beklenen maksimum yatay yer hareketi ivmesi (144 yıllık geri dönüş periyodu) için **OBE=0.30 g** olarak hesaplanmıştır. Yapının 50 yıllık ömrü içerisinde %10 aşılma olasılığı ile beklenen maksimum yatay yer ivmesinin (475 yıllık geri dönüş periyodu) için **MDE=MCE=0.44 g** olarak alınması önerilmektedir. Proje sahası için olasılık yöntemi ile hesaplanan ivme değerleri aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Tablo 3.1 Proje alanı için olasılıksal yöntemle belirlenen sismik tehlike değerleri

ERZURUM PROJESİ ELMALI TÜNELİ VE SULAMASI	
Ekonomik Ömür, Aşılma Olasılığı	PGA (g)
MDE: değeri (ekonomik ömür 50 yıl, aşılma olasılığı %10, geri dönüş periyodu 475 yıl)	0,44
OBE: değeri (ekonomik ömür 100 yıl, aşılma olasılığı % 50, geri dönüş periyodu 144 yıl)	0,30

4. HİDROJEOLOJİ

Yapımı planlanan Elmalı Sulaması güzergahları ve ilgili yapı yerlerinde genel olarak, Gelinkaya Formasyonuna (Tmplgk) ait çakıltaşı, kumtaşı, silttaşı, kiltası, marn, tüfit ve aglomera birimleri, Gavurdağı Volkanitine (Tmgv) ait andezit, bazaltik andezit ve bazaltik lavlardan oluşan birimler, gölsel ortamda çökelmiş, tuf ve epiklastik ara katkılı kumtaşı-silttaşı-marn ardalanmasından oluşan Ürünlü Formasyonu (Tmü), Andezitik ve dasitik lavlardan oluşan Güngörmez Volkaniti (Tmg), akarsu yataklarında dolgulanan çakıl, blok, kum, silt, kil gibi çok çeşitli boyutlarda tutturulmamış alüvyon çökelleri ile tutturulmamış blok, çakıl, kum, silt boyutunda, köşeli, yarı köşeli kaya türlerinden oluşan eski alüvyon yelpazesi çökelleri (Qeay) gözlenmektedir.



Şekil 4.1 Sulama alanında görülen sulak alan

Planlaması yapılan sulama sahasının bir kısmı sulak alan olarak ilan edilmiştir. Sulama güzergahlarında yeraltısuyu gözlenen araştırma çukurlarında ölçülen yeraltısuyu derinlikleri Tablo 4.1' de verilmiş olup, açılan diğer çukurlarda yeraltısuyu ile karşılaşmamıştır.

Bu nedenle sulama alanlarında yeraltısuyu ile karşılaşılacaktır. İnşaat esnasında yeraltısuyu ile karşılaşılması durumunda kazı çukurundan drenaj, pompaj vb. yöntemlerle uzaklaştırılması gerekmektedir.

Tablo 4.1 Temel sondajlarının km aralıkları, derinlik, kot ve yeraltı suyu derinlikleri

Sondaj No	Sondaj Yeri	Derinlik (m)	Kot (m)	YASS Derinliği (m)	YASS Kotu (m)
*SK-1	Elmalı Tüneli (Km:0+060)	40,0	1968	13,00	1955,0
*SK-2	Elmalı Tüneli (Km:0+320)	200,0	2048	6,00	2042,0
*SK-3	Elmalı Tüneli (Km:0+680)	241,0	2160	7,00	2153,0
*SK-4	Elmalı Tüneli (Km:0+940)	240,0	2166	9,00	2157,0
**SK-5	Elmalı Tüneli (Km:1+760)	400,0	2324	47,00	2277,0
**SK-6	Elmalı Tüneli (Km:3+000)	530,0	2450	7,00	2443,0
**SK-7	Elmalı Tüneli (Km:3+900)	550,0	2469	27,00	2442,0
**SK-8	Elmalı Tüneli (Km:4+380)	540,0	2458	15,00	2443,0
**SK-9	Elmalı Tüneli (Km:5+300)	440,0	2350	27,00	2323,0
**SK-10	Elmalı Tüneli (Km:5+780)	343,0	2250	10,50	2239,5
**SK-11	Elmalı Tüneli (Km:6+100)	360,0	2257	50,00	2207,0
*SK-12	Elmalı Tüneli (Km:6+400)	240,0	2153	2,00	2151,0
*SK-13	Elmalı Tüneli (Km:7+060)	330,0	2240	162,00	2078,0
*SK-14	Elmalı Tüneli (Km:7+400)	270,0	2176	160,00	2016,0
*SK-15	Elmalı Tüneli (Km:7+860)	180,0	2091	140,00	1951,0
*SK-16	Elmalı Tüneli (Km:8+680)	60,0	1968	3,50	1964,5

* DSİ 8. Bölge Müdürlüğü – 7. Sondaj Şube Müdürlüğü tarafından açılan temel araştırma sondajları
** YER Mühendislik tarafından açılan temel araştırma sondajları

Buna ek olarak, mevsimsel koşullara bağlı olarak yeraltısuyu gözlenmeyen araştırma çukurlarında ve özellikle alüvyon geçişlerinde yeraltısuyu seviyelerinde değişim gözlenebilir. Yüzeysel sularının zeminde bulunan kil ile temasını önlemek amacıyla kanal tabanına granüler malzeme serilmesi, kanal tabanında drenaj kanalından sızabilecek olan suların zeminde bulunan kil ile temasını önlemek amacıyla ise jeotekstil ile yalıtım yapılması ve gerekli drenaj önlemlerinin alınması tarafımızca önerilmektedir.

Ayrıca, yeraltısuyunun boruya etkilerini azaltmak amacıyla kaldırma tahkikleri yapılmalı, boru gömme derinliğinin artırılması, boru üstünde örtü yükünün artırılması, drenaj önlemleri alınması vb. uygulamaların proje kriterleri ve ekonomik mukayeseler göz önüne alınarak projelendirilmesi gerekmektedir.

Elmalı Tüneli güzergahında ise 16 adet temel araştırma sondaj kuyusu açılmıştır. Kuyularda; kesilen birimler genel olarak az geçirimli – geçirimsiz özellikte olup, çatlaklı ve eklemli yapılarından dolayı yer yer geçirimli – çok geçirimli seviyeleri bulunmaktadır (Tablo 4.2).

Tablo 4.2 Temel sondajlarında geçilen birimlerin geçirimsizlik kademeleri

Kuyu No	Çok Geçirimli Kademe (Lu>25)	Geçirimli Kademe (5<Lu<25)	Az Geçirimli Kademe (1<Lu<5)	Geçirimsiz Kademe (Lu<1)	Litoloji
SK-1	(0,0-20,0)	(20,0-40,0)	-	-	Kireçtaşı (KTs)
SK-2	-	-	-	(140,0-200,0)	Şeyl (KTs)
SK-3	-	-	-	(180,0-240,0)	Şeyl (KTs)
SK-4	-	-	-	(180,0-240,0)	Şeyl (KTs)
SK-5	-	-	(370,0-375,0) (390,0-400,0)	(340,0-370,0) (375,0-390,0)	Çakıltası-Kumtaşı (KTs)
SK-6	-	-	(470,0-530,0)	-	Kumtaşı, Silttaşı, Kiltası (KTs)
SK-7	-	(545,0-550,0)	(490,0-45,0)	-	Kumtaşı, Silttaşı, Kiltası (KTs)
SK-8	-	-	(480,0-40,0)	-	Kumtaşı, Silttaşı, Kiltası (KTs)
SK-9	-	-	(386,0-40,0)	(382,0-386,0)	Çakıltası, Kumtaşı, Çamurtaşı (KTs)
SK-10	-	(280,0-343,0)	-	-	Andezit-Bazalt Aglomera (Tmgv) - Kumtaşı (KTs)
SK-11	-	-	(310,0-315,0) (320,0-340,0)	(315,0-320,0) (340,0-360,0)	Andezit-Bazalt Aglomera ve Piroklastikler (Tmgv)
SK-12	-	-	-	(180,0-240,0)	Bazalt (Tmgv)
SK-13	-	(295,0-300,0)	(270,0-295,0) (300,0-305,0) (315,0-320,0)	(305,0-315,0) (320,0-330,0)	Bazalt (Tmgv)
SK-14	-	(210,0-220,0) (225,0-235,0)	(220,0-225,0) (235,0-245,0) (255,0-265,0)	(245,0-255,0) (265,0-270,0)	Parçalı Andezit-Bazalt (Tmgv)
SK-15	-	(120,0-155,0)	(170,0-75,0)	(155,0-170,0) (175,0-180,0)	Parçalı Andezit-Bazalt (Tmgv)
SK-16	(0,0-30,0)	(30,0-60,0)	-	-	Bazalt Bloklü Çakıllı Kil (Tmplgk)

KTs: Serçeme Formasyonu, Tmgv: Gavurdağı Volkaniti, Tmplgk: Gelinkaya Formasyonu

Tünel güzergahında gözlenen birimlerin genel olarak az geçirimli özellikte olması, yeraltı suyu seviyesinin genel olarak tünel tavan/tabana kotunun üstünde yer alması ve tünel üzerindeki örtü yükü düşünüldüğünde tünelde su gelme durumu mevcuttur.

Planlama aşamasında tünel güzergâhında açılan temel sondaj kuyularında geçirimsizliğin belirlenebilmesi amacı ile yapılan basınçlı su testi (BST) deney sonuçlarına göre;

Tünel girişinde Km:0+000-0+050 aralığında açılan SK-1 nolu sondaj kuyusunda kesilen kireçtaşı birimleri çok geçirimli ($Lu > 25$) ve geçirimli ($5 < Lu < 25$) özellikte olup, yeraltı suyu seviyesinin tünel tavan kotunun üstünde yer alması nedeni ile tünele 25-125 l/dk su gelimi beklenmektedir.

Tünel güzergâhının Km:0+050-1+200 aralığında açılan SK-2, SK-3 ve SK-4 nolu sondaj kuyularında kesilen şeyl birimleri geçirimsiz ($Lu < 1$) özelliktedir. Ancak yeraltı suyu seviyesinin genel olarak tünel tavan kotunun üstünde yer alması ve tünel üzerindeki örtü yükü düşünüldüğünde tünele su gelme durumu mevcut olup, tünele 10-25 l/dk su gelimi olacağı düşünülmektedir.

Tünel güzergâhının Km:1+200-4+200 aralığında açılan SK-5 nolu sondaj kuyusunda kesilen çakıltaşı-kumtaşı birimleri az geçirimli ($1 < Lu < 5$) ve geçirimsiz ($Lu < 1$) özellikte, SK-6 ve SK-7 nolu sondaj kuyularında kesilen kumtaşı, silttaşı, kıltaşı birimleri ise az geçirimli ($1 < Lu < 5$) ve geçirimli ($5 < Lu < 25$) özelliktedir. Söz konusu kesimde yer alan birimlerin genel olarak az geçirimli özellikte olması, yeraltı suyu seviyesinin tünel tavan kotunun üstünde yer alması nedeni ile tünele yaklaşık 10-25 l/dk su gelimi olacağı düşünülmektedir.

Tünel güzergâhının Km:4+200-5+600 aralığında açılan SK-8 ve SK-9 nolu sondaj kuyularında kesilen kumtaşı, silttaşı, kıltaşı, çamurtaşı birimleri genel olarak az geçirimli ($1 < Lu < 5$) özellikte olup, SK-9 nolu kuyuda tünel taban kotunun altında kesilen çamurtaşı birimi geçirimsiz ($Lu < 1$) özelliktedir. Yeraltı suyu seviyesinin genel olarak tünel tavan kotunun üstünde yer alması ve tünel üzerindeki örtü yükü düşünüldüğünde tünele su gelme durumu mevcut olup, tünele 10-25 l/dk su gelimi olacağı düşünülmektedir.

Tünel güzergâhının Km:5+600-6+200 aralığında açılan SK-10 ve SK-11 nolu sondaj kuyularında kesilen andezit-bazalt, aglomera ve piroklastik birimler genel olarak geçirimli ($5 < Lu < 25$) – az geçirimli ($1 < Lu < 5$) özellikte olup, yer yer geçirimsiz ($Lu < 1$)

seviyeler gözlenmiştir. Yeraltı suyu seviyesinin genel olarak tünel tavan kotunun üstünde yer almakta olup, birimlerin genel olarak geçirimli özellik göstermesi ve tünel üzerindeki örtü yükü düşünüldüğünde tünele su gelme durumu mevcut olup, tünele 25-125 l/dk su gelimi olacağı düşünülmektedir.

Tünel güzergâhının Km:6+200-6+600 aralığında açılan SK-12 nolu sondaj kuyusunda kesilen bazalt birimler genel olarak geçirimsiz ($Lu < 1$) özelliktedir. Ancak yeraltı suyu seviyesinin genel olarak tünel tavan kotunun üstünde yer alması, tünel üzerindeki örtü yüküne bağlı olarak statik su basıncının yüksek olması ve bazalt birimlerin kırık çatlak sistemlerine bağlı olarak tünele su gelme durumu mevcut olduğundan güvenli tarafta kalınarak tünele 10-25 l/dk su gelimi olacağı düşünülmektedir.

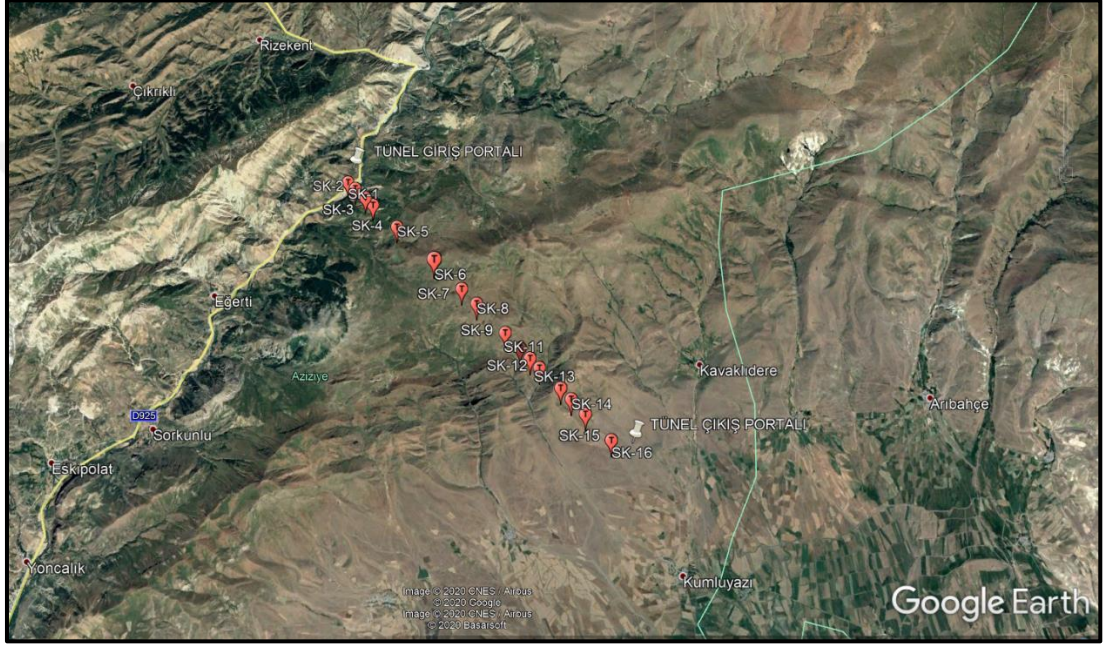
Tünel güzergâhının Km:6+600-8+150 aralığında açılan SK-13, SK-14 ve SK-15 nolu sondaj kuyularında kesilen parçalı andezit-bazalt birimleri genel olarak az geçirimli ($1 < Lu < 5$) ve geçirimsiz ($Lu < 1$) özellikte olup, yer yer geçirimli ($5 < Lu < 25$) seviyeler gözlenmektedir. Söz konusu kesimde yer alan birimlerin genel olarak az geçirimli özellikte olması, yeraltı suyu seviyesinin tünel tavan kotunun üstünde yer alması nedeni ile tünele yaklaşık 10-25 l/dk su gelimi olacağı düşünülmektedir.

Tünel çıkışı ağzında açılan galeride suya rastlanılmamıştır. Ancak SK-16 nolu temel araştırma sondajında ilgili derinliklerde yapılan Basınçlı Su Testi (BST) deneylerine göre birimler genel olarak geçirimli ($5 < Lu < 25$) özellikte olup, üst kesimleri ayrışmaya bağlı olarak çok geçirimli ($Lu > 25$) özelliktedir. Kuyuda yeraltı suyu seviyesi tünel tavan kotunun üstündedir. Mevsimsel yağışlara bağlı olarak yeraltı suyu durumunda meydana gelebilecek olan değişimler göz önüne alındığında tünele yaklaşık 10-25 l/dk su gelimi olacağı düşünülmektedir.

Mevsimsel yağışlara bağlı olarak yeraltı suyu değişkenlik gösterebilecektir. Tünel açım sırasında ön delgiler ile tünel ilerlemesi sırasında suyun bir miktarının drene edilebilmesi, gelen suyun drenaj kanalları açılarak seyyar dalgıç pompalar vasıtasıyla buraya pompalanması ve buradan eğim aşağı tünel dışına çıkarılması, tünel tabanının eğimli olması ve tünel tipi drenflex kullanımı uygun olabilecektir.

