

T.C.
Niğde Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

MALATYA- HEKİMHAN ÇEPIÇ TUNELİ JEOLJİK VE JEOTEKNİK
İNCELENMESİ

MEHMET LEVENT

Eylül 2015

T.C.
NİĞDE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

MALATYA- HEKİMHAN ÇEPIÇ TÜNELİ JEOLOJİK VE JEOTEKNİK
İNCELENMESİ

MEHMET LEVENT

Yüksek Lisans Tezi

Danışman

Doç. Dr. Orkun ERSOY

Eylül 2015

Mehmet Levent tarafından **Doç.Dr. Orkun ERSOY** danışmanlığında hazırlanan “**Malatya-Hekimhan Çepiç Tüneli Jeolojik ve Jeoteknik İncelenmesi**” adlı bu çalışma jürimiz tarafından Niğde Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Jeoloji Mühendisliği** Ana Bilim Dalı’nda Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan : (Doç.Dr., Mustafa FENER) (Ankara Üniversitesi Mühendislik Fak.
Jeoloji Müh.Böl. İmza

Üye : (Doç.Dr., Orkun ERSOY) (Niğde Üniversitesi Mühendislik Fak. Jeoloji
Müh.Böl.) İmza

Üye : (Yrd.Doç.Dr., Mustafa KORKANÇ) (Niğde Üniversitesi Mühendislik
Fak. Jeoloji Müh.Böl.) İmza

ONAY:

Bu tez, Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunca belirlenmiş olan yukarıdaki jüri üyeleri tarafından/..../20.... tarihinde uygun görülmüş ve Enstitü Yönetim Kurulu’nun/..../20.... tarih ve sayılı kararıyla kabul edilmiştir.

...../...../20...

Doç. Dr. Murat BARUT
MÜDÜR

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin bilimsel ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.



Mehmet LEVENT

ÖZET

MALATYA- HEKİMİHAN ÇEPIÇ TÜNELİ JEOLJİK VE JEOTEKNİK İNCELENMESİ

LEVENT, Mehmet

Niğde Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Jeoloji Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Danışman : Doç. Dr. Orkun ERSOY

Ağustos 2015, 78 sayfa

Bu çalışma 2014-2015 öğretim yılında Niğde Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans Tez çalışması olarak hazırlanmıştır. Malatya-Hekimhan Çepiç Tüneli Jeolojik ve Jeoteknik İncelenmesi bu çalışmanın konusunu oluşturmaktadır. Hekimhan-Sivas devlet yolunun Çepiç mevkiinde oldukça engebeli bir topografyaya sahip olan bölgenin geçişini sağlamak amacıyla sol tüpü 621.80 m ve sağ tüpü 630.00 m uzunluğunda ikişer şeritli çift tüplü tünel oluşturulması gerekli görülmüştür.

Tünelin duraylılığı açısından jeoteknik özelliklerin belirlenmesi önemlidir. Geçmişten günümüze kadar kaya sınıflama sisteminde kullanılan Q, RMR ve GSI sınıflamaları yapılmıştır. Bu çalışma Yeni Avusturya Tünel Açma Metodu (NATM) uygulanarak açılan bir tünelde yapılan mühendislik jeolojisi çalışmalarını içermektedir. Kaya ve zemin birimlerinin mühendislik özellikleri anlatılmıştır. Elde edilen bilgilerle tünel tipleri ve destekleri belirlenmiştir.

Anahtar Sözcükler: Çepiç tüneli, NATM, kaya sınıflama sistemleri

SUMMARY

MALATYA- HEKİMİHAN CEPİC TUNNELGEOLOGICAL AND GEOTECHNICAL INVESTIGATION

LEVENT, Mehmet

**Nigde University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Geological Engineering**

Supervisor : Associate Professor Dr.Orkun ERSOY

August 2015, 78 pages

This study in the academic year 2014-2015 Nigde University Institute of Science in Geological Engineering Department has been prepared as a master thesis. Malatya Hekimhan Cepiç Tunnel Geological and geotechnical investigation is the subject of this study.

Hekimhan-Sivas of state roads the region has a very rugged topography Cepiç site state road standarts and ensure the passage of the main transport arteries left tube 621.80 m right tube 630.00 m long it has been see required to create two lane twin tube tunnel.

Determining of the geotechnical properties are important for the tunnel stability. Q, RMR and the GSI rock class systems classification are made whichare being used since past to up to date. This study comprises engineering studies in a tunnel which has constructed and opened by using NATM Engineering properties of rock and soil units are described. Tunnel types and support is determined by the obtained information.