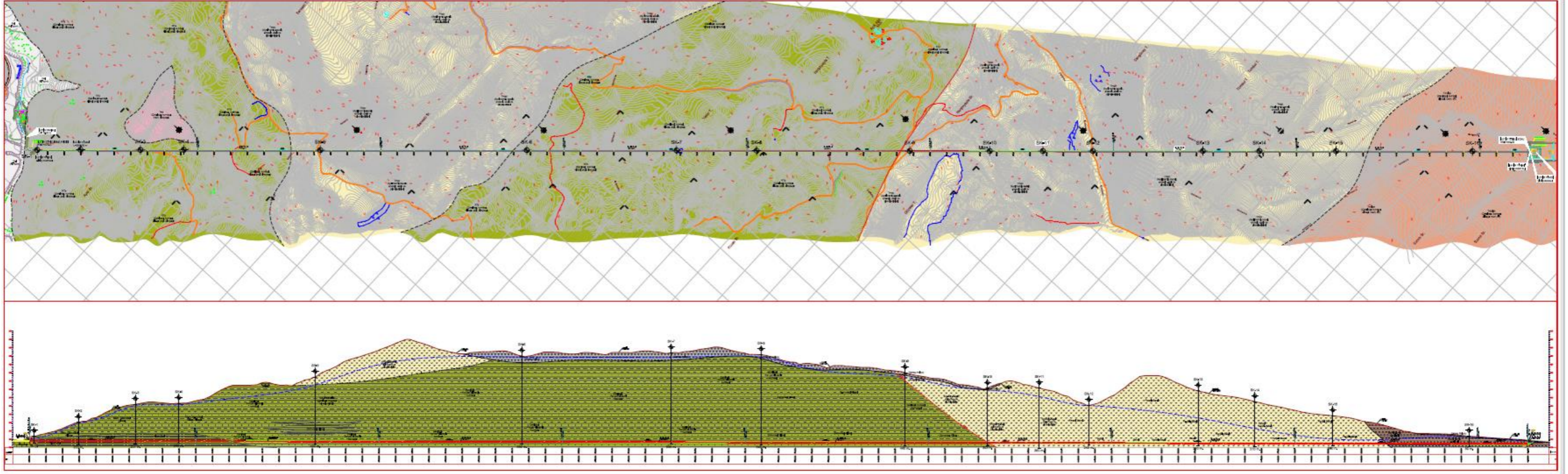
5. TUNEL GÜZERGÂHI MÜHENDİSLİK ÖZELLİKLERİ

Elmalı Tüneli güzergâhında yer alan birimlerin jeolojik – jeoteknik parametrelerinin ortaya konulması amacıyla DSİ 8. Bölge Müdürlüğü tarafından 9 farklı lokasyonda (SK-1, SK-2, SK-3, SK-4, SK-12, SK-13, SK-14, SK-15 ve SK-16) toplam 1801 m, Yer Mühendislik tarafından da 7 lokasyonda (SK-5, SK-6, SK-7, SK-8, SK-9, SK-10 ve SK-11) (Şekil 5.1) toplam 3163 m. temel sondaj kuyusu açılmıştır. Bu doğrultuda tünel güzergâhında toplamda 16 adet, 4964 m. temel sondaj kuyusu açılmıştır.



Şekil 5.1 Çalışma alanında açılan sondajlara ait Google Earth görüntüsü

Ayrıntılı saha gözlemlerine dayalı hazırlanan 1:5000 ölçekli haritalamaya göre (Şekil-5.2) tünel boyunca geçilecek birimlerin alansal dağılımları belirlenmiştir. Bu birimlerin mühendislik özellikleri ise aşağıda tanımlanmıştır. Yüzey gözlemleri ve sondaj bilgilerine göre Elmalı Tüneli'nin yaklaşık 0+000,00-1+570,00 km'ler arasında Serçeme Formasyonu (KTS), 1+570,00-2+890,00 km'leri arası Gavurdağı Volkaniti (Tmgv), 2+890,00-5+210,00 km'leri arasında Serçeme Formasyonu (KTS), 5+210,00-8+020 km'leri arası Gavurdağı Volkaniti (Tmgv), 8+020,00-9+000,00 km'leri arasında ise Gelinkaya Formasyonu (Tmplgk) içinde açılacaktır.



AÇIKLAMALAR

			---	OLASI FORMASYON SINIRI
			—	OLASI FAY / BİNDİRME SINIRI
			—	YERALTISUYU SEVİYESİ
			TSK-1	Temel Araştırma Sondajı (Plan)
			TSK-1	Temel Araştırma Sondajı (Boykesit)
			DES-1	Jeofizik Rezistivite Ölçüm Noktası
SENOZOYİK	Kuvaterner	Qal	Alüvyon (Kum, çakıl)	
		Qym	Yamaç Molozu/Heyelan Döküntüsü (Çakıllı, kumlu, killi silt)	
	Pliyosen	Tmplgk	Gelinkaya Formasyonu (Çakıllı, kumtaşı, silttaşı, mam, tüf)	
		Tmgv	Gavurdağı Volkaniti (Ayrılmamış bazalt, andezit, dasit ve piroklastikleri)	
	Miyosen	Tee	Elmalı Formasyonu (Çakıllı, kumtaşı, mam, kireçtaşı)	
Paleosen		KTs	Serçeme Formasyonu (Çakıllı, kumtaşı, kilitaşı, şeyl, kireçtaşı)	
	Kretase			

Şekil 5.2 Erzurum Elmali Tüneli boyunca 1:5000 ölçekli hazırlanan jeoloji haritası ve boy kesiti.

Bu formasyon boyunca geçilecek birimler Serçeme Formasyonu içerisinde çakıltası kumtaşı, kıltaşı, şeyl ve kireçtaşı birimleri, Gavurdağı Volkanitleri içerisinde ayrılmamış bazalt, andezit, dasit ve piroklastikleri, Gelinkaya Formasyonu içerisinde çakıltası, kumtaşı, silttaşı, marn, tuf birimlerine rastlanılmaktadır (Şekil 4.1). Tünel güzergâhı boyunca açılan temel sondaj verileri, laboratuvar deney sonuçları ve arazi gözlemleri bir bütün halinde incelenerek, tünel boyunca önerilen kazı ve destek sistemleri ve tünel enjeksiyon uygulamalarına yönelik değerlendirmeler aşağıda ilgili başlıklar halinde detaylı olarak sunulmuştur.

5.1 SK-1 Nolu Temel Sondaj Kuyusu

Tünel güzergâhında, 1968.00 m kotunda, 40.00 metre derinliğinde düşey olarak açılmıştır. Kuyuda; 0.00-40.00 metre arasında beyaz-bej renkli, çok çatlaklı kırıklı, çok zayıf kaya kalitesine sahip, az-orta derecede ayrılmış, üst seviyeleri ve yer yer çok ayrılmış, yer yer erime boşluklu kireçtaşı gözlenmiştir. Karot yüzdesi %30-100, RQD yüzdesi % 8-42 arasında değişmekte, ortalama karot yüzdesi %60, RQD yüzdesi %15'dir. Kuyunun ayrışma derecesi 0.00-4.00 m arasında W4 (çok ayrılmış), 4.00-6.00 m arasında W3 (orta derecede ayrılmış), 6.00-16.00 m arasında W3 (orta derecede ayrılmış)-W4 (çok ayrılmış), 16.00-20.00 m arasında W3 (orta derecede ayrılmış), 20.00-22.00 m arasında W2 (az ayrılmış), 22.00-23.00 m arasında W2 (az ayrılmış), 23.00-25.00m arasında W3 (orta derecede ayrılmış) 25.00-40.00 m arasında W3 (orta derecede ayrılmış)- W4 (çok ayrılmış) olarak belirlenmiştir. Kuyuda 28.7.2016 tarihinde yapılan yeraltı suyu ölçümünde 13.00 m'de yeraltı suyu ile karşılaşmıştır.

5.2 SK-2 Nolu Temel Sondaj Kuyusu

Tünel güzergâhında, 2048.00 m kotunda, 200.00 m derinliğinde düşey olarak açılmıştır. Kuyuda; 0,00-140,00 m arasında tortul kökenli kırıntılar, 140.00-200.00 m arasında siyah renkli, karbonat damarlı, laminalı dilinim gösteren ve dilinimlerinden kolayca ayrılabilen yapıda, taze-az ayrılmış, yer yer orta derece ayrılmış, çok iyi-iyi kaya kalitesinde şeyl birimleri gözlenmiştir. Karot yüzdesi % 100 olup, RQD yüzdesi % 30-100 arasında değişmekte, ortalama RQD yüzdesi % 80,7'dir. Kuyunun ayrışma derecesi 140.00-156.00 m arasında W1 (taze ayrılmış)- W2(az ayrılmış), 156.00-168.00 m arasında W1 (taze ayrılmış), 168.00-176.00 m arasında W3 (orta derecede

ayrışmış)- W4 (çok ayrışmış), 176.00-180.00 m arasında W1 (taze ayrışmış) -W2 (az ayrışmış), 180.00-194.00 m arasında W1 (taze ayrışmış), 194.00-198.00 m arasında W1 (taze ayrışmış)- W2 (az ayrışmış), 198.00-200.00 m arasında W1 (taze ayrışmış) olarak belirlenmiştir. Kuyuda 01.09.2016 tarihinde yapılan yeraltı suyu ölçümünde 6.00 m’de yeraltı suyu ile karşılaşmıştır.

5.3 SK-3 Nolu Temel Sondaj Kuyusu

Gölet aksı sağ sahilde, 2160.00 m kotunda, 241.00 m derinliğinde düşey olarak açılmıştır. Kuyuda; 0.00-177.00 m arasında tortul kökenli kırıntılılar, 177.00-241.00 m arasında siyah renkli, karbonat damarlı, laminalı dilinim gösteren ve dilinimlerinden kolayca ayrılabilen yapıda, taze-az ayrışmış, yer yer orta derecede ayrışmış, çok iyi-iyi kaya kalitesinde şeyl gözlenmiştir. Karot yüzdesi % 100 olup, RQD yüzdesi % 12-97 arasında değişmekte, ortalama RQD yüzdesi % 72,50’dir. Kuyunun ayrışma derecesi 177.00-184.00 m arasında W1 (taze ayrışmış)-W2 (az ayrışmış), 184.00-192.00 m arasında W2 (az ayrışmış)-W3 (orta derecede ayrışmış), 192.00-202.00 m arasında W1 (taze ayrışmış), 202.00-210.00 m arasında W1 (taze ayrışmış)-W2 (az ayrışmış), 210.00-241.00 m arasında W1 (taze ayrışmış) olarak belirlenmiştir. Kuyuda 24.09.2017 tarihinde yapılan yeraltı suyu ölçümünde 7.00 m’de, yeraltı suyu ile karşılaşmıştır.

5.4 SK-4 Nolu Temel Sondaj Kuyusu

Tünel güzergâhında girişinde, 2166.00 m kotunda, 240.00 m derinliğinde düşey olarak açılmıştır. Kuyuda; 0.00-180.00 m arasında tortul kökenli kırıntılılar, 180.00-240.00 m arasında siyah renkli, karbonat damarlı, laminalı dilinim gösteren ve dilinimlerinden kolayca ayrılabilen yapıda, taze-az ayrışmış, yer yer orta derecede ayrışmış, çok iyi-iyi kaya kalitesinde şeyl gözlenmiştir. Karot yüzdesi % 100 olup, RQD yüzdesi % 0-97 arasında değişmekte, ortalama RQD yüzdesi % 81,30’dir. Kuyunun ayrışma derecesi 180.00-186.00 m arasında W4 (çok ayrışmış), 186.00-190.00 m arasında W3 (orta derecede ayrışmış), 190.00-192.00 m arasında W2 (az ayrışmış), 192.00-200.00 m arasında W1 (taze ayrışmış), 200.00-206.00 m olarak W1 (taze ayrışmış)- W2(az ayrışmış), 206.00-214.00 m arasında W1 (taze ayrışmış), 214.00-218.00 m arasında W1 (taze ayrışmış)-W2 (az ayrışmış), 218.00-240.00 m arasında W1 (taze ayrışmış)

olarak belirlenmiştir. Kuyuda yapılan yeraltı suyu ölçümünde 9.00 m’de yeraltı suyu ile karşılaşmıştır.

5.5 SK-5 Nolu Temel Sondaj Kuyusu

Tünel güzergâhında, 2324.00 m kotunda, 400.00 m derinliğinde düşey olarak açılmıştır. Kuyuda; 0.00-280.00 m arasında çakıltaşı, kumtaşı, kiltası, silttaşı araldanmasından oluşan gelinkaya formasyonu, 280.00-343.00 m arasında çamurtaşı-kiltası, 343.00-378.00 m arasında çakıltaşı, 378.00-400.00 m arasında siyah renkli yer yer kiltası bantlı kumtaşı gözlenmiştir. Karot yüzdesi % 70-100 olup, RQD yüzdesi % 15-90 değerleri arasında değişmektedir. Kuyunun ayrışma derecesi 280.00-352.00 m arasında W3 (orta derecede ayrışmış), 352.00-356.00 m arasında W2 (az ayrışmış), 356.00-362.00 m arasında W1 (taze ayrışmış), 362.00-368.00 m arasında W2 (az ayrışmış), 368.00-381.00 m arasında W3 (orta derecede ayrışmış), 381.00-383.00 m arasında W2 (az ayrışmış), 383.00-385.00 m arasında W2 (az ayrışmış), 385.00-400.00 m arasında W3 (orta derecede ayrışmış)-W4 (çok ayrışmış) olarak belirlenmiştir. Kuyuda 27.11.2017 tarihinde yapılan yeraltı suyu ölçümünde 47.00 m’de yeraltı suyu ile karşılaşmıştır.

5.6 SK-6 Nolu Temel Sondaj Kuyusu

Tünel güzergâhında, 2450.00 m kotunda, 530.00 m derinliğinde düşey olarak açılmıştır. Kuyuda; 0.00-40.00 m arasında yamaç molozu, 40.00-530.00 m arasında kahve renkli yer yer gri renkli kiltası kumtaşı marn gelinkaya formasyonu çakıltaşı, kumtaşı, silttaşı, kiltası araldanması gözlenmiştir. Karot yüzdesi % 50-100, RQD yüzdesi % 10-60 değerleri arasında değişmektedir. Kuyunun ayrışma derecesi 470.00-482.00 m arasında W3 (orta derecede ayrışmış), 482.00-488.00 m arasında W4 (çok ayrışmış), 488.00-494.00 m arasında W3 (orta derecede ayrışmış), 494.00-507.00 m arasında W4 (çok ayrışmış), 507.00-513.00 m arasında W3 (orta derecede ayrışmış), 513.00-525.00 m arasında W4 (çok ayrışmış), 525.00-530.00 m arasında W3 (orta derecede ayrışmış) olarak belirlenmiştir. Kuyuda 02.11.2017 tarihinde yapılan yeraltısuyu ölçümünde 7.00 m’de yeraltı suyu ile karşılaşmıştır.

5.7 SK-7 Nolu Temel Sondaj Kuyusu

Tünel güzergâhında, 2469.00 metre kotunda, 550.00 m derinliğinde düşey olarak açılmıştır. Kuyuda; 0.00-45.00 m arasında yamaç molozu, 45.00-550.00 m arasında

kahve renkli yer yer gri renkli kıltaşı kumtaşı çamurtaşlarından oluşan gelinkaya formasyonu çakıltaşı, kumtaşı, silttaşı, kıltaşı ar dalanması gözlenmiştir. Karot yüzdesi % 50-100, RQD yüzdesi % 0-85 değerleri arasında değişmektedir. Kuyunun ayrışma derecesi 490.00-550.00 m arasında W4 (çok ayrışmış)-W5 (tamamen ayrışmış) olarak belirlenmiştir. Kuyuda 18.10.2017 tarihinde yapılan yeraltı suyu ölçümünde 27.00 m'de, yeraltı suyu ile karşılaşmıştır.

5.8 SK-8 Nolu Temel Sondaj Kuyusu

Tünel güzergâhında, 2458.00 m kotunda, 540.00 m derinliğinde düşey olarak açılmıştır. Kuyuda; 0.00-22.00 m arasında yamaç molozu, 22.00-240.00 m arasında gelinkaya formasyonu çakıltaşı, kumtaşı, silttaşı, kıltaşı ar dalanması, 240.00-540.00 kumtaşı, çamurtaşı, kıltaşı ar dalanması gözlenmiştir. Karot yüzdesi % 65-100 olup, RQD yüzdesi % 20-85 değerleri arasında değişmektedir. Kuyunun ayrışma derecesi 480.00-493.00 m arasında W4 (çok ayrışmış), 493.00-501.00 m arasında W3 (orta derecede ayrışmış), 501.00-504.00 m arasında W5 (tamamen ayrışmış), 504.00-511.00 W4 (çok ayrışmış), 511.00-516.00 m arasında W5 (tamamen ayrışmış), 516.00-531.00 m arasında W3 (çok ayrışmış), 531.00-540.00 m arasında W4 (çok ayrışmış) olarak belirlenmiştir. Kuyuda 30.09.2017 tarihinde yapılan yeraltı suyu ölçümünde 15.00 m'de, yeraltı suyu ile karşılaşmıştır.

5.9 SK-9 Nolu Temel Sondaj Kuyusu

Tünel güzergâhında, 2350.00 m kotunda, 440.00 m derinliğinde düşey olarak açılmıştır. Kuyuda; 0.00-16.00 m arasında yamaç molozu, 16.00-45.00 m arasında gri siyah renkli bazalt bloklu andezit, 45.00-440.00 kumtaşı, çamurtaşı, çakıltaşı ar dalanması gözlenmiştir. Karot yüzdesi % 100 olup, RQD yüzdesi % 0-90 değerleri arasında değişmektedir. Kuyunun ayrışma derecesi 380.00-386.00 m arasında W2 (az ayrışmış), 386.00-398.00 m arasında W3 (orta derecede ayrışmış), 398.00-406.00 m arasında W3 (orta derecede ayrışmış)-W4 (çok ayrışmış), 406.00-411.00 W3 (orta derecede ayrışmış), 411.00-440.00 m arasında W4 (çok ayrışmış)-W5 (tamamen ayrışmış) olarak belirlenmiştir. Kuyuda 04.09.2017 tarihinde yapılan yeraltı suyu ölçümünde 27.00 m'de, yeraltı suyu ile karşılaşmıştır.

5.10 SK-10 Nolu Temel Sondaj Kuyusu

Tünel güzergâhında, 2250.00 m kotunda, 343.00 m derinliğinde düşey olarak açılmıştır. Kuyuda; 0.00-8.00 m arasında yamaç molozu, 8.00-323.00 m arasında andezit-bazalt aglomera ve piroklastları, 323.00-326.00 m arasında aglomera breş, 326.00-340.00 m arasında çamurtaşı, 340.00-343.00 m arasında kumtaşı gözlenmiştir. Karot yüzdesi % 100 olup, RQD yüzdesi % 0-95 değerleri arasında değişmektedir. Kuyunun ayrışma derecesi 280.00-285.00 m arasında W4 (çok ayrılmış), 285.00-288.00 m arasında W3 (orta derecede ayrılmış), 288.00- 291.00 m arasında W4 (çok ayrılmış), 291.00-294.00 W3 (orta derecede ayrılmış), 294.00- 299.00 m arasında W5 (tamamen ayrılmış), 299.00-308.00 m arasında W4 (çok ayrılmış), 308.00-329.00 m arasında W2 (az ayrılmış), 329.00-337.00 m arasında W5 (tamamen ayrılmış), 337.00-343.00 m arasında W2 (az ayrılmış) olarak belirlenmiştir. Kuyuda 20.08.2017 tarihinde yapılan yeraltı suyu ölçümünde 10.50 m'de, yeraltı suyu ile karşılaşmıştır.

5.11 SK-11 Nolu Temel Sondaj Kuyusu

Tünel güzergâhında, 2257.00 m kotunda, 360.00 m derinliğinde düşey olarak açılmıştır. Kuyuda; 0.00-360.00 m arasında andezit-bazalt aglomera ve proklastları gözlenmiştir. Karot yüzdesi % 100 olup, RQD yüzdesi % 0-80 değerleri arasında değişmektedir. Kuyunun ayrışma derecesi 300.00-333.00 m arasında W3 (orta derecede ayrılmış), 333.00-348.00 m arasında W4 (çok ayrılmış), 348.00-351.00 m arasında W5 (tamamen ayrılmış), 351.00-357.00 W4 (çok ayrılmış), 357.00-360.00 m arasında W5 (tamamen ayrılmış) olarak belirlenmiştir. Kuyuda 08.08.2017 tarihinde yapılan yeraltı suyu ölçümünde 50.00 m'de, yeraltı suyu ile karşılaşmıştır.

5.12 SK-12 Nolu Temel Sondaj Kuyusu

Tünel güzergâhında, 2153.00 m kotunda, 240.00 m derinliğinde düşey olarak açılmıştır. Kuyuda; 0.00-180.00 m arasında parçalı bazalt, 180.00-240.00 m arasında siyah- koyu gri renkli, taze-orta derecede ayrılmış, yer yer tamamen ayrılmış, dikey yönde çatlaklı, homojen yapıda orta kaya kalitesinde bazalt gözlenmiştir. Karot yüzdesi % 100 olup, RQD yüzdesi % 0-95 değerleri arasında değişmektedir. Kuyunun ayrışma derecesi 180.00-196.00 m arasında W2 (az ayrılmış)- W3 (orta derecede ayrılmış), 196.00-204.00 m arasında W1 (taze ayrılmış)- W2 (az ayrılmış), 204.00-212.00 m arasında W2 (az ayrılmış)- W3 (orta derecede ayrılmış), 212.00-220.00 W1

(taze ayrıışmış)- W2 (az ayrıışmış), 220.00-224.00 m arasında W1 (taze ayrıışmış), 224.00-234.00 m arasında W1 (taze ayrıışmış)- W2 (az ayrıışmış), 234.00-240.00 m arasında W1 (taze ayrıışmış) olarak belirlenmiştir. Kuyuda 15.10.2017 tarihinde yapılan yeraltı suyu ölçümünde 2.00 m'de, yeraltı suyu ile karşılaşılmasıdır.

5.13 SK-13 Nolu Temel Sondaj Kuyusu

Tünel güzergâhında, 2240.0 m kotunda, 330.00 m derinliğinde düşey olarak açılmıştır. Kuyuda; 0.00-270.0 m arasında parçalı bazalt, 270.00-330.00 m arasında siyah- koyu gri renkli, taze-orta derecede ayrıışmış, yer yer tamamen ayrıışmış, gaz boşluklu çok zayıf kaya kalitesinde bazalt gözlenmiştir. Karot yüzdesi %33-100, RQD yüzdesi % 0-60 değerleri arasında değişmektedir. Kuyunun ayrıışma derecesi 270.00-298.0 m arasında W2 (az ayrıışmış), 298.00-310.00 m arasında W3 (orta derecede ayrıışmış), 310.00-330.00 W2 (az ayrıışmış)- W5 (tamamen ayrıışmış) olarak belirlenmiştir. Kuyuda 25.08.2016 tarihinde yapılan yeraltı suyu ölçümünde 162.00 m'de, yeraltı suyu ile karşılaşılmasıdır.

5.14 SK-14 Nolu Temel Sondaj Kuyusu

Tünel güzergâhında, 2176.0 m kotunda, 270.00 m derinliğinde düşey olarak açılmıştır. Kuyunun son 60 metresinden karot istendiğinden 270 metreye kadar su sondajı makinası ile sediman numune alınarak açılmıştır. Kuyuda; 210.00-270.0 m arasında gri- koyu gri renkli, orta derecede-çok ayrıışmış, masif yapıda, yer yer tüflü porfirik dokulu bazalt andezit dasit gözlenmiştir. Karot yüzdesi % 10, RQD yüzdesi % 0 olarak belirlenmiştir. Kuyunun ayrıışma derecesi 210.00-270.0 m arasında W3 (orta derecede ayrıışmış)-W4 (çok ayrıışmış) olarak belirlenmiştir.

5.15 SK-15 Nolu Temel Sondaj Kuyusu

Tünel güzergâhında, 2091.00 m kotunda, 180.00 m derinliğinde düşey olarak açılmıştır. Kuyuda; 0.00-120.00 m arasında parçalı bazalt, 120.00-180.00 m arasında siyah- koyu gri renkli, az ayrıışmış, çok çatlaklı-kırıklı, çok zayıf kaya kalitesinde bazalt gözlenmiştir. Karot yüzdesi % 20-33, RQD yüzdesi % 0-23 değerleri arasında değişmektedir. Kuyunun ayrıışma derecesi 120.00-180.0 m arasında W2 (az ayrıışmış) olarak belirlenmiştir. Kuyuda 11.08.2016 tarihinde yapılan yeraltı suyu ölçümünde 140.00 m'de, yeraltı suyu ile karşılaşılmasıdır.

5.16 SK-16 Nolu Temel Sondaj Kuyusu

Tünel güzergâhında, 1968.00 m kotunda, 60.00 m derinliğinde düşey olarak açılmıştır. Kuyuda; 0.00-5.50 m arasında kahverenkli tamamen ayrılmış killi yer yer köşeli çakıllı yamaç molozu, 5.50-60.00 m arasında gri renkli, orta derecede-tamamen ayrılmış, parçalanmış, köşeli çakıl-blok boyutunda çok zayıf kaya kalitesinde bazalt gözlenmiştir. Karot yüzdesi % 10-100 arasında değişmektedir, RQD yüzdesi % 0 dır. Kuyunun ayrışma derecesi 1.00-6.00 m arasında W5 (tamamen ayrılmış), 6.00-15.00 m arasında W4 (çok ayrılmış)- W5 (tamamen ayrılmış), 15.00-19.00 m arasında W3 (orta derecede ayrılmış), 19.00-33.00 m arasında W3 (orta derecede ayrılmış)- W4 (çok ayrılmış), 33.00-41.00 m arasında W4 (çok ayrılmış)- W5 (tamamen ayrılmış), 41.00-43.00 m arasında W5 (tamamen ayrılmış), 43.00-50.00 m arasında W3 (orta derecede ayrılmış)- W4 (çok ayrılmış), 50.00- 59.00 m arasında W3 (orta derecede ayrılmış), 59.00-60.00 m arasında W5 (tamamen ayrılmış) olarak belirlenmiştir. Kuyuda 05.06.2016 tarihinde yapılan yeraltı suyu ölçümünde 3.50 m'de, yeraltı suyu ile karşılaşmıştır.

6. TÜNEL GÜZERGÂHINDA KULLANILAN KAYA KÜTLESİ DEĞERLENDİRME YÖNTEMLERİ

Tünel güzergâhı boyunca açılan temel sondaj verileri, laboratuvar deney sonuçları ve arazi gözlemleri bir bütün halinde incelenerek, tünel boyunca önerilen kazı ve destek sistemleri uygulamalarına yönelik değerlendirmeler ile çalışmada kaya kütleleri değerlendirilirken dikkate alınan kaya yükü sınıflaması (Terzaghi), kaya kütlesi sınıflaması (RMR) ve Kaya Kütle Değeri (Q) yöntemlerine ilişkin ayrıntılar aşağıda verilmiştir.

6.1 Kaya Yükü Sınıflaması (Terzaghi)

Terzaghi 1946 yılında, çelik destek sistemlerine uygun olarak geliştirilen ilk gerçekçi Sınıflama yöntemini ortaya koymuştur (Tablo 6.1). Sınıflama çelik desteklerle desteklenen tünellerin üzerindeki kaya yüklerini tahmin etmek için tasarlanmıştır. Püskürtme beton, kaya bulonu gibi yöntemlerin kullanıldığı modern tüneller için uygun değildir.

6.2 Kaya Kütle Sınıflaması (RMR)

RMR Sınıflama Sistemi veya Kaya Kütle sınıflaması (RMR:Rock Mass Rating) Bieniawski tarafından 1972-1973 arasında geliştirilmiştir. (Bieniawski, 1973) (Tablo 6.2-6.6 ve Şekil 6.1). Sistem, 1973'ten 1989'a kadar yeni verilerle desteklenerek bazı değişikliklere uğramış ve son şeklini 1989'da almıştır. Bieniawski (1989) tarafından son hali verilen değerlendirme ölçütleri kapsamında belirlenen Kaya Kütle Değeri (RMR) aşağıda sunulan temel bileşenler doğrultusunda şekillendirilmiştir. Bu çalışma kapsamında Bieniawski 1989 Kaya Kütle Sınıflaması (RMR) kullanılmıştır.

6.3 Kaya Kütle Değeri (Q)

Barton vd. (1974) tarafından önerilen değerlendirme ölçütleri kapsamında belirlenen Kaya Kütle Değeri (Q) destekleme sisteminde, kazı destek oranı ‘ESR’ (Tablo 6.6) ile tünel çapı yardımıyla eşdeğer boyut (De) hesaplanır. Hesaplanan (De) ve (Q) değerleri ile sunulan abak kullanılarak destek sistemleri belirlenir.

Uzun yıllar kullanılan bu abak Grimstad ve Barton (1993) tarafından revize edilen abakta 9 ayrı destek sistemi tanımlanmıştır (Şekil 6.2).

Tablo 6.1 Kaya Yüku (Terzaghi) Sınıflaması

Sınıf No	Fiziksel Özellik	Açıklama	Düşey Yük Hp	Desteklenme Şekli
1	Sağlam ve çatlaksız	Magmatik kayalar, tabaka kalınlığı tünel boyutu yanında önemsiz kalan çökel kayalar	0	Kaya Bulonu veya geçici destek
2	Sağlam tabakası veya şistsel	Seyrek eklem ve çatlaklı çökel kayalar, çok hafif metamorfizma geçirmiş şistler	0-0.5B	Kaya Bulonu veya geçici destek
3	Tabakasız, orta derecede eklemli	Magmatik, metamorfik çökel kayalar orta derecede eklemli ve çatlaklı, çatlaklar arasında kuvars ve kalsit bağlayıcılar iyi, kil kötü yönde etkiler.	0-0.25B	Kaya Bulonu veya geçici destek
4	Parçalı ve çatlaklı	Makaslama ve fay zonları yakınında ortalama 10 cm den büyük aralı, parçalı, çatlaklı kayalar	0-25B - 0.35(B+Ht)	Sık kaya bulonu (2m aralıklı) veya kalıcı-geçici destek
5	Çok parçalı ve çatlaklı	Makaslama ve fay zonları yakınında ortalama 10 cm den ufak aralı çok parçalı, çatlaklı kayalar	0.35-1.10 (B+Ht)	Kalıcı destek ve/veya püskürtme betonu
6	Tamamen parçalanmış (fakat kimyasal yönden ayrılmamış)	Tamamen parçalanmış, sıkışmamış, kohezyonu, çok az, ince daneler haline gelmiş veya kimyasal ve fiziksel etkilerle belirli bir sürede bu hale gelebilen kayaç	1.10(B+Ht)	Dairesel kalıcı destek ve püskürtme betonu, prefabrik kaplama
7	Sıkıştırın (Orta derinlikte)	Killer ve kil minarelleri içeren kayalar	1.10-2.10 (B+Ht)	Dairesel kalıcı destek ve püskürtme betonu, prefabrik kaplama
8	Sıkıştırın (Çok derinde)	Az şişen killer (Kaolen minerali)	2.10-4.50 (B+Ht)	Dairesel kalıcı destek ve püskürtme betonu, prefabrik kaplama
9	Şişen	Çok şişen killer (montmorillonit, bentonit vb.)	4.50(B+Ht) -75 m	Dairesel kalıcı destek ve püskürtme betonu, prefabrik kaplama

B: Tünelin tabanındaki genişliği, Ht: Tünelin yüksekliği, Hp: Kaya Yüku

Tablo 6.2 RMR Sınıflama değişkenleri ve puanlamaları (Bieniawski, 1989)
(1MPa=10.197kgf/cm²).

1	Sağlam kayacın dayanımı	Nokta yükü dayanım indeksi	>10MPa	4-10MPa	2-4MPa	1-2MPa	Düşük aralıklar için tek eksenli sıkışma dayanımı kullanılmalı			
		Tek eksenli	>250MPa	100-250 MPa	50-100MPa	25-50Mpa	5-25 MPa	1-5 MPa	<1MPa	
		Puan	15	12	7	4	2	1	0	
2	Kayaç Kalite Göstergesi, RQD		%90-100	%75-%90	%50-%75	%25-%50	<%25			
		Puan	20	17	13	8	3			
3	Süreksizlik Aralığı		>2m	0.6-2m	200-600mm	60-200 mm	<60mm			
		Puan	20	15	10	8	5			
4	Süreksizlik Uzunluğu		<1m	1-3 m	3-10 m	10-20 m	>20m			
		Puan	6	4	2	1	0			
	Süreksizlik Açıklığı		Yok	<0.1 mm	0.1-1mm	1-5 mm	>5mm			
		Puan	6	5	4	1	0			
	Pürüzlülük		Çok Pürüzlü	Pürüzlü	Az Pürüzlü	Düz	Kaygan			
		Puan	6	5	3	1	0			
	Dolgu		Yok	Sert Dolgu		Yumuşak Dolgu				
				<5mm	>5mm	<5mm	>5mm			
		Puan	6	4	2	2	0			
		Bozunma		Bozunmamış	Az Bozunmuş	Orta Derecede Bozunmuş	Bozuşmuş	Çok Bozuşmuş		
	Puan	6	5	3	1	0				
5	Yeraltı suyu	Tünelin 10m'lik kısmından gelen su	Yok	10 lt/dk	< 25 lt/dk	25-125 lt/dk	>125 lt/dk			
		Oran	0	0.0-0.1	0.1-0.2	0.2-0.5	>0.5			
	Ekleme su basıncı Ana asal gerilme									
		Genel Koşullar	Tamamen Kuru	Nemli	Islak	Damlama	Su Çıkışı			
	Puan	15	10	7	4	0				

Tablo 6.3 RMR Süreksizlik durumuna göre düzeltme (Bieniawski,1989).

Doğrultu, Eğim		Çok Uygun	Uygun	Orta	Uygun Değil	Hiç Uygun Değil
Puan	Tünel	0	-2	-5	-10	-12
	Temel	0	-2	-7	-15	-25
	Şev	0	-5	-25	-50	-60

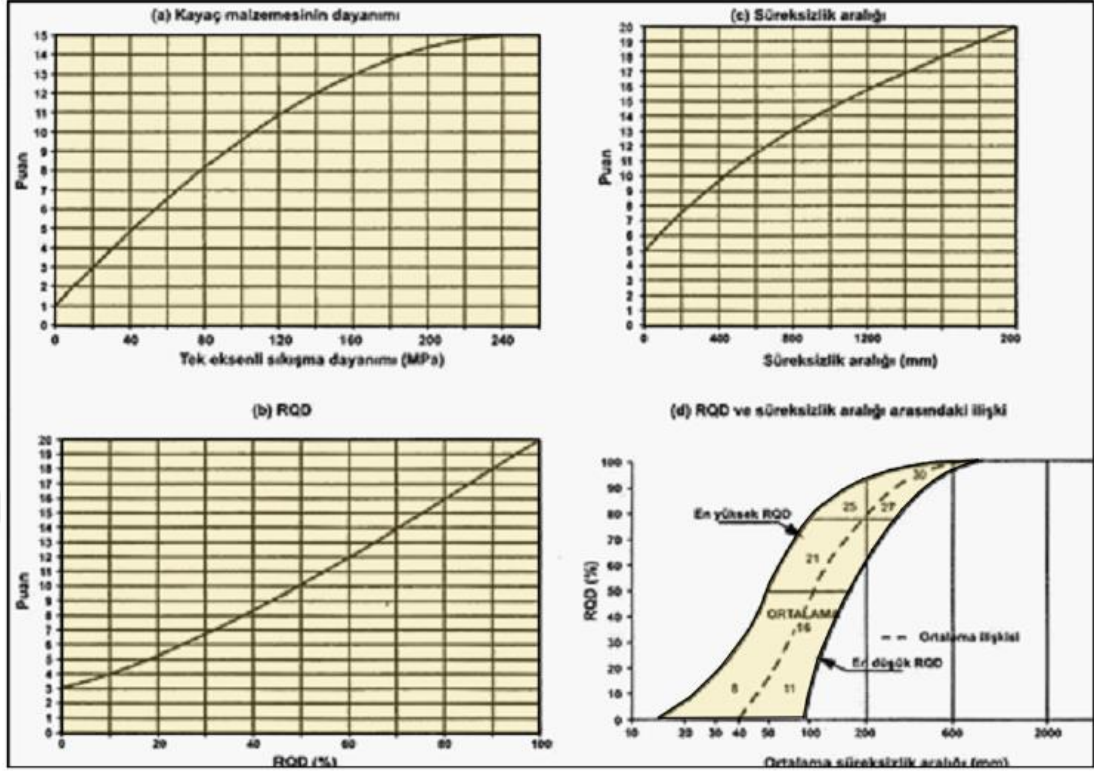
Tablo 6.4 RMR toplam değerlendirmeden kaya sınıflaması belirlenmesi ve nicelik anlamları

Sınıf No	I	II	III	IV	V
Tanımlama	Çok iyi kaya	İyi kaya	Orta kaya	Zayıf kaya	Çok zayıf kaya
Puan	100←81	80←61	60←41	40←21	< 20
Ortalama Kendini Tutma Süresi	15 m açıklık için 20 yıl	10 m açıklık için 1 yıl	5 m açıklık için 1 hafta	2.5 m açıklık için 10 saat	1 m açıklık için 10 dakika
Kaya Kütlelerinin kohezyonu (kPa)	>400	300-400	200-300	100-200	<100
Kaya Kütlelerinin İçsel Sürtünme Açısı Φ	>45	35-45	25-35	15-25	<15

Tablo 6.5 RMR destek sistemleri [10 m genişliğinde tüneller için destekleme sistemleri (Bieniawski, 1976)]