Key Words: CEPIC tunnel, NATM, rock classification system

ÖN SÖZ

Yüksek lisans tezi olarak hazırlanan bu çalışmada Çepiç tüneli jeolojik ve jeoteknik incelemesi yapılmıştır. Yürütülen bu çalışma kapsamında literatür derlemeleri, arazi çalışmaları ve laboratuvar çalışmaları yapılmıştır. Bu kapsamda toplamda 438 m uzunluğunda 7 adet sondaj yapılmıştır. Sondajla alınan numunelerden tek ekseli, nokta yükleme deneyleri yapılmıştır. Bu deneyler sonucunda RMR, Q ve GSI sınıflamaları yapılmıştır.

Hekimhan-Sivas devlet yolunun Çepiç mevkiinde oldukça engebeli bir topografyaya sahip olan bölgenin devlet yolu ve ana ulaşım arteri standartlarında geçişini sağlamak amacıyla sol tüpü 621.80 m ve sağ tüpü 630.00 m boylarında ikişer şeritli çift tüplü tünel oluşturulması gerekli görülmüştür.

Çepiç Tüneli yatay ve düşey geometrisi, mevcut topoğrafik kısıtlamalara rağmen, bir ana ulaşım yolu için gerekli görülen standartların dahilinde belirlenmiş olup, yatay geometri aliymanda ve düşey geometri ise %3.00 boyuna eğim ile oluşturulmuştur. Tünel geometrisi, trafik akış konforu ve emniyeti açılarından uygun durumdadır.

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
SUMMARY	v
ÖN SÖZ	vi
İÇİNDEKİLER DİZİNİ	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xi
ŞEKİLLER DİZİNİ	xii
FOTOĞRAFLAR DİZİNİ	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR	xiv
BÖLÜM I GİRİŞ	1
1.1 Çalışmanın Amacı	1
1.2 Çalışma Alanının Yeri Tünellerin Özellikleri	1
1.2 Genel Jeoloji	2
1.3.1 Hocalıkova ofiyoliti (Krüh)	5
1.3.2 Karadere formasyonu (Kka)	5
1.3.2 Hekimhan formasyonu (Krh)	6
1.3.4 Tohma formasyonu (Tt)	6
1.3.5 Hasaңcelebi volkanitleri (Kha)	7
1.3.5.1 Sivritepe trakit üyesi (Khas)	7
1.3.6 Yüceşafak siyenitoyidi (Ky)	8
1.3.7 Davutgu metamorfiti (Kd)	8
1.3.8 Hüyük kireçtaşı (Khü)	8
1.3.9 Zorbehan dolomiti (Kz)	9
1.3.10 Leylek volkanitleri (Tl)	9
1.3.11 Yamadağ volkanitleri (Tya)	10
1.3.12 Taraça (Qtr)	10

1.4 Yapısal Jeoloji ve Tektonik.....	10
1.4.1 Fenkdüzü fayı	11
1.4.2 Karakuz fayı	11
1.4.3 Yunnuk fayı.....	12
1.4.4 Depremsellik.....	12
1.4.5 Hidrojeoloji.....	14
BÖLÜM II MATERYAL METOD	15
2.1 Kaya Kütleli sınıflama sistemleri	15
2.2 Kaya Yüğü Sınıflama Sistemi (Terzaghi Sınıflaması).....	16
2.3 RMR (Rock Mass Rating) Kaya Kütleli Sınıflama Sistemi	17
2.3.1 Tek eksenli sıkışma dayanımı.....	19
2.3.1.1 Deney için gerekli malzemeler	19
2.3.1.2 Deneyin yapılışı	20
2.4 Norveç Jeoteknik Enstitüsü (NGI) Kaya Sınıflama Sistemi (Q).....	23
2.5 GSI (Geological strenght index) Sınıflaması.....	27
BÖLÜM III ARAŞTIRMA VE BULGULAR	28
3.1 Çepiç Tüneli Mühendislik Özellikleri	28
3.2 Laboratuvar Sonuçları	28
3.3 Tünel İçi Hakim Eklem Takımlarının Duruşları.....	37
3.3.1 Giriş kesimi	37
3.3.2 Orta kesim	38
3.3.3 Çıkış kesimi	39
3.4 Tünel İçi Süreksizlik Verileri	39
3.4.1 Giriş kesimi.....	40
3.4.1.1 Tabakalanma.....	42
3.4.1.2 Eklemler.....	42
3.4.2 Orta kesim	47