KALICI DESTEK (TAHKİMAT)				
KAYA KÜTLESİ SINIFI	Kazı	Kaya saptamaları (*) (10 m genişlikteki tünel için uzunluk)	Püskürtme beton	Çelik Destek
I	Tam kesit, 3 m ilerleme			
II	Tam kesit, 1.0 - 1.5 m ilerleme, komple destek. Aynaya 20 m mesafede.	Kemerin her 2 - 3 m' sinde yer yer saptama, tel kafeslerle 2 - 2.5 m aralıklı	Gerektiğinde tavan kemerinde 50 mm	Yok
III	Tavan kemeri ve tabandan ilerleme. Tavandan 1.5 - 3 m ilerleme. Komple destek. Aynaya 10 m mesafeye kadar gerekli.	3 - 4 m uzunlukta sistematik saptamalar. Kemerde tel kafesli duvarlar ve kemerde 1.5 -2 m aralıklı.	Tavan kemerinde 50-100 mm, yan duvarlarda 30 mm	Yok
IV	Tavan kemeri ve tabandan ilerleme. Tavandan 1.0 - 1.5 m ilerleme, kazıya uygun şekilde aynaya 10'm mesafeye kadar gerekli destek.	Tel kafesli duvarlarda ve kemerde 1 - 1.5 m aralıklı, 4 - 5 m uzunlukta sistematik saptama.	Tavan kemerinde 100 - 150 mm ve yan duvarlarda 100 mm	Gereken yerde 1.5 m aralıklı yer yer hafif profiller
V	Tavan ve tabanda birlikte ilerleme. Tavandan 0.5 - 1 m ilerleme, kazıyla birlikte destek yerleştirilmeli. Patlatmadan hemen sonra püskürtme beton uygulanmalı.	Tel kafesli duvarlarda ve kemerde 1 - 1.5 m aralıklı, 5 m uzunlukta sistematik saptama.	Tavan kemerinde 150 - 200 mm, yan duvarlarda 150 mm, aynada 50 mm.	Çelik iksalı, 0.75 m aralıklı orta-ağır profiller

• (*) 20 mm çaplı tamamen reçine dolgulu
• Tünel şekli: At nalı , İnşaat : Delme ve patlatma, Genişlik 10 m, Düşey gerilim < 25 MPa

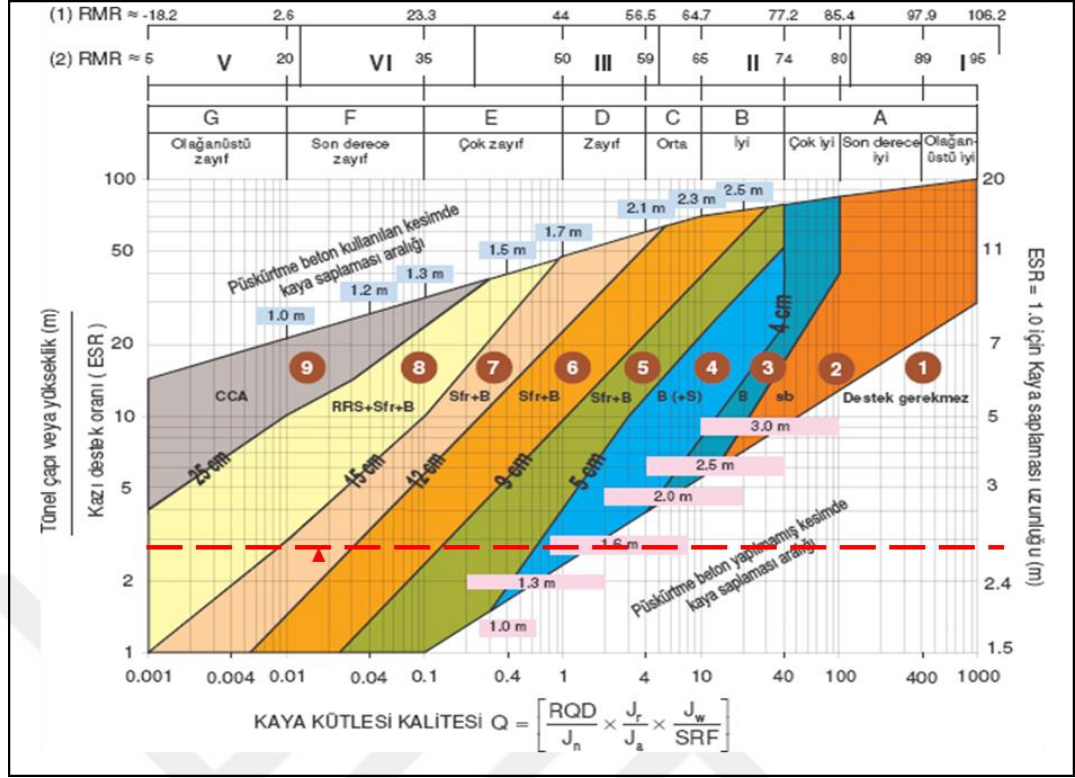


Şekil 6.1 Tek eksenli sıkışma dayanımı, süreksizlik aralığı ve RQD parametrelerine ait puanların belirlenmesinde kullanılan grafik (Bieniawski, 1989)

Tablo 6.6 Kazı destek oranları (ESR-1974)

KAZI TİPİ	ESR
Geçici maden kazıları	3-5
Uzun süreli maden kazıları, hidrolik amaçlı su tünelleri , büyük kazılar için pilot tüneller, geniş yer altı kazıları için yarmalar ve aynalar	1.6
Geniş yer altı odaları, su tasfiye tesisleri, küçük kara ve demiryolu tünelleri, yaklaşım tünelleri, denge bacaları	1.3
Enerji santralleri, büyük (ana) karayolu ve demiryolu tünelleri, sivil savunma sığınakları, tünel ağzları, yeraltında birbirini kesen açıklıkların kesişme yerleri	1.0
Yeraltı nükleer enerji santralleri, demiryolu istasyonları, spor ve kamu tesisleri, fabrikalar	0.8

Not: Kullanılan ESR değeri koyu fontla işaretlenmiştir.



- 1-Destek gerekmez,
- 2-Lokal kaya saplaması(bulonlama)-sb,
- 3-Sistematik kaya saplaması-B
- 4- Sistematik kaya saplaması ve 4-5 cm kalınlığındaki takviyesiz püskürtme beton-B(+S)
- 5- Kaya Saplamalı, çelik kafes takviyeli 5-9 cm kalınlığında püskürtme beton (Sfr+B)
- 6- Kaya Saplamalı, kafes takviyeli 9-12 cm kalınlığında püskürtme beton (Sfr+B)
- 7- Kaya Saplamalı, kafes takviyeli 12-15 cm kalınlığında püskürtme beton (Sfr+B)
- 8- Kaya Saplamalı, çelik iksalı, kafes takviyeli 15-25 cm kalınlığında püskürtme beton (Sfr+RRS+B)
- 9- Beton Kemerli-CCA

Şekil 6.2 Q Kaya Kalite Kütleli sınıflandırma sistemi destekleme türleri

$$\text{Eşdeğer Boyut (De)} = \text{Tünel kazı çapı (m)} \setminus \text{Kazı destek oranı (ESR)} \quad (6.1)$$

Projedeki 4,60 m tünel çapı için Eşdeğer Boyut (De) = 2,875 olarak bulunmuştur.

Q sınıflama sisteminde yapılan hesaplamalara göre; Q veya NGI (Norwegian Geotechnical Institute) sistemi olarak bilinen bu sistem Barton ve Grimstad (1993) tarafından revize edilmiştir. Bu çalışma kapsamında Barton ve Grimstad (1993) Q sınıflama sistemi kullanılmıştır (Tablo 6.7-6.12).

Tablo 6.7 RQD Sistemi Sınıflaması

Sınıf	RQD, %	Tanımlama	Tasarıma Esas Alınan Değer
A	0-25	Çok Zayıf	10
B	25-50	Zayıf	
C	50-75	Orta	
D	75-90	İyi	
E	90-100	Çok İyi	

RQD>olup 5'in katları olarak seçilir.

Tablo 6.8 Eklem Takım Sayısı (J_n)

	Tanım	Değerlendirme	Not
A	Masif, eklem çok az veya hiç yok	0.5-1	i-Kesişme olan tüneller için $3 \times J_n$ değeri kullanılır. ii-Giriş ve çıkış portallarında ($2 \times J_n$) kullanılmalıdır.
B	Bir eklem takımı	2	
C	Bir eklem takımı ve gelişigüzel eklemeler	3	
D	İki eklem takımı	4	
E	İki eklem takımı ve gelişigüzel eklemeler	6	
F	Üç eklem takımı	9	
G	Üç eklem takımı ve gelişigüzel eklemeler	12	
H	Dört veya daha fazla eklem takımı, gelişigüzel çok sayıda eklemeler, küp şekeri görünümünde	15	
J	Parçalanmış kaya, toprak görünümünde	20	

Tablo 6.9 Eklem Pürüzlülük Sayısı (J_r)

	Tanım	Değerlendirme	Not
a) Kaya duvar dokunağı			*İlgili eklem takımlarının ortalama ara mesafesi 3 metreden büyükse 1.0 ilave edilir. *Lineasyon içeren düzlemsel fay aynalı eklemeler için, lineasyonların uygun olması koşulu ile $J_r=0.5$ alınabilir. *B den G ye kadar olanlar küçük, diğerleri büyük yapılarıdır
b) 10 cm.'lik kesmeden önce kaya duvar dokunağı			
A	Süreksiz eklemeler	4	
B	Pürüzlü ya da düzensiz dalgalı	3	
C	Düz, dalgalı	2	
D	Kaygan dalgalı	1.5	
E	Pürüzlü veya düzensiz düzlemsel	1.5	
F	Düz, düzlemsel	1	
G	Kaygan düzlemsel	0.5	
c) Kesmeden sonra kaya duvar dokunağı yok			
H	Kaya duvar kontağını önleyebilecek kalınlıktaki kil mineralleri içeren zon	1	
J	Kaya duvar kontağını önleyebilecek kalınlıktaki kumlu, çakıllı, ezilmiş zon	1	

Tablo 6.10 Eklem Alterasyon Sayısı (J_a)

	Tanım	Değerlendirme		Not
		Değer	φr	
Kaya duvar kontağı		Değer	φr	*φr değerleri, eğer varsa Aliterasyon ürünlerinin mineralojik özelliklerini yaklaşık olarak göstermek için verilmiştir.
A	Sıkıca bağlanmış, sert, yumuşamaz, geçirimsiz dolgu (örneğin kuvars veya epidot)	0.75	-	
B	Altere olmamış eklem yüzeyleri, sadece yüzeysel paslanma	1	25°-35°	
C	Hafif altere olmuş eklem yüzeyleri, yumuşamayan mineral kaplamaları	2	25°-35°	
D	Siltli veya kumlu kil kaplamaları, düşük kil oranı (yumuşamayan)	3	20°-25°	
E	Yumuşamayan veya düşük sürtünmeli kil mineral kaplamalı (kaolinit, mika gibi). Ayrıca klorit, talk, jips, grafit ve az miktarda şişen killer (1-2 mm veya daha az kalınlıkta kesikli kaplamalar)	4	8°-16°	
F	Kum taneleri, kil içermeyen kaya parçaları	4	25°-30°	
G	Aşırı konsolide olmuş yumuşamayan kil mineral dolguları (kesiksiz, kalınlık 5 mm.'den az)	6	16°-24°	
H	Orta ve yüksek derecede konsolide olmuş, yumuşamayan kil mineral dolgulu (kesiksiz, kalınlık 5 mm.'den az)	8	12°-16°	
J	Şişen kil dolgulu (örn. montmorillonit) (kesiksiz, kalınlık 5 mm'den az). J _a 'nın değeri şişen kil boyutundaki tanelerin yüzdesine ve su etkisinde kalıp kalmayacağına göre değişir	8-12	6°-12°	
Kaya duvar kontağı yok				
K	Dağılmış veya ezilmiş kaya ve kil zonları veya bantları	6, 8 veya 8-12	6°-24°	
L	Siltli veya kumlu kil zonları veya bantları, küçük kil parçaları (yumuşamayan)	5	-	
M	Sürekli, kalın kil zonları veya bantları (kilin tanımı için G,H, J şıklarına bakınız)	10, 13veya 13-20	6°-24°	

Tablo 6.11 Eklem Suyu İndirgeme Faktörü (J_w)

	Tanım	Değerlendirme		Not
		Değer	Su basıncı (kg/cm ²)	
A	Kuru kazılar veya su gelişi 5 lt/dk dan az	1	<1.0	*C den F ye kadar olan parametreler kaba tahminlerdir. Drenaj yapıldığında J _w arttırılmalıdır. *Buz içeren tabakalar olduğunda farklı problemlerle karşılaşılabilir ve burada göz
B	Orta derece su gelişi veya basıncı, genellikle eklem dolgularının yıkanması (5 lt/dk yerel)	0.66	1-2.5	
C	Dolgunsuz, dayanımlı ve eklemli kayada çok su gelişi veya yüksek su basıncı	0.5	2.5-10.0	
D	Çok miktarda su gelişi veya yüksek su basıncı ile eklem dolgularının fazlaca yıkanması	0.33	2.5-10.0	
E	Patlatma ile çok fazla su gelişi, zamanla azalma	0.2-0.1	>10.0	
F	Zamanla azalmayan çok fazla su gelişi veya basıncı	0.1-0.05	>10.0	

Tablo 6.12 Gerilme Azaltma Faktörü (SRF)

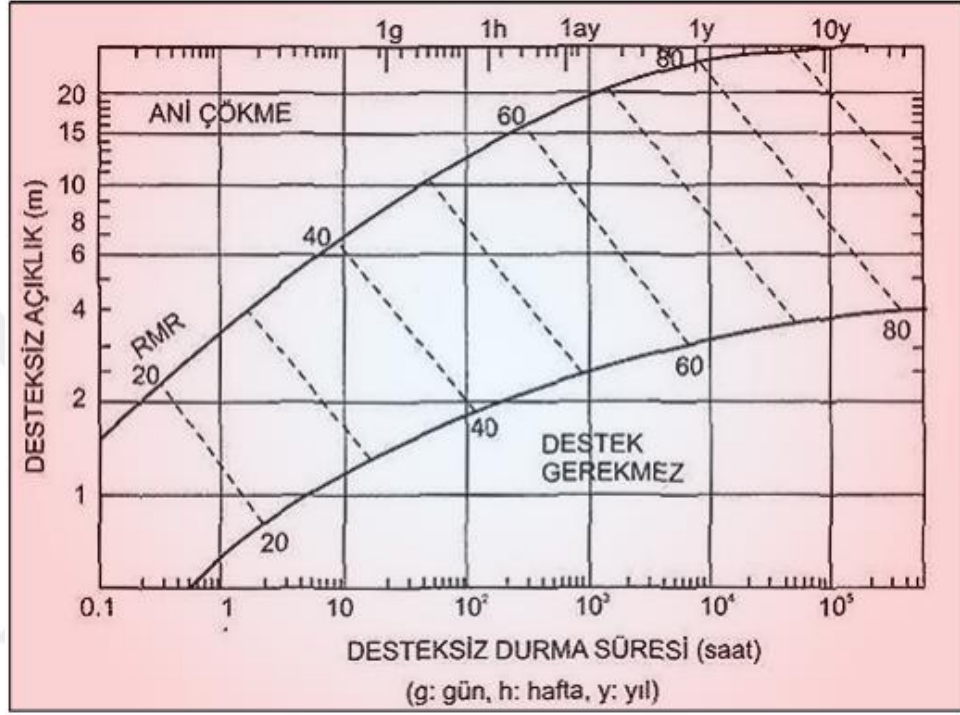
	Tanım	Değerlendirme		Not	
a) Kazıyı kesen ve tünel kazılırken kaya kütlelerinin gevşemesine neden olabilecek zayıflık zonları					
A	Kil veya kimyasal olarak ayrılmış kaya kapsayan birden fazla zayıflık zonu, çevre kaya çok gevşek (herhangi bir derinlikte)	10.0		*Kazıyı etkileyen fakat kesmeyen zayıflık zonu varsa SRF değerlerini % 25-50 azaltınız. *Kazı derinliğinin kazı genişliğinden az olduğu durumlarda SRF'yi 2.5 ten 5 e çıkartınız.	
B	Kil ve kimyasal olarak ayrılmış kaya kapsayan tek bir zayıflık zonu (kazi derinliği ≤ 50 m)	5.0			
C	Kil ve kimyasal olarak ayrılmış kaya kapsayan tek bir zayıflık zonu (kazi derinliği >50 m)	2.5			
D	Sağlam kayada çoklu makaslama zonları (kil yok), çevre kaya çok gevşek (herhangi bir derinlikte)	7.5			
E	Sağlam kayada çoklu makaslama zonları (kil yok), çevre (kazi derinliği ≤ 50 m)	5.0			
F	Sağlam kayada çoklu makaslama zonları (kil yok), çevre (kazi derinliği >50 m)	2.5			
G	Gevşek, açık eklemler, çok fazla eklemler veya küp şeker görünümlü (herhangi bir derinlikte)	5.0			
b) Sağlam kaya, kaya gerilme problemleri		σ_c/σ_1	σ_t/σ_1		
H	Yüzeye yakın düşük gerilme	>200	>13		2.5
J	Orta gerilme	200-10	13-0.66		1.0
K	Yüksek gerilme (çok sıkı yapı)	10-5	0.66-0.33	0.5-2.0	
L	Orta şid. (masif) kaya patlaması	5-2.5	0.33-0.16	5-10	
M	Yüksek şid. (masif) kaya patlaması	<2.5	<0.16	10-20	
c) Sıkışan kaya, yüksek basınç altında sağlam olmaya kayanın plastik akışı					
N	Orta miktarda sıkışan kaya basıncı	5-10			
O	Yüksek miktarda sıkışan kaya basıncı	10-20			
d) Şişen kaya; Suyun varlığına bağlı kimyasal şişme					
P	Orta miktarda şişen kaya basıncı	5-10			
R	Yüksek miktarda şişen kaya basıncı	10-15			

(6.1)

Eşitlik 6.1'de;

RQD: Kaya Kalitesi, J_n : Eklem Takım Sayısı, J_r : Eklem Pürüzlülük Sayısı, J_a : Eklem Alterasyon Sayısı, J_w : Eklem suyu indirgeme Sayısı, SRF: Gerilme indirgeme katsayısıdır. (RQD/J_n) blok boyutunu, (J_r/J_a) bloklar arası makaslama dayanımını, (J_w/SRF) aktif gerilmeyi temsil etmektedir.

Ancak, öngörülen desteksiz durma süresi aşağıdaki grafikten (Şekil 6.3) değerlendirilirken, desteksiz durma süresinin uzun olacağı tahmin edilen bir kaya kütlelerinde, uygulama sırasında açıklığın tavanının desteklenmesinde meydana gelebilecek bir gecikmenin bu süreyi azaltacağı da dikkate alınmalıdır (Singh ve Goel, 1999).



Şekil 6.3 RMR kaya kütleleri sınıflarına göre desteksiz durma süresi ve desteksiz tavan açıklığı arasındaki ilişki (Bieniawski, 1989)

7. ELMALI TÜNELİ KAYA KÜTLE DEĞERLENDİRMESİ

7.1 Km:0+000-0+050 Arası Kaya Kütle Değerlendirmesi

Tünel güzergâhı Km:0+000-0+050 aralığında SK-1 nolu temel araştırma sondaj kuyusu açılmıştır.

7.1.1 Kaya Yüğü Sınıflaması (Terzaghi)

SK-1 nolu sondaj kuyusunda tünel tavan ve taban kotunda geçilen kireçtaşı birimleri için tamamen parçalanmış (fakat kimyasal yönden ayrışmamış) olarak değerlendirme uygun görülmüştür. Bu durumda (Terzaghi) sınıflamasına göre 6 nolu sınıfta yer alan tünele gelecek olan maksimum örtü yükü; $1.10 (B+Ht)$ formülünden $1,10 \times (4,60+4,60) \cong 10,12$ metre, $h_p = hx\gamma$ formülünden; $H_p = 1012 \text{ cm.} \times 2,6 \cdot 10^{-3} \text{ kg/cm}^3 = 2,63 \text{ kg/cm}^2$ olarak hesaplanmıştır. 6 nolu sınıfta yer alan örtü yükü için “Dairesel kalıcı destek ve püskürtme betonu, prefabrik kaplama” kullanılabilir.

7.1.2 Kaya Kütlesi Sınıflaması (RMR)

Tek eksenli basınç dayanım değeri; SK-1 nolu temel araştırma sondajında kireçtaşı birimlerinden alınan karot numuneler üzerinde yapılan laboratuvar deneyleri ve ilgili derinliklerde birimlerin ayrışma derecesi göz önüne alınarak 83 MPa dayanım değerine göre; $RMR_{puan}: 7$ olarak seçilmiştir.

RQD Değeri; SK-1 nolu temel araştırma sondajlarında ilgili derinliklerde yapılan değerlendirmelere göre ortalama RQD: %10 olarak kullanılmasının uygun olacağı düşünülmüş olup; $RMR_{puan}: 3$ olarak seçilmiştir.

Süreksizlik Aralığı; SK-1 nolu temel araştırma sondajlarında ilgili derinliklerde yapılan değerlendirmelere göre 10-50 çatlak sıklığı için $RMR_{puan}: 5$ olarak seçilmiştir.

Süreksizlik Durumu; SK-1 nolu temel araştırma sondajlarında ilgili derinliklerde yapılan değerlendirmeler dikkate alınarak süreksizlik durumu için aşağıda tabloda verilen değerler doğrultusunda; $RMR_{puan}: 17$ olarak seçilmiştir.

Su Durumu; SK-1 nolu temel araştırma sondajında ilgili derinliklerde yapılan Basınçlı Su Testi (BST) deneylerine göre kireçtaşı birimleri genel olarak geçirimsiz özellikte olup, üst kesimleri ayrışmaya bağlı olarak az geçirimli özellikte olup, yer yer erime boşlukludur. Kuyuda yeraltı suyu seviyesi 13 m derinliğinde gözlenmiş olup, tünel

tavan kotunun üstündedir. Mevsimsel yağışlara bağlı olarak yeraltı suyu durumunda meydana gelebilecek olan değişimler göz önüne alındığında tünele su gelimleri beklenmekte olup, güvenli tarafta kalınarak; RMR_{puan} : 4 (damlama) olarak seçilmiştir.

Süreksizlik Yönelimi; SK-1 nolu temel araştırma sondajlarında ilgili derinliklerde yapılan değerlendirmelere göre; birim çok ayrılmıştır. Tünel stabilitesine etkisi olacağı düşünülen en kritik durum doğrultu tünel eksenine dik ve eğime karşı yönde ilerleme 20° - 45° dikkate alınmış ve buna göre; RMR_{puan} : -10 (olumsuz) olarak seçilmiştir.

Tablo 7.1 RMR Kaya Sınıfı puan durumu

SINIFLAMA PARAMETRESİ		DEĞERİ veya TANIMI	DERECELENDİRME (PUAN)
1	Kayaç dayanımı (Tek Eksenli dayanımına göre)	50-100 MPa	7
2	RQD	<%25	3
3	Süreksizlik aralığı	<60 mm	5
4	Süreksizlik durumu	Devamlılık: <3-10m (2) Açıklık: 1-5 mm (1) Pürüzlülük: Pürüzlü (5) Dolgu: Sert Dolgu: <5 mm (4) Bozunma: Az Bozunmuş (5)	17
5	Yeraltı suyu durumu	Damlama	4
6	Süreksizlik yönelimine göre düzeltme	Uygun Değil (Tünel için)	-10
RMR = 7+3+5+17+4+(-10)			26
RMR Kaya Sınıflaması			Zayıf Kaya

Yapılan değerlendirmelerde Tablo 7.1'deki kaya sınıflama sistemine göre, proje güzergâhı üzerinde yayılım gösteren kireçtaşı biriminin $RMR=26$ olan ve IV. Sınıfa dahil olan Zayıf Kaya diye adlandırılan gruba dahil olduğu söylenebilir.

RMR sınıflama sistemine göre yapılan hesaplamalar doğrultusunda, zayıf kaya kalitesinde yer alan tünel kesiminde uygulanacak olan destek sistemi için Tablo 6.2'ye göre Kaya Kütle Sınıfı IV'e göre Kalıcı Destek (Tahkimat) uygulanmalıdır.

7.1.3 Kaya Kütle Değeri (Q)

Barton vd. (1974) tarafından önerilen değerlendirme ölçütleri kapsamında belirlenen Kaya Kütle Değeri (Q) destekleme sisteminde, kazı destek oranı 'ESR' ile tünel çapı

yardımıyla eşdeğer boyut (De) hesaplanır. Hesaplanan (De) ve (Q) değerleri ile sunulan abak kullanılarak destek sistemleri belirlenir.

Eşdeğer Boyut (De)= Tünel kazı çapı (m) \ Kazı destek oranı (ESR)

Projedeki 4,60 m tünel çapı için Eşdeğer Boyut (De) = 2,875 olarak bulunmuştur.

Tablo 7.2 Kaya Kütle Değeri (Q) Özet Tablo

No	Parametre	Değer/Tanım	Puan
1	RQD: Kaya Kalite Göstergesi	A. Çok Zayıf	10
2	J _n : Eklem Takımı Sayısı	H. Dört Eklem Takımı Portaller için (2.0*J _n)	15*2=30 (Portal)
3	J _r : Eklem Pürüzlülük Sayısı	E. Pürüzlü veya düzensiz/düzlemsel	1.5
4	J _a : Eklem Alterasyon Sayısı	C. (25-30°) Az bozuşmuş eklem duvarları, kilsiz, kumlu, kaya parçalı ve mineral lekeli	2
5	J _w : Eklem Su Azaltma Faktörü	D. Yüksek akış veya basınç, önemli boyutta eklem yıkanmaları	0.33
6	SRF: Gerilme azaltma Faktörü	E. Kil içermeyen dayanımlı kayada tekil zayıflık zonu (kazı derinliği <50 m)	5

Q destekleme sistemine göre önerilen destekleme sistemi (7): Kaya saplamalı, kafes takviyeli, 12-15 cm kalınlığında püskürtme betonu kullanılabilir.

“Desteksiz durma süresi - tavan açıklığı boyutu (desteksiz açıklık)”na ve RMR puanına bağlı olarak o açıklığın desteksiz durma süresi veya ani çökmeye uğrayıp uğramayacağı yada tamamen desteksiz durabileceği kestirilebilmektedir. Şekil 6.3’e göre yaklaşık 10 saat durma süresi belirlenmiştir.

7.2 Km:0+050-1+200 Arası Kaya Kütle Değerlendirmesi

Tünel güzergâhı Km:0+050-1+200 aralığında SK-2, SK-3 ve SK-4 nolu temel araştırma sondaj kuyuları açılmıştır.

7.2.1 Kaya Yüğü Sınıflaması (Terzaghi)

SK-2, SK-3 ve SK-4 nolu sondaj kuyularında tünel tavan ve taban kotunda geçilen şeyl birimleri için Parçalı ve çatlaklı olarak değerlendirme uygun görülmüştür. Bu

durumda (Terzaghi) sınıflamasına göre 4 nolu sınıfta yer alan tünele gelecek olan maksimum örtü yükü; $0.35 (B+ Ht)$ formülünden $0,35 \times (4,60+4,60) \cong 3,22$ metre, $hp = hxy$ formülünden; $Hp = 322 \text{ cm.} \times 2,45 \cdot 10^{-3} \text{ kg/cm}^3 = 0,79 \text{ kg/cm}^2$ olarak hesaplanmıştır. 4 nolu sınıfta yer alan örtü yükü için “Sık kaya bulonu (2m aralıklı) veya kalıcı-geçici destek” kullanılabilir.

7.2.2 Kaya Kütlesi Sınıflaması (RMR)

Tek eksenli basınç dayanım değeri; SK-2, SK-3 ve SK-4 nolu sondaj kuyularında şeyl birimlerinden alınan karot numuneler üzerinde yapılan laboratuvar deneyleri ve ilgili derinliklerde birimlerin ayrışma derecesi göz önüne alınarak yaklaşık 40 MPa dayanım değerine göre; RMR_{puan} : 5 olarak seçilmiştir.

RQD Değeri; SK-2, SK-3 ve SK-4 nolu sondaj kuyularında ilgili derinliklerde yapılan değerlendirmelere göre ortalama RQD: %85 olarak kullanılmasının uygun olacağı düşünülmüş olup; RMR_{puan} : 17 olarak seçilmiştir.

Süreksizlik Aralığı; SK-2, SK-3 ve SK-4 nolu sondaj kuyularında ilgili derinliklerde yapılan değerlendirmelere göre 3-10 çatlak sıklığı için RMR_{puan} : 11 olarak seçilmiştir.

Süreksizlik Durumu; SK-2, SK-3 ve SK-4 nolu sondaj kuyularında ilgili derinliklerde yapılan değerlendirmeler dikkate alınarak süreksizlik durumu için aşağıda tabloda verilen değerler doğrultusunda; RMR_{puan} :19 olarak seçilmiştir.

Su Durumu; SK-2, SK-3 ve SK-4 nolu sondaj kuyularında ilgili derinliklerde yapılan Basıncılı Su Testi (BST) deneylerine göre şeyl birimleri genel olarak geçirimsiz özelliktedir. Kuyularda yeraltı suyu seviyesi tünel tavan kotunun üstündedir. Mevsimsel yağışlara bağlı olarak yeraltı suyu durumunda meydana gelebilecek olan değişimler ve statik su basıncı göz önüne alındığında tünele su gelimleri beklenmekte olup, güvenli tarafta kalınarak; RMR_{puan} : 7 (ıslak) olarak seçilmiştir.

Süreksizlik Yönelimi; SK-2, SK-3 ve SK-4 nolu sondaj kuyularında ilgili derinliklerde yapılan değerlendirmelere göre; birim az ayrışmış, kırıklı, çatlaklıdır. Tünel stabilitesine etkisi olacağı düşünülen en kritik durum doğrultu tünel eksenine dik ve eğime karşı yönde ilerleme 20° - 45° dikkate alınmış ve buna göre; RMR_{puan} : -10 (olumsuz) olarak seçilmiştir.

Tablo 7.3 RMR Kaya Sınıfı puan durumu

SINIFLAMA PARAMETRESİ		DEĞERİ veya TANIMI	DERECELENDİRME (PUAN)
1	Kayaç dayanımı (Tek Eksenli dayanımına göre)	25-50 MPa	5
2	RQD	% 75-90	17
3	Süreksizlik aralığı	20-60 mm	11
4	Süreksizlik durumu	Devamlılık: <3-10m (2) Açıklık: 0.1-1 mm (3) Pürüzlülük: Pürüzlü (5) Dolgu: Sert Dolgu: <5 mm (4) Bozunma: Az Bozunmuş (5)	19
5	Yeraltı suyu durumu	Islak	7
6	Süreksizlik yönelimine göre düzeltme	Uygun Değil (Tünel için)	-10
RMR = 5+17+11+19+7+(-10)			49
RMR Kaya Sınıflaması			Orta Kaya

Yapılan değerlendirmelerde Tablo 7.3'deki kaya sınıflama sistemine göre, proje güzergâhı üzerinde yayılım gösteren şeyl biriminin RMR=49 olan ve III. Sınıfa dahil olan Orta Kaya diye adlandırılan gruba dahil olduğu söylenebilir.

RMR sınıflama sistemine göre yapılan hesaplamalar doğrultusunda, orta kaya kalitesinde yer alan tünel kesiminde uygulanacak olan destek sistemi için Tablo 6.2' ye göre Kaya Kütle Sınıfı III'e göre Kalıcı Destek(Tahkimat) uygulanmalıdır.

7.2.3 Kaya Kütle Değeri (Q)

Barton vd. (1974) tarafından önerilen değerlendirme ölçütleri kapsamında belirlenen Kaya Kütle Değeri (Q) destekleme sisteminde, kazı destek oranı 'ESR' ile tünel çapı yardımıyla eşdeğer boyut (De) hesaplanır. Hesaplanan (De) ve (Q) değerleri ile sunulan abak kullanılarak destek sistemleri belirlenir.

Eşdeğer Boyut (De)= Tünel kazı çapı (m) \ Kazı destek oranı (ESR)

Projedeki 4,60 m tünel çapı için Eşdeğer Boyut (De) = 2,875 olarak bulunmuştur.

Q destekleme sistemine göre önerilen destekleme sistemi (4): Sistematik kaya saplamalı, 4-5 cm kalınlığında takviyesiz püskürtme betonu kullanılabilir.

"Desteksiz durma süresi - tavan açıklığı boyutu (desteksiz açıklık)"na ve RMR puanına bağlı olarak o açıklığın desteksiz durma süresi veya ani çökmeye uğrayıp

uğramayacağı yada tamamen desteksiz durabileceği kestirilebilmektedir. Şekil 6.3'e göre yaklaşık 300 saat \approx 12 gün durma süresi belirlenmiştir.

Tablo 7.4 Kaya Kütle Değeri (Q) Özet Tablo

No	Parametre	Değer/Tanım	Puan
1	RQD: Kaya Kalite Göstergesi	D. İyi	85
2	J _n : Eklem Takımı Sayısı	G. Üç set+ Düzensiz süreksizlikler	12
3	J _r : Eklem Pürüzlülük Sayısı	E. Pürüzlü veya düzensiz/düzlemsel	1.5
4	J _a : Eklem Alterasyon Sayısı	C. (25-35°) Az bozmuş eklem duvarları, kilsiz, kumlu, kaya parçalı ve mineral lekeli	2
5	J _w : Eklem Su Azaltma Faktörü	C. Yüksek akış veya basınç	0.5
6	SRF: Gerilme azaltma Faktörü	F. Kil içermeyen dayanımlı kayada tekil zayıflık zonu (kazı derinliği >50 m)	2.5

7.3 Km:1+200-4+200 Arası Kaya Kütle Değerlendirmesi

Tünel güzergâhı Km:1+200-4+200 aralığında SK-5, SK-6 ve SK-7 nolu temel araştırma sondaj kuyuları açılmıştır.

7.3.1 Kaya Yüğü Sınıflaması (Terzaghi)

SK-5, SK-6 ve SK-7 nolu sondaj kuyularında tünel tavan ve taban kotunda geçilen çakıltaşı-kumtaşı-kiltaş birimleri için tamamen parçalanmış (fakat kimyasal yönden ayrışmamış) olarak değerlendirme uygun görülmüştür. Bu durumda (Terzaghi) sınıflamasına göre 6 nolu sınıfta yer alan tünele gelecek olan maksimum örtü yükü; $1.10 (B+ Ht)$ formülünden $1,10 \times (4,60+4,60) \cong 10,12$ metre, $hp = hxy$ formülünden; $H_p = 1012 \text{ cm} \times 2,2 \cdot 10^{-3} \text{ kg/cm}^3 = 2,23 \text{ kg/cm}^2$ olarak hesaplanmıştır. 6 nolu sınıfta yer alan örtü yükü için “Dairesel kalıcı destek ve püskürtme betonu, prefabrik kaplama” kullanılabilir.

7.3.2 Kaya Kütle Sınıflaması (RMR)

Tek eksenli basınç dayanım değeri; SK-5, SK-6 ve SK-7 nolu sondaj kuyularında çakıltaşı-kumtaşı-kiltaş birimlerinden alınan karot numuneler üzerinde yapılan

laboratuvar deneyleri ve ilgili derinliklerde birimlerin ayrışma derecesi göz önüne alınarak yaklaşık 10 MPa dayanım değerine göre; RMR_{puan} : 2 olarak seçilmiştir.

RQD Değeri; SK-5, SK-6 ve SK-7 nolu sondaj kuyularında ilgili derinliklerde yapılan değerlendirmelere göre ortalama RQD: %25 olarak kullanılmasının uygun olacağı düşünülmüş olup; RMR_{puan} : 6 olarak seçilmiştir.

Süreksizlik Aralığı; SK-5, SK-6 ve SK-7 nolu sondaj kuyularında ilgili derinliklerde yapılan değerlendirmelere göre 10-50 ve <50 çatlak sıklığı için RMR_{puan} : 5 olarak seçilmiştir.

Süreksizlik Durumu; SK-5, SK-6 ve SK-7 nolu sondaj kuyularında ilgili derinliklerde yapılan değerlendirmeler dikkate alınarak süreksizlik durumu için aşağıda tabloda verilen değerler doğrultusunda; RMR_{puan} :9 olarak seçilmiştir.

Su Durumu; SK-5, SK-6 ve SK-7 nolu sondaj kuyularında ilgili derinliklerde yapılan Basıncılı Su Testi (BST) deneylerine göre şeyl birimleri genel olarak geçirimsiz-az geçirimli özelliktedir. Kuyularda yeraltı suyu seviyesi tünel tavan kotunun üstündedir. Mevsimsel yağışlara bağlı olarak yeraltı suyu durumunda meydana gelebilecek olan değişimler ve statik su basıncı göz önüne alındığında tünele su gelimleri beklenmekte olup, güvenli tarafta kalınarak; RMR_{puan} : 7 (ıslak) olarak seçilmiştir.

Süreksizlik Yönelimi; SK-5, SK-6 ve SK-7 nolu sondaj kuyularında ilgili derinliklerde yapılan değerlendirmelere göre; birim çok ayrışmış, çok kırıklı, parçalanmıştır. Tünel stabilitesine etkisi olacağı düşünülen en kritik durum dikkate alınmış ve buna göre; RMR_{puan} : -12 (hiç uygun değil) olarak seçilmiştir.

Yapılan değerlendirmelerde Tablo 7.5'deki kaya sınıflama sistemine göre, proje güzergâhı üzerinde yayılım gösteren çakıltaşı-kumtaşı-kıltaşı biriminin $RMR=17$ olan ve V. Sınıfa dahil olan Çok Zayıf Kaya diye adlandırılan gruba dahil olduğu söylenebilir.

RMR sınıflama sistemine göre yapılan hesaplamalar doğrultusunda, zayıf kaya kalitesinde yer alan tünel kesiminde uygulanacak olan destek sistemi için Tablo 6.2' ye göre Kaya Kütleli Sınıfı V'e göre Kalıcı Destek (Tahkimat) uygulanmalıdır.

Tablo 7.5 RMR Kaya Sınıfı Puan Durumu

SINIFLAMA PARAMETRESİ		DEĞERİ veya TANIMI	DERECELENDİRME (PUAN)
1	Kayaç dayanımı (Tek Eksenli dayanımına göre)	10 MPa	2
2	RQD	% 25-50	6
3	Süreksizlik aralığı	<6 mm	5
4	Süreksizlik durumu	Devamlılık: <1-3m (4) Açıklık: 1-5 mm (1) Pürüzlülük: Düz (1) Dolgu: Yumuşak Dolgu: <5 mm (2) Bozunma: Bozunmuş (1)	9
5	Yeraltı suyu durumu	Islak	7
6	Süreksizlik yönelimine göre düzeltme	Hiç uygun değil (Tünel için)	-12
RMR = 2+6+5+9+7+(-12)			17
RMR Kaya Sınıflaması			Çok Zayıf Kaya

7.3.3 Kaya Kütle Değeri (Q)

Barton vd. (1974) tarafından önerilen değerlendirme ölçütleri kapsamında belirlenen Kaya Kütle Değeri (Q) destekleme sisteminde, kazı destek oranı ‘‘ESR’’ ile tünel çapı yardımıyla eşdeğer boyut (De) hesaplanır. Hesaplanan (De) ve (Q) değerleri ile sunulan abak kullanılarak destek sistemleri belirlenir.

Eşdeğer Boyut (De)= Tünel kazı çapı (m) \ Kazı destek oranı (ESR)

Projedeki 4,60 m tünel çapı için Eşdeğer Boyut (De) = 2,875 olarak bulunmuştur.

Yapılan değerlendirmelerde Tablo 7.5’deki kaya sınıflama sistemine göre, proje güzergâhı üzerinde yayılım gösteren çakıltaşı-kumtaşı-kıltaşı biriminin RMR=17 olan ve V. Sınıfa dahil olan Çok Zayıf Kaya diye adlandırılan gruba dahil olduğu söylenebilir.

RMR sınıflama sistemine göre yapılan hesaplamalar doğrultusunda, zayıf kaya kalitesinde yer alan tünel kesiminde uygulanacak olan destek sistemi için Tablo 6.2’ ye göre Kaya Kütle Sınıfı V’e göre Kalıcı Destek (Tahkimat) uygulanmalıdır.

Tablo 7.6 Kaya Kütle Değeri (Q) Özet Tablo

No	Parametre	Değer/Tanım	Puan
1	RQD: Kaya Kalite Göstergesi	A. Çok Zayıf	25
2	J _n : Eklem Takımı Sayısı	H. Dört Eklem Takımı	15
3	J _r : Eklem Pürüzlülük Sayısı	C. Pürüzsüz, dalgalı	2
4	J _a : Eklem Alterasyon Sayısı	D. (20-25°) Siltli, kumlu ve kil sıvımalı, yumuşamayan kil içerikli	3
5	J _w : Eklem Su Azaltma Faktörü	C. Yüksek akış veya basınç	0.5
6	SRF: Gerilme azaltma Faktörü	A. Kil veya kimyasal olarak parçalanmış kaya parçaları içeren birden fazla zayıflık zonu, çok zayıf kaya ortamı (herhangi bir derinlikte)	10

Q destekleme sistemine göre önerilen destekleme sistemi (6): Kaya saplamalı, kafes takviyeli 9-12 cm kalınlığında püskürtme betonu kullanılabilir.

“Desteksiz durma süresi - tavan açıklığı boyutu (desteksiz açıklık)”na ve RMR puanına bağlı olarak o açıklığın desteksiz durma süresi veya ani çökmeye uğrayıp uğramayacağı yada tamamen desteksiz durabileceği kestirilebilmektedir. Şekil 6.3.’ye göre yaklaşık 1 saat durma süresi belirlenmiştir.

7.4 Km:4+200-5+600 Arası Kaya Kütle Değerlendirmesi

Tünel güzergâhı Km:4+200-5+600 aralığında SK-8 ve SK-9 nolu temel araştırma sondaj kuyuları açılmıştır.

7.4.1 Kaya Yüğü Sınıflaması (Terzaghi)

SK-8 ve SK-9 nolu sondaj kuyularında tünel tavan ve taban kotunda geçilen kumtaşı-kiltaşı-silttaşı birimleri için Çok parçalı ve çatlaklı olarak değerlendirme uygun görülmüştür. Bu durumda (Terzaghi) sınıflamasına göre 5 nolu sınıfta yer alan tünele gelecek olan maksimum örtü yükü; $0.35 (B + H_t)$ formülünden $0,35 \times (4,60+4,60) \cong 3,22$ metre, $h_p = h_{xy}$ formülünden; $H_p = 322 \text{ cm.} \times 2,35 \cdot 10^{-3} \text{ kg/cm}^3 = 0,76 \text{ kg/cm}^2$ olarak

hesaplanmıştır. 5 nolu sınıfta yer alan örtü yükü için “*Kalıcı destek ve/veya püskürtme betonu*” kullanılabilir.

7.4.2 Kaya Kütlesi Sınıflaması (RMR)

Tek eksenli basınç dayanım değeri; SK-8 ve SK-9 nolu sondaj kuyularında kumtaşı-kiltaşı-silttaşı birimlerinden alınan karot numuneler üzerinde yapılan laboratuvar deneyleri ve ilgili derinliklerde birimlerin ayrışma derecesi göz önüne alınarak yaklaşık 20 MPa dayanım değerine göre; RMR_{puan}: 3 olarak seçilmiştir.

RQD Değeri; SK-8 ve SK-9 nolu sondaj kuyularında ilgili derinliklerde yapılan değerlendirmelere göre ortalama RQD: %40 olarak kullanılmasının uygun olacağı düşünülmüş olup; RMR_{puan}: 8 olarak seçilmiştir.

Süreksizlik Aralığı; SK-8 ve SK-9 nolu sondaj kuyularında ilgili derinliklerde yapılan değerlendirmelere göre 10-50 ve >50 çatlak sıklığı için RMR_{puan}: 7 olarak seçilmiştir.

Süreksizlik Durumu; SK-8 ve SK-9 nolu sondaj kuyularında ilgili derinliklerde yapılan değerlendirmeler dikkate alınarak süreksizlik durumu için aşağıda tabloda verilen değerler doğrultusunda; RMR_{puan}:13 olarak seçilmiştir.

Kuyularda yeraltı suyu seviyesi tünel tavan kotunun üstündedir. Mevsimsel yağışlara bağlı olarak yeraltı suyu durumunda meydana gelebilecek olan değişimler ve statik su basıncı göz önüne alındığında tünele su gelimleri beklenmekte olup, güvenli tarafta kalınarak; RMR_{puan}: 7 (ıslak) olarak seçilmiştir.

Süreksizlik Yönelimi; SK-8 ve SK-9 nolu sondaj kuyularında ilgili derinliklerde yapılan değerlendirmelere göre; birim çok ayrılmış, çok kırıklı, yer yer parçalanmıştır. Tünel stabilitesine etkisi olacağı düşünülen en kritik durum doğrultu tünel eksenine dik ve eğime karşı yönde ilerleme 20°-45° dikkate alınmış ve buna göre; RMR_{puan}: -10 (uygun değil) olarak seçilmiştir.

Yapılan değerlendirmelerde Tablo 7.7'deki kaya sınıflama sistemine göre, proje güzergâhı üzerinde yayılım gösteren kumtaşı- kiltaşı-silttaşı birimlerinin RMR=28 olan ve IV. Sınıfa dahil olan Zayıf Kaya diye adlandırılan gruba dahil olduğu söylenebilir.

Tablo 7.7 RMR Kaya Sınıfı puan durumu

SINIFLAMA PARAMETRESİ		DEĞERİ veya TANIMI	DERECELENDİRME (PUAN)
1	Kayaç dayanımı (Tek Eksenli dayanımına göre)	0-25 MPa	3
2	RQD	<%25-50	8
3	Süreksizlik aralığı	<10-50 mm	7
4	Süreksizlik durumu	Devamlılık: <3-10m (2) Açıklık: 1-5 mm (1) Pürüzlülük: Az Pürüzlü (3) Dolgu: Sert Dolgu: <5 mm (4) Bozunma: Orta Derecede Bozunmuş (3)	13
5	Yeraltı suyu durumu	Islak	7
6	Süreksizlik yönelimine göre düzeltme	Uygun Değil (Tünel için)	-10
RMR = 3+8+7+13+7+(-10)			28
RMR Kaya Sınıflaması			Zayıf Kaya

RMR sınıflama sistemine göre yapılan hesaplamalar doğrultusunda, zayıf kaya kalitesinde yer alan tünel kesiminde uygulanacak olan destek sistemi için Tablo 6.2' ye göre Kaya Kütle Sınıfı IV'e göre Kalıcı Destek (Tahkimat) uygulanmalıdır.

7.4.3 Kaya Kütle Değeri (Q)

Barton vd. (1974) tarafından önerilen değerlendirme ölçütleri kapsamında belirlenen Kaya Kütle Değeri (Q) destekleme sisteminde, kazı destek oranı 'ESR' ile tünel çapı yardımıyla eşdeğer boyut (De) hesaplanır. Hesaplanan (De) ve (Q) değerleri ile sunulan abak kullanılarak destek sistemleri belirlenir.

Eşdeğer Boyut (De) = Tünel kazı çapı (m) \ Kazı destek oranı (ESR)

Projedeki 4,60 m tünel çapı için Eşdeğer Boyut (De) = 2,875 olarak bulunmuştur.

Q destekleme sistemine göre önerilen destekleme sistemi (5): Kaya saplamalı, kafes takviyeli 5-9 cm kalınlığında püskürtme betonu kullanılabilir. "Desteksiz durma süresi - tavan açıklığı boyutu (desteksiz açıklık)"na ve RMR puanına bağlı olarak o açıklığın desteksiz durma süresi veya ani çökmeye uğrayıp uğramayacağı yada tamamen desteksiz durabileceği kestirilebilmektedir. Şekil 6.3'e göre yaklaşık 4 saat durma süresi belirlenmiştir.

Tablo 7.8 Kaya Kütle Değeri (Q) Özet Tablo

No	Parametre	Değer/Tanım	Puan
1	RQD: Kaya Kalite Göstergesi	B. Zayıf	40
2	J _n : Eklem Takımı Sayısı	H. Dört Eklem Takımı	15
3	J _r : Eklem Pürüzlülük Sayısı	B. Pürüzlü veya düzensiz/dalgalı	3
4	J _a : Eklem Alterasyon Sayısı	D. (20-25°) Siltli, kumlu ve kil sıvımalı, yumuşamayan kil içerikli	3
5	J _w : Eklem Su Azaltma Faktörü	D. Yüksek akış veya basınç,	0.5
6	SRF: Gerilme azaltma Faktörü	C. Kil veya kimyasal olarak parçalanmış kaya parçaları içeren tekil zayıflık zonu (kazı derinliği >50 m)	2.5

7.5 Km:5+600-6+200 Arası Kaya Kütle Değerlendirmesi

Tünel güzergâhı Km:5+600-6+200 aralığında SK-10 ve SK-11 nolu temel araştırma sondaj kuyuları açılmıştır.

7.5.1 Kaya Yüğü Sınıflaması (Terzaghi)

SK-10 ve SK-11 nolu sondaj kuyularında tünel tavan ve taban kotunda geçilen aglomera birimleri için Parçalı ve çatlaklı olarak değerlendirme uygun görülmüştür. Bu durumda (Terzaghi) sınıflamasına göre 4 nolu sınıfta yer alan tünele gelecek olan maksimum örtü yüğü; $0.25 (B + Ht)$ formülünden $0,25 \times (4,60+4,60) \cong 2,3$ metre, $hp = hxy$ formülünden; $H_p = 230 \text{ cm.} \times 2,00 \cdot 10^{-3} \text{ kg/cm}^3 = 0,46 \text{ kg/cm}^2$ olarak hesaplanmıştır. 4 nolu sınıfta yer alan örtü yüğü için “Sık kaya bulonu (2m aralıklı) veya kalıcı-geçici destek” kullanılabilir.

7.5.2 Kaya Kütle Sınıflaması (RMR)

Tek eksenli basınç dayanım değeri; SK-10 ve SK-11 nolu sondaj kuyularında aglomera birimlerinden alınan karot numuneler üzerinde yapılan laboratuvar deneyleri ve ilgili derinliklerde birimlerin ayrışma derecesi göz önüne alınarak yaklaşık 7 MPa dayanım değerine göre; RMR_{puan} : 2 olarak seçilmiştir.

RQD Değeri; SK-10 ve SK-11 nolu sondaj kuyularında ilgili derinliklerde yapılan değerlendirmelere göre ortalama RQD: %60 olarak kullanılması uygun olacağı dşnlmş olup; RMR_{puan} : 12 olarak seçilmiştir.

Süreksizlik Aralığı; SK-10 ve SK-11 nolu sondaj kuyularında ilgili derinliklerde yapılan değerlendirmelere göre 3-10 çatlak sıklığı için RMR_{puan} : 11 olarak seçilmiştir.

Süreksizlik Durumu; SK-10 ve SK-11 nolu sondaj kuyularında ilgili derinliklerde yapılan değerlendirmeler dikkate alınarak süreksizlik durumu için aşağıda tabloda verilen değerler doğrultusunda; RMR_{puan} :15 olarak seçilmiştir.

Su Durumu; SK-10 ve SK-11 nolu sondaj kuyularında ilgili derinliklerde yapılan Basıncılı Su Testi (BST) deneylerine göre aglomera birimleri genel olarak geçirimli – az geçirimli özelliktedir. Kuyularda yeraltı suyu seviyesi tünel tavan kotunun üstündedir. Mevsimsel yağışlara bağlı olarak yeraltı suyu durumunda meydana gelebilecek olan değişimler ve statik su basıncı göz önüne alındığında tünele su gelimleri beklenmekte olup, güvenli tarafta kalınarak; RMR_{puan} : 4 (damlama) olarak seçilmiştir.

Süreksizlik Yönelimi; SK-10 ve SK-11 nolu sondaj kuyularında ilgili derinliklerde yapılan değerlendirmelere göre; birim çok ayrışmış, çok kırıklı, yer yer parçalanmıştır. Tünel stabilitesine etkisi olacağı düşünülen en kritik durum doğrultu tünel eksenine dik ve eğime karşı yönde ilerleme 20°-45° dikkate alınmış ve buna göre; RMR_{puan} : -10 (uygun değil) olarak seçilmiştir.

Yapılan değerlendirmelerde Tablo 7.9'daki kaya sınıflama sistemine göre, proje gzerghi üzerinde yayılım gösteren aglomera biriminin $RMR=38$ olan ve IV. Sınıfa dahil olan Zayıf Kaya diye adlandırılan gruba dahil olduğu söylenebilir.

RMR sınıflama sistemine göre yapılan hesaplamalar doğrultusunda, zayıf kaya kalitesinde yer alan tünel kesiminde uygulanacak olan destek sistemi için Tablo 6.2' ye göre Kaya Kütlesi Sınıfı IV'e göre Kalıcı Destek (Tahkimat) uygulanmalıdır.

Tablo 7.9 RMR Kaya Sınıfı Puan Durumu

SINIFLAMA PARAMETRESİ		DEĞERİ veya TANIMI	DERECELENDİRME (PUAN)
1	Kayaç dayanımı (Tek Eksenli dayanımına göre)	5-25 MPa	2
2	RQD	%50-75	12
3	Süreksizlik aralığı	<1 mm	15
4	Süreksizlik durumu	Devamlılık: <3-10m (2) Açıklık: 1-5 mm (1) Pürüzlülük: Pürüzlü (5) Dolgu: Sert Dolgu: <5 mm (4) Bozunma: Orta Derecede Bozunmuş (3)	15
5	Yeraltı suyu durumu	Damlama	4
6	Süreksizlik yönelimine göre düzeltme	Uygun Değil (Tünel için)	-10
RMR = 2+12+15+15+4+(-10)			38
RMR Kaya Sınıflaması			Zayıf Kaya

7.5.3 Kaya Kütle Değeri (Q)

Barton vd. (1974) tarafından önerilen değerlendirme ölçütleri kapsamında belirlenen Kaya Kütle Değeri (Q) destekleme sisteminde, kazı destek oranı ‘ESR’ ile tünel çapı yardımıyla eşdeğer boyut (De) hesaplanır. Hesaplanan (De) ve (Q) değerleri ile sunulan abak kullanılarak destek sistemleri belirlenir.

Eşdeğer Boyut (De)= Tünel kazı çapı (m) \ Kazı destek oranı (ESR)

Projedeki 4,60 m tünel çapı için Eşdeğer Boyut (De) = 2,875 olarak bulunmuştur.

Q destekleme sistemine göre önerilen destekleme sistemi (4): Sistematik kaya saplamalı, 4-5 cm kalınlığında takviyesiz püskürtme betonu kullanılabilir.

“Desteksiz durma süresi- tavan açıklığı boyutu (desteksiz açıklık)"na ve RMR puanına bağlı olarak o açıklığın desteksiz durma süresi veya ani çökmeye uğrayıp uğramayacağı yada tamamen desteksiz durabileceği kestirilebilmektedir. Şekil 6.3’e göre yaklaşık 20 saat durma süresi belirlenmiştir.

Tablo 7.10 Kaya Kütle Değeri (Q) Özet Tablo

No	Parametre	Değer/Tanım	Puan
1	RQD: Kaya Kalite Göstergesi	C. Orta	60
2	J _n : Eklem Takımı Sayısı	G. Üç Set + Düzensiz Süreksizlikler	12
3	J _r : Eklem Pürüzlülük Sayısı	B. Pürüzlü veya düzensiz/dalgalı	3
4	J _a : Eklem Alterasyon Sayısı	C. (25-30°) Az bozmuş eklem duvarları, kilsiz, kumlu, kaya parçalı ve mineral lekeli	2
5	J _w : Eklem Su Azaltma Faktörü	D. Yüksek akış veya basınç, önemli boyutta eklem yıkanmaları	0.33
6	SRF: Gerilme azaltma Faktörü	F. Kil içermeyen dayanımlı kayada tekil zayıflık zonu (kazı derinliği >50 m)	2.5

7.6 Km:6+200-6+600 Arası Kaya Kütle Değerlendirmesi

Tünel güzergâhı Km:6+200-6+600 aralığında SK-12 nolu temel araştırma sondaj kuyusu açılmıştır.

7.6.1 Kaya Yüğü Sınıflaması (Terzaghi)

SK-12 nolu sondaj kuyularında tünel tavan ve taban kotunda geçilen bazalt birimleri için Tabakasız, orta derecede eklemli olarak değerlendirme uygun görülmüştür. Bu durumda (Terzaghi) sınıflamasına göre 3 nolu sınıfta yer alan tünele gelecek olan maksimum örtü yükü; $0.25 (B + H_t)$ formülünden $0,25 \times (4,60+4,60) \cong 2,3$ metre, $h_p = h \gamma$ formülünden; $H_p = 230 \text{ cm.} \times 2,60 \cdot 10^{-3} \text{ kg/cm}^3 = 0,60 \text{ kg/cm}^2$ olarak hesaplanmıştır. 3 nolu sınıfta yer alan örtü yükü için “Kaya bulunu veya geçici destek” kullanılabilir.

7.6.2 Kaya Kütle Sınıflaması (RMR)

Tek eksenli basınç dayanım değeri; SK-12 nolu sondaj kuyusunda bazalt birimlerinden alınan karot numuneler üzerinde yapılan laboratuvar deneyleri ve ilgili derinliklerde birimlerin ayrışma derecesi göz önüne alınarak yaklaşık 75 MPa dayanım değerine göre; $RMR_{\text{puan}}: 8$ olarak seçilmiştir.

RQD Değeri; SK-12 nolu sondaj kuyusunda ilgili derinliklerde yapılan değerlendirmelere göre ortalama RQD: %70 olarak kullanılmasının uygun olacağı düşünülmüş olup; $RMR_{\text{puan}}: 14$ olarak seçilmiştir.

Süreksizlik Aralığı; SK-12 nolu sondaj kuyusunda ilgili derinliklerde yapılan değerlendirmelere göre 10-50 çatlak sıklığı için RMR_{puan} : 7 olarak seçilmiştir.

Süreksizlik Durumu; SK-12 nolu sondaj kuyularında ilgili derinliklerde yapılan değerlendirmeler dikkate alınarak süreksizlik durumu için aşağıda tabloda verilen değerler doğrultusunda; RMR_{puan} :21 olarak seçilmiştir.

Su Durumu; SK-12 nolu sondaj kuyularında ilgili derinliklerde yapılan Basıncılı Su Testi (BST) deneylerine göre bazalt birimleri genel olarak geçirimsiz özelliktedir. Kuyularda yeraltı suyu seviyesi tünel tavan kotunun üstündedir. Mevsimsel yağışlara bağlı olarak yeraltı suyu durumunda meydana gelebilecek olan değişimler ve statik su basıncı göz önüne alındığında tünele su gelimleri beklenmekte olup, güvenli tarafta kalınarak; RMR_{puan} : 7 (ıslak) olarak seçilmiştir.

Süreksizlik Yönelimi; SK-12 nolu sondaj kuyularında ilgili derinliklerde yapılan değerlendirmelere göre; birim çok ayrılmış, çok kırıklı, yer yer parçalanmıştır. Tünel stabilitesine etkisi olacağı düşünülen en kritik durum doğrultu tünel eksenine dik ve eğime karşı yönde ilerleme 20° - 45° dikkate alınmış ve buna göre; RMR_{puan} : -10 (uygun değil) olarak seçilmiştir.

Yapılan değerlendirmelerde Tablo 7.11'deki kaya sınıflama sistemine göre, proje güzergâhı üzerinde yayılım gösteren bazalt biriminin $RMR=47$ olan ve III. Sınıfa dahil olan Orta Kaya diye adlandırılan gruba dahil olduğu söylenebilir.

Tablo 7.11 RMR Kaya Sınıfı Puan Durumu

SINIFLAMA PARAMETRESİ		DEĞERİ veya TANIMI	DERECELENDİRME (PUAN)
1	Kayaç dayanımı (Tek Eksenli dayanımına göre)	50-100 MPa	8
2	RQD	%50-75	14
3	Süreksizlik aralığı	6-20 mm	7
4	Süreksizlik durumu	Devamlılık: <3-10m (2) Açıklık: <1 mm (5) Pürüzlülük: Pürüzlü (5) Dolgu: Sert Dolgu: <5 mm (4) Bozunma: Az Bozunmuş (5)	21
5	Yeraltı suyu durumu	Islak	7
6	Süreksizlik yönelimine göre düzeltme	Uygun Değil (Tünel için)	-10
$RMR = 8+14+7+21+7+(-10)$			47
RMR Kaya Sınıflaması			Orta Kaya

RMR sınıflama sistemine göre yapılan hesaplamalar doğrultusunda, Orta kaya kalitesinde yer alan tünel kesiminde uygulanacak olan destek sistemi için Tablo 6.2'ye göre Kaya Kütle Sınıfı III'e göre Kalıcı Destek (Tahkimat) uygulanmalıdır.

7.6.3 Kaya Kütle Değeri (Q)

Barton vd. (1974) tarafından önerilen değerlendirme ölçütleri kapsamında belirlenen Kaya Kütle Değeri (Q) destekleme sisteminde, kazı destek oranı 'ESR' ile tünel çapı yardımıyla eşdeğer boyut (De) hesaplanır. Hesaplanan (De) ve (Q) değerleri ile sunulan abak kullanılarak destek sistemleri belirlenir.

Eşdeğer Boyut (De) = Tünel kazı çapı (m) \ Kazı destek oranı (ESR)

Projedeki 4,60 m tünel çapı için Eşdeğer Boyut (De) = 2,875 olarak bulunmuştur.

Tablo 7.12 Kaya Kütle Değeri (Q) Özet Tablo

No	Parametre	Değer/Tanım	Puan
1	RQD: Kaya Kalite Göstergesi	C. Orta	70
2	J _n : Eklem Takımı Sayısı	G. Üç set + Düzensiz süreksizlikler	12
3	J _r : Eklem Pürüzlülük Sayısı	E. Pürüzlü veya düzensiz/düzlemsel	1.5
4	J _a : Eklem Alterasyon Sayısı	B. (25-35°) Bozuşma yok, sadece yüzey lekeleri	1
5	J _w : Eklem Su Azaltma Faktörü	D. Yüksek akış veya basınç	0.5
6	SRF: Gerilme azaltma Faktörü	F. Kil içermeyen dayanımlı kayada tekil zayıflık zonu (kazı derinliği >50 m)	2.5

Q destekleme sistemine göre önerilen destekleme sistemi (4): Sistematik kaya saplamalı, 4-5 cm kalınlığında takviyesiz püskürtme betonu kullanılabilir.

“Desteksiz durma süresi - tavan açıklığı boyutu (desteksiz açıklık)"na ve RMR puanına bağlı olarak o açıklığın desteksiz durma süresi veya ani çökmeye uğrayıp uğramayacağı yada tamamen desteksiz durabileceği kestirilebilmektedir. Şekil 6.3'e göre yaklaşık 100 saat \approx 4 gün durma süresi belirlenmiştir.

7.7 Km:6+600-8+150 Arası Kaya Kütle Değerlendirmesi

Tünel güzergâhı Km:6+600-8+150 aralığında SK-13, SK-14 ve SK-15 nolu temel araştırma sondaj kuyuları açılmıştır.

7.7.1 Kaya Yüğü Sınıflaması (Terzaghi)

SK-13, SK-14 ve SK-15 nolu sondaj kuyularında tünel tavan ve taban kotunda geçilen bazalt birimleri için Tamamen parçalanmış (fakat kimyasal yönden ayrışmamış) olarak değerlendirme uygun görülmüştür. Bu durumda (Terzaghi) sınıflamasına göre 6 nolu sınıfta yer alan tünele gelecek olan maksimum örtü yükü; $1.10 (B+ Ht)$ formülünden $1,10 \times (4,60+4,60) \cong 10,12$ metre, $h_p = hx\gamma$ formülünden; $H_p = 1012 \text{ cm.} \times 2,4 \cdot 10^{-3} \text{ kg/cm}^3 = 2,43 \text{ kg/cm}^2$ olarak hesaplanmıştır. 6 nolu sınıfta yer alan örtü yükü için “Dairesel kalıcı destek ve püskürtme betonu, prefabrik kaplama” kullanılabilir.

7.7.2 Kaya Kütle Sınıflaması (RMR)

Tek eksenli basınç dayanım değeri; SK-13, SK-14 ve SK-15 nolu sondaj kuyularında bazalt birimlerinden alınan karot numuneler üzerinde yapılan laboratuvar deneyleri ve ilgili derinliklerde birimlerin ayrışma derecesi göz önüne alınarak yaklaşık 60 MPa dayanım değerine göre; $RMR_{puan}: 6$ olarak seçilmiştir.

RQD Değeri; SK-13, SK-14 ve SK-15 nolu sondaj kuyularında ilgili derinliklerde yapılan değerlendirmelere göre ortalama RQD: %0 olarak kullanılmasının uygun olacağı düşünölmüş olup; $RMR_{puan}: 3$ olarak seçilmiştir.

Süreksizlik Aralığı; SK-13, SK-14 ve SK-15 nolu sondaj kuyularında ilgili derinliklerde yapılan değerlendirmelere göre >50 çatlak sıklığı için $RMR_{puan}: 5$ olarak seçilmiştir.

Süreksizlik Durumu; SK-13, SK-14 ve SK-15 nolu sondaj kuyularında ilgili derinliklerde yapılan değerlendirmeler dikkate alınarak süreksizlik durumu için aşağıda tabloda verilen değerler doğrultusunda; $RMR_{puan}: 11$ olarak seçilmiştir.

Su Durumu; SK-13, SK-14 ve SK-15 nolu sondaj kuyularında ilgili derinliklerde yapılan Basıncılı Su Testi (BST) deneylerine göre bazalt birimleri genel olarak az geçirimli özellikte olup, yer yer geçirimli ve geçirimsiz seviyeleri bulunmaktadır. Kuyularda yeraltı suyu seviyesi tünel tavan kotunun üstündedir. Mevsimsel yağışlara

bağlı olarak yeraltı suyu durumunda meydana gelebilecek olan değişimler ve statik su basıncı göz önüne alındığında tünele su gelimleri beklenmekte olup, güvenli tarafta kalınarak; RMR_{puan} : 7 (ıslak) olarak seçilmiştir.

Süreksizlik Yönelimi; SK-13, SK-14 ve SK-15 nolu sondaj kuyularında ilgili derinliklerde yapılan değerlendirmelere göre; birim az ayrılmış, kırıklı, çatlaklıdır. Tünel stabilitesine etkisi olacağı düşünülen en kritik durum doğrultu tünel eksenine dik ve eğime karşı yönde ilerleme 20° - 45° dikkate alınmış ve buna göre; RMR_{puan} : -10 (uygun değil) olarak seçilmiştir.

Tablo 7.13 RMR Kaya Sınıfı puan durumu

SINIFLAMA PARAMETRESİ		DEĞERİ veya TANIMI	DERECELENDİRME (PUAN)
1	Kayaç dayanımı (Tek Eksenli dayanımına göre)	50-100 MPa	6
2	RQD	<1	3
3	Süreksizlik aralığı	<6 mm	5
4	Süreksizlik durumu	Devamlılık: <1-3m (4) Açıklık: 1-5 mm (1) Pürüzlülük: Az Pürüzlü (3) Dolgu: Sert Dolgu: <5 mm (2) Bozunma: Bozunmuş (1)	11
5	Yeraltı suyu durumu	Islak	7
6	Süreksizlik yönelimine göre düzeltme	Uygun Değil (Tünel için)	-10
RMR = 6+3+5+11+7+(-10)			21
RMR Kaya Sınıflaması			Zayıf Kaya

Yapılan değerlendirmelerde Tablo 7.13'deki kaya sınıflama sistemine göre, proje güzergâhı üzerinde yayılım gösteren bazalt biriminin $RMR=21$ olan ve IV. Sınıfa dahil olan Zayıf Kaya diye adlandırılan gruba dahil olduğu söylenebilir.

RMR sınıflama sistemine göre yapılan hesaplamalar doğrultusunda, zayıf kaya kalitesinde yer alan tünel kesiminde uygulanacak olan destek sistemi için Tablo 6.2' ye göre Kaya Kütle Sınıfı IV'e göre Kalıcı Destek (Tahkimat) uygulanmalıdır.

7.7.3 Kaya Kütle Değeri (Q)

Barton vd. (1974) tarafından önerilen değerlendirme ölçütleri kapsamında belirlenen Kaya Kütle Değeri (Q) destekleme sisteminde, kazı destek oranı 'ESR' ile tünel çapı yardımıyla eşdeğer boyut (De) hesaplanır. Hesaplanan (De) ve (Q) değerleri ile sunulan abak kullanılarak destek sistemleri belirlenir.

Eşdeğer Boyut (De)= Tünel kazı çapı (m) \ Kazı destek oranı (ESR)

Projedeki 4,60 m tünel çapı için Eşdeğer Boyut (De) = 2,875 olarak bulunmuştur.

Tablo 7.14 Kaya Kütle Değeri (Q) Özet Tablo

No	Parametre	Değer/Tanım	Puan
1	RQD: Kaya Kalite Göstergesi	A. Çok Zayıf	10
2	J _n : Eklem Takımı Sayısı	H. Dört Eklem Takımı	15
3	J _r : Eklem Pürüzlülük Sayısı	E. Pürüzlü veya düzensiz/düzlemsel	1.5
4	J _a : Eklem Alterasyon Sayısı	D. (20-25°) Siltli, kumlu ve kil sıvımalı, yumuşamayan kil içerikli	3
5	J _w : Eklem Su Azaltma Faktörü	C. Yüksek akış veya basınç,	0.5
6	SRF: Gerilme azaltma Faktörü	D. Kil içermeyen dayanımlı kayada birden fazla zayıflık zonu, çok zayıf kaya ortamı (herhangi bir derinlikte)	7.5

Q destekleme sistemine göre önerilen destekleme sistemi (7): Kaya saplamalı, kafes takviyeli 12-15 cm kalınlığında püskürtme betonu kullanılabilir.

“Desteksiz durma süresi- tavan açıklığı boyutu (desteksiz açıklık)"na ve RMR puanına bağlı olarak o açıklığın desteksiz durma süresi veya ani çökmeye uğrayıp uğramayacağı yada tamamen desteksiz durabileceği kestirilebilmektedir. Şekil 6.3'e göre yaklaşık 1 saat durma süresi belirlenmiştir.

7.8 Km:8+150-9+000 Arası Kaya Kütle Değerlendirmesi

Tünel güzergâhı Km:8+150-9+000 aralığında revize planlama aşamasında SK-16 nolu temel araştırma sondaj kuyusu açılmış olup, kuyuda parçalı bazalt birimleri kesilmiştir.

7.8.1 Kaya Yüğü Sınıflaması (Terzaghi)

Söz konusu kesimde gözlenen çakıllı-bloklı kil birimleri için killer ve kil mineralleri içeren kayalar olarak değerlendirme uygun görülmüştür. Bu durumda (Terzaghi) sınıflamasına göre 7 nolu sınıfta yer alan tünele gelecek olan maksimum örtü yükü;

1.10 (B+ Ht) formülünden $1,10 \times (4,60+4,60) \cong 10,12$ metre, $h_p = h_{xy}$ formülünden; $H_p = 1012 \text{ cm.} \times 2,6 \cdot 10^{-3} \text{ kg/cm}^3 = 2,63 \text{ kg/cm}^2$ olarak hesaplanmıştır. 7 nolu sınıfta yer alan örtü yükü için “Dairesel kalıcı destek ve püskürtme betonu, prefabrik kaplama” kullanılabilir.

7.8.2 Kaya Kütlesi Sınıflaması (RMR)

Tek eksenli basınç dayanım değeri; Tünel çıkış ağzında açılan galeri ve temel araştırma sondajlarında kesilen çakıllı kil birimleri için güvenli tarafta kalınarak $RMR_{\text{puan}}: 1$ olarak seçilmiştir. RQD Değeri; RQD: %0 olarak kullanılmasının uygun olacağı düşünülmüş olup; $RMR_{\text{puan}}: 3$ olarak seçilmiştir.

Süreksizlik Aralığı; >50 çatlak sıklığı için $RMR_{\text{puan}}: 5$ olarak seçilmiştir.

Süreksizlik Durumu; Süreksizlik durumu için aşağıda tabloda verilen değerler doğrultusunda; $RMR_{\text{puan}}: 9$ olarak seçilmiştir.

Su Durumu; Tünel çıkışı ağzında açılan galeride suya rastlanılmamıştır. Ancak SK-16 nolu temel araştırma sondajında ilgili derinliklerde yapılan Basınçlı Su Testi (BST) deneylerine göre birimler genel olarak geçirimli özellikte olup, üst kesimleri ayrışmaya bağlı olarak çok geçirimli özelliktedir. Kuyuda yeraltı suyu seviyesi tünel tavan kotunun üstündedir. Mevsimsel yağışlara bağlı olarak yeraltı suyu durumunda meydana gelebilecek olan değişimler göz önüne alındığında tünele su gelimleri beklenmekte olup, güvenli tarafta kalınarak; $RMR_{\text{puan}}: 7$ (ıslak) olarak seçilmiştir.

Süreksizlik Yönelimi; Birim çok ayrışmış, çok kırıklı, parçalanmıştır. Tünel stabilitesine etkisi olacağı düşünülen en kritik durum dikkate alınmış ve buna göre; $RMR_{\text{puan}}: -12$ (uygun değil) olarak seçilmiştir.

Yapılan değerlendirmelerde Tablo 7.15'deki kaya sınıflama sistemine göre, proje güzergâhı üzerinde yayılım gösteren çakıllı-bloklu kil birimleri için killer ve kil mineralleri içeren kayaçlar biriminin $RMR=14$ olan ve V. Sınıfa dahil olan Çok Zayıf Kaya diye adlandırılan gruba dahil olduğu söylenebilir.

RMR sınıflama sistemine göre yapılan hesaplamalar doğrultusunda, çok zayıf kaya kalitesinde yer alan tünel kesiminde uygulanacak olan destek sistemi için Tablo 6.2' ye göre Kaya Kütlesi Sınıfı V'e göre Kalıcı Destek (Tahkimat) uygulanmalıdır.

Tablo 7.15 RMR Kaya Sınıfı Puan Durumu

SINIFLAMA PARAMETRESİ		DEĞERİ veya TANIMI	DERECELENDİRME (PUAN)
1	Kayaç dayanımı (Tek Eksenli dayanımına göre)	1-5 MPa	2
2	RQD	<%25	3
3	Süreksizlik aralığı	<6 mm	5
4	Süreksizlik durumu	Devamlılık: <1-3m (4) Açıklık: 1-5 mm (1) Pürüzlülük: Düz (1) Dolgu: Yumuşak Dolgu: <5 mm (2) Bozunma: Bozunmuş (1)	9
5	Yeraltı suyu durumu	Islak	7
6	Süreksizlik yönelimine göre düzeltme	Çok Olumsuz (Tünel için)	-12
RMR = 2+3+5+9+7+(-12)			14
RMR Kaya Sınıflaması			Çok Zayıf Kaya

7.8.3 Kaya Kütle Değeri (Q)

Barton vd. (1974) tarafından önerilen değerlendirme ölçütleri kapsamında belirlenen Kaya Kütle Değeri (Q) destekleme sisteminde, kazı destek oranı ‘ESR’ ile tünel çapı yardımıyla eşdeğer boyut (De) hesaplanır. Hesaplanan (De) ve (Q) değerleri ile sunulan abak kullanılarak destek sistemleri belirlenir.

Eşdeğer Boyut (De)= Tünel kazı çapı (m) \ Kazı destek oranı (ESR)

Projedeki 4,60 m tünel çapı için Eşdeğer Boyut (De) = 2,875 olarak bulunmuştur.

Elde edilen Q değeri ise 0.165’ dir.

Q destekleme sistemine göre önerilen destekleme sistemi (7): Kaya saplamalı, kafes takviyeli, 12-15 cm kalınlığında püskürtme betonu kullanılabilir.

“Desteksiz durma süresi - tavan açıklığı boyutu (desteksiz açıklık)”na ve RMR puanına bağlı olarak o açıklığın desteksiz durma süresi veya ani çökmeye uğrayıp uğramayacağı yada tamamen desteksiz durabileceği kestirilebilmektedir. Şekil 6.3’e göre yaklaşık yaklaşık 1 saat durma süresi belirlenmiştir.

Tablo 7.16 Kaya Kütle Değeri (Q) Özet Tablo

No	Parametre	Değer/Tanım	Puan
1	RQD: Kaya Kalite Göstergesi	A. Çok Zayıf	10
2	J _n : Eklem Takımı Sayısı	H. Dört Eklem Takımı Portaller için (2.0*J _n)	15*2=30 (Portal)
3	J _r : Eklem Pürüzlülük Sayısı	E. Pürüzlü veya düzensiz/düzlemsel	1.5
4	J _a : Eklem Alterasyon Sayısı	D. (20-25°) Siltli, kumlu ve kil sıvmalı, yumuşamayan kil içerikli	3
5	J _w : Eklem Su Azaltma Faktörü	C. Yüksek akış veya basınç	0.5
6	SRF: Gerilme azaltma Faktörü	B. Kil içermeyen dayanımlı kayada tekil zayıflık zonu (kazı derinliği <50 m)	5

8. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Bu tez çalışması kapsamında; Elmalı Tüneli (Erzurum) güzergâhında yer alan kaya kütlelerinin sınıflandırılması ile duraylılıkları üzerine araştırma yapılmış ve karşılaştırılması öngörülen sorunlar ve bunlara ilişkin çözüm önerileri tespit edilmiştir.

Çalışmada; Erzurum'da yer alacak Elmalı Tüneli güzergâhı boyunca açılmış olan temel sondaj verileri, laboratuvar deney sonuçları ve arazi gözlemleri birlikte değerlendirilerek tünel güzergâhı boyunca seçilen kesimlerde yer alan kaya kütlelerinin duraylılığı ve kazı destek sistemini belirlemek üzere güzergâh değişimleri dikkate alınarak birden fazla bölgelere ayrılmış ve her bir bölgeye ilişkin kaya kütle sınıfları RMR ve Q yöntemleri ile belirlenerek, kazı destek sistemi gereklilikleri bakımından değerlendirilmesi yapılmıştır. Daha sonra elde edilen değerlendirme sonuçları kullanılarak, güzergâh boyunca çizilen profil kesit üzerinde zonlanarak görsel açıdan daha kolay bir değerlendirmeye olanak sağlayacak değişimler ve potansiyel sorunlar değerlendirilmiştir.

Elmalı Tüneli güzergâhı boyunca Terzaghi, RMR ve Q sınıflamasına göre kaya kütleleri değerlendirilmiştir. Yapılan değerlendirmeler sonucunda, tünel güzergâhı boyunca yapılan kaya kütle sınıflandırmaları aşağıdaki verilen Tablo 8.1' de özetlenmiştir.

Tablo 8.1 Tünel güzergâhı boyunca yapılan kaya kütle sınıflandırmaları

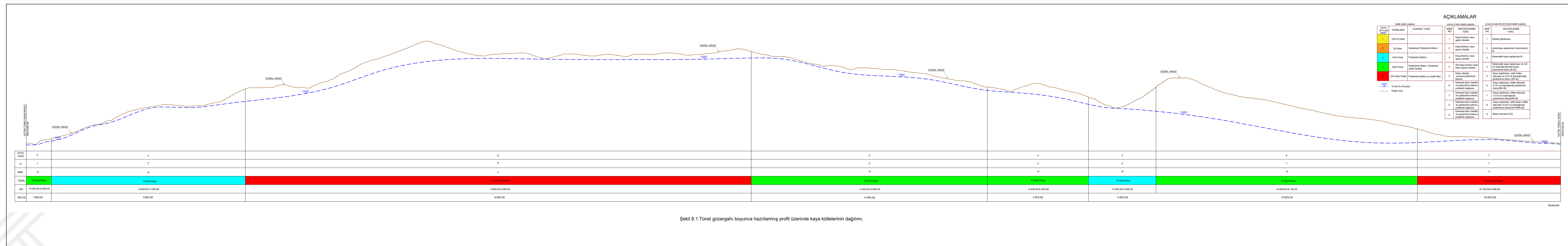
Kilometre Aralığı	Kaya Yüğü Sınıflaması (Terzaghi)	Kaya Kütle Sınıflaması (RMR)	Kaya Kütle Değeri (Q)
0+000,00-0+050,00	6	IV	7
0+050,00-1+200,00	4	III	4
1+200,00-4+200,00	6	V	6
4+200,00-5+600,00	5	IV	5
5+600,00-6+200,00	4	IV	4
6+200,00-6+600,00	3	III	4
6+600,00-8+150,00	6	IV	7
8+150,00-9+000,00	7	V	7

Tünel güzergahı boyunca değerlendirme yapıldığında; kaya kütlelerinin “Çok Zayıf” tan “Orta” ya kadar aralıkta değişim gösterdikleri, ancak “Çok Zayıf” ve “Zayıf” kaya kütlesi karakteristiğinin yaygın olarak dağıldığı ortaya konulmuştur (Şekil 8.1). Sadece, tünelin ilk 50 metresi ile 1 200 metresi arası ile 6 200 – 6 600 metreler arasında “Orta” kaya kütlesi güzergah boyunca görece en sağlam bölgeleri oluşturmaktadır. Şekil 8.1’ de tünel güzergahı boyunca kaya kütlelerinin RMR, Q ve Kaya Yüğü sınıflamalarına göre durumları ile tahkimat gerekliliği ve kullanılabilir destekleme türleri her bölge için değerlendirilerek önerilmiştir.

Tünel güzergahı boyunca kaya kütlelerinin dağılımı göz önüne alındığında tünelin neredeyse tamamında kalıcı destek (tahkimat) gereksinimin olacağı açıktır. Özellikle “Çok Zayıf” ve “Zayıf” kaya kütlesi karakteristiğinin belirlendiği lokasyonlarda desteksiz durma süresi 1 saat veya altında belirlenmiş olup ani çökmeye uğraması bakımından risklerin olduğu ortadadır (Şekil 8.1). Güzergah boyunca tünel içerisinde kaplama betonu ile zemin arasındaki boşlukları doldurmak amacıyla kontak enjeksiyonu yapılması önem taşımaktadır. Uygulanacak kontak enjeksiyonunda delik boyları, kaplama, ön kaplama ve kazı boşluğunu geçerek ana kaya içerisine de girecek uzunlukta olmalıdır.

Tez çalışma alanı ile çevresindeki birimlerin tanınması ve jeolojik modelin çıkarılması amacı ile 1:5000 ölçekli hazırlanan jeoloji haritası ve boy kesiti hazırlanmıştır. Tünel giriş ağız galerisi 1945 kotunda 40 metre uzunlukta tünel eksenine yönünde açılmıştır. Galeride üst Kretase yaşlı kireçtaşı, koyu gri kurşuni renkli, ince dokulu, orta kalın tabakalı 1-25 cm. kalınlıkta yeşil renkli gevşek yapılı kiltası bantları aralanmalı zemin geçilmiştir. Galerideki tabaka doğrultuları D-B yönünde eğimleri kuzey ve eğim açıları dike yakındır. Tabaka yüzeyine dik çatlak sistemleri gelişmiştir. Zeminin rutubetli ve ıslak olduğu kesimlerde tavanda blok düşmeleri gözlenmiş, ayrılmış kiltalarında şişme olmadığı belirtilmiştir.

Tünel çıkış ağız galerisi 1950 kotunda 70 metre uzunlukta açılmıştır. Pliyosen yaşlı çakıllı kil litolojik biriminde kazı yapılmıştır. Açılımda patlayıcı madde kullanılmamıştır. Galeride suya rastlanılmamıştır. Zeminde çakıl, ender olarak da blok boyutunda çoğunlukla köşeli bazalt-andezit elemanları içeren konsolide olmuş killi zemin geçilmiştir. Açım sırasında desteklemeye gerek duyulmamıştır.



Şekil 8.1 Tünel güzergahı boyunca hazırlanmış profil üzerinde kaya kütlelerinin dağılımı.

Üç yıl gibi bir zaman geçmesine rağmen yan duvarlarda ve tavanda kavlama, döküntü, şişme görülmediği, tünel çapının galeri çapından büyük olacağından açımın sonra püskürtme beton ile kaplanması önerilmiştir.

Elmalı Tüneli boyunca yeraltısuyu seviyesi tünel tavan-taban kotunun üzerindedir. Tünelde yapılacak kazılarda tünellere su gelme potansiyeli mevcut olduğu için projelendirmelerde ve kazı çalışmalarında dikkate alınmalı ve uygun drenaj yöntemleri belirlenerek uygulanmalıdır.

Tünel açım sırasında ön delgiler ile tünel ilerlemesi sırasında suyun bir miktarının drene edilebilmesi, gelen suyun drenaj kanalları açılarak seygar dalgıç pompalar vasıtasıyla buraya pompalanması ve buradan eğim aşağı tünel dışına çıkarılması, tünel tabanının eğimli olması ve tünel tipi drenflex kullanımı uygun bir yöntem olarak seçilebilir.

Tünelin projelendirilebilmesi için; gerekli olan güzergâh seçimi, geometrik, jeolojik, hidrojeolojik, mühendislik faktörlerinin ve projenin yapılabilirliğinin birlikte değerlendirilmesi ile yeraltı yapısını oluşturan kaya-zemin birimlerin jeoteknik özellikleri belirlenmiş, tünel güzergâhının jeolojik/jeoteknik modeli oluşturulmuştur. Bu modele bağlı olarak, tünel güzergâhında geçilebileceği öngörülen kaya sınıfları ve sonrasında tünel projelendirilmesine esas parametreler ile kazı destek sınıfları ortaya çıkarılmıştır. Kazı ve destek sınıflarına en uygun kazı yöntemi seçilerek tünel için uygun yapım stratejisi belirlenmelidir.

Yapılan yorumlamaların, uygulama aşamasında hesaplamalar ve ölçümlerle denştirilmesi önerilir.

KAYNAKLAR

- Akdeniz, N., Akçören, F., Timur, E.** (1994): Aşkale-İspir arasının Jeolojisi, MTA Rap. No:9731
- Akkuş, M. F.** (1965). Pasinler havzasının 1: 25 000 ölçekli detay petrol etüdü raporu: MTA Rap., 4087 (yayımlanmamış).
- Aksay, A.,** (1987) Yeşilçöy Dağı (Erzurum) Dolayının Genel Jeolojisi, *MTA Jeo. D. Rap. Araş.* No:288
- Arpat, E.** (1965). Ilıca-Aşkale (Erzurum) Arasındaki Sahanın ve Kuzeyinin Genel Jeolojisi-Petrol İmkanları. *MTA, Rap.* No:4040.
- Barka, A. A., & Hancock, P. L.** (1984). Neotectonic deformation patterns in the convex-northwards arc of the North Anatolian fault zone. *Geological Society, London, Special Publications, 17(1)*, 763-774.
- Barton, N., Lien, R., & Lunde, J.** (1974). Engineering classification of rock masses for the design of tunnel support. *Rock mechanics*, 6(4), 189-236.
- Bieniawski, Z. T.** (1976): Rock mass classification in rock engineering. In *Proceeding of the Symposium on Exploration for Rock Engineering* (ed. ZT Bieniawski) (pp. 97-106).
- Barton, N., Buen, B., & Roald, S.** (2002). Strengthening the case for grouting. *Tunnels & Tunnelling International*, 34(1).
- Basarir, H., Ozsan, A., & Karakus, M.** (2005). Analysis of support requirements for a shallow diversion tunnel at Guledar dam site, Turkey. *Engineering geology*, 81(2), 131-145.
- Bieniawski, Z. T.** (1973). Engineering classification of jointed rock masses. *Civil Engineering= Siviele Ingenieurswese*, 1973(12), 335-343.
- Bieniawski, Z. T.** (1989). Engineering rock mass classifications: *a complete manual for engineers and geologists in mining, civil, and petroleum engineering*. John Wiley & Sons.
- Dewey, J. F., Hempton, M. R., Kidd, W. S. F., Saroglu, F. A. M. C., & Şengör, A. M. C.** (1986). Shortening of continental lithosphere: the neotectonics of

Eastern Anatolia—a young collision zone. *Geological Society, London, Special Publications*, 19(1), 1-36.

Ghalib, A. A. ve Alsanawi, S. A., (1974), Seismotectonics of the Arabian Peninsula a global tectonic approach: *Bült. Geol. Sci.*, 15.

Grimstad E., Barton N. (1993) Updating the Q-system for NMT. In: Proceedings of the international symposium on sprayed concrete, Fagernes. Norw Concr Assoc, Oslo, p 20

Gurocak, Z. (2011). Analyses of stability and support design for a diversion tunnel at the Kapikaya dam site, Turkey. *Bulletin of engineering geology and the environment*, 70(1), 41-52.

Hoek, E., & Brown, E. T. (1980). Empirical strength criterion for rock masses. *Journal of the geotechnical engineering division*, 106(9), 1013-1035.

Hoek, E., & Marinos, P. (2000). Predicting tunnel squeezing problems in weak heterogeneous rock masses. *Tunnels and tunnelling international*, 32(11), 45-51.

İnternet: Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Deprem Dairesi Başkanlığı, ‘‘Türkiye Deprem Tehlike Haritaları’’<https://deprem.afad.gov.tr/deprem-tehlike-haritasi>

Kaya, A., Bulut, F., & Sayin, A. (2011). Analysis of support requirements for a tunnel portal in weak rock: A case study from Turkey. *Scientific Research and Essays*, 6(31), 6566-6583.

Ketin, İ., (1951) Bayburt Bölgesinin Jeolojisi, İ.Ü.Fen Fak. Mecm., B., 16/2113-127

Koçyiğit, A., Öztürk, A., İnan, S., & Gürsoy, H. (1985). Karasu Havzası'nın (Erzurum) Tektonomorfolojisi ve Mekanik Yorumu. *C. Ü MFYB, Dergisi*, 2(1), 143-147.

Koçyiğit, A., 1985, Karayazı fayı : Türkiye Jeol. Kur.Bült., 28,67 -72, Ankara.

McKenzie, D. (1972). Active tectonics of the Mediterranean region. *Geophysical Journal International*, 30(2), 109-185.

- Nicholson, G. A., & Bieniawski, Z. T.** (1990). A nonlinear deformation modulus based on rock mass classification. *International journal of Mining and geological engineering*, 8(3), 181-202. Palmström, 1995; 2000
- Nowroozi, A. A.** (1971). Seismo-tectonics of the Persian plateau, eastern Turkey, Caucasus, and Hindu-Kush regions. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 61(2), 317-341.
- Nowroozi, A. A.** (1972). Focal mechanism of earthquakes in Persia, Turkey, West Pakistan, and Afghanistan and plate tectonics of the Middle East. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 62(3), 823-850.
- Osman Şahin İ, Ekşi F. ve Alptekin Ö** (1986), Doğu Anadolu ve Kafkasya bölgesinin deprenselliği ve aktif tektoniği: Deprem Araş. Bült., 52,5-41. Ankara.
- Patnaik, S., Aggarwal, A., Nimesh, S., Goel, A., Ganguli, M., Saini, N., ... & Gupta, K. C.** (2006). PEI-alginate nanocomposites as efficient in vitro gene transfection agents. *Journal of controlled release*, 114(3), 398-409.
- Ramamurthy, T.** (2004). A geo-engineering classification for rocks and rock masses. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 41(1), 89-101.
- Rathur, A.G.,** (1965), Pasinler-Horosan (Erzurum) Sahasının ait Genel Jeolojik Rapor, MTA, Rap. No:4168.
- Singh, B., & Goel, R. K.** (1999). *Rock mass classification: a practical approach in civil engineering* (Vol. 46). Elsevier.
- Sonmez, H., & Ulusay, R.** (2002). A discussion on the Hoek-Brown failure criterion and suggested modifications to the criterion verified by slope stability case studies. *Yerbilimleri*, 26(1), 77-99.
- Şaroğlu, F., & Yılmaz, Y.** (1986). Geological evolution and basin models during neotectonic episode in the eastern Anatolia. *Bulletin of the Mineral Research and Exploration*, 107(107), 70-93.
- Tarhan, N.** (1986) Doğu toroslarda neo-tetis'in kapanımına ilişkin granitoyid magmalarının evrimi ve kökeni. M.T.A. Dergisi, 107, 95-110.

Tarhan, N. (1989). Hınıs-Varto (Erzurum-Muş) Dolayının Jeolojisi ve Petrolojisi. *İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora tezi, 181.*

Tarhan, N., Deveciler, E., Karabalık, N. N., Akdoğan, E., Çolak, T., & Kar, H. (1992). Aşkale-Çat (Erzurum) dolayının jeolojisi. *MTA Report number, 9447.*

Tokel, S. (1965). Erzurum I 16-b2 ve Tonum H 46-c3 paftalarına ait jeolojik rapor: MTA Rap., 4118 (yayımlanmamış).