3.4.2.1 Tabakalanma.....	47
3.4.2.2 Eklemler.....	47
3.4.3 Çıkış kesimi	51
3.4.3.1 Tabakalanma.....	51
3.4.3.2 Eklemler.....	52
3.5 Kaya Sınıflamaları.....	56
3.5.1 Giriş kesimi.....	57
3.5.1.1 RMR sınıflaması.....	57
3.5.1.2 Q sınıflaması.....	59
3.5.1.3 RMR-Q korelasyonu.....	59
3.5.1.4 NATM sınıflaması	59
3.5.1.5 GSI (Geological strenght index) sınıflaması.....	60
3.5.2 Orta kesim-1 (kıltaşı-marn-silttaşı)	61
3.5.2.1 RMR sınıflaması.....	61
3.5.2.2 Q sınıflaması.....	62
3.5.2.3 RMR-Q korelasyonu.....	62
3.5.2.4 NATM sınıflaması	63
3.5.2.5 GSI (Geological strenght index) sınıflaması.....	63
3.5.3 Orta kesim-2 (kıltaşı-silttaşı)	64
3.5.3.1 RMR sınıflaması.....	64
3.5.3.2 Q sınıflaması.....	65
3.5.3.3 RMR-Q korelasyonu.....	65
3.5.3.4 NATM sınıflaması	65
3.5.3.5 GSI (Geological strenght index) sınıflaması.....	66
3.5.4 Orta kesim-3 (kumtaşı-silttaşı)	67
3.5.4.1 RMR sınıflaması.....	67

3.5.4.2 Q sınıflaması	68
3.5.4.3 RMR-Q korelasyonu	68
3.5.4.4 NATM sınıflaması	68
3.5.4.5 GSI (Geological strenght index) sınıflaması.....	69
3.5.5 Çıkış kesimi (kumtaşı-silttaşı)	70
3.5.5.1 RMR sınıflaması	70
3.5.5.2 Q sınıflaması	71
3.5.5.3 RMR-Q korelasyonu	71
3.5.5.4 NATM sınıflaması	72
3.5.5.5 GSI (Geological strenght index) sınıflaması.....	72
BÖLÜM IV SONUÇLAR	74
KAYNAKLAR	76
ÖZ GEÇMİŞ	79
EKLER.....	80

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1.1. Deprem bölgelerine göre ivme katsayıları.....	14
Çizelge 2.1. Deney için kabul edilebilir örnek boyutları	22
Çizelge 2.2. Q Sisteminin girdi parametreleri ve değerleri.....	24
Çizelge 3.1. Çepiç tünel güzergahı boyunca yapılan sondaj listesi	28
Çizelge 3.2. Çepiç tünel güzergahı boyunca yapılan deney sonuçları	29
Çizelge 3.3. Çepiç tüneli giriş kesimi süreksizlik özellikleri.....	43
Çizelge 3.4. Çepiç tüneli orta kesim süreksizlik özellikleri.....	48
Çizelge 3.5. Çepiç tüneli çıkış kesimi süreksizlik özellikleri	53

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Proje alanı yeri ve ulaşımı	1
Şekil 1.2. Çalışma alanı ve civarı jeoloji haritası, Malatya-K39 paftası	3
Şekil 1.3. Çalışma alanının genelleştirilmiş stratigrafik kesiti.....	4
Şekil 1.4. Çalışma alanının yakın çevresindeki ana fay hatları.....	12
Şekil 1.5. Deprem bölgeleri haritası ve güzergahın deprenselliği.....	13
Şekil 1.6. Çalışma alanının deprem ivme haritasındaki konumu.....	14
Şekil 2.1. Terzaghi Kaya Yüğü sınıflamasında kaya yüğü kavramı ve gevşeme zonu.	16
Şekil 2.2. RMR Kaya Kütlesi Sınıflandırma Sistemi girdi parametreleri.....	18
Şekil 3.1. Giriş kesimi süreksizlik özellikleri.....	37
Şekil 3.2. Orta kesim süreksizlik özellikleri.....	38
Şekil 3.3. Çıkış kesimi süreksizlik özellikleri.....	39
Şekil 3.4. Giriş kesimi süreksizlik özellikleri (a) süreksizlik tipleri (b) kontur diyagramı (c) gül diyagramı.....	45
Şekil 3.5. Deney sonuçlarının tünel kotuna göre dağılımları (a) tek eksenli sıkışma dayanımı (b) birim hacim ağırlık.....	46
Şekil 3.6. Orta kesim süreksizlik özellikleri (a) süreksizlik tipleri (b) kontur diyagramı (c) gül diyagramı.....	49
Şekil 3.7. Deney sonuçlarının tünel kotuna göre dağılımları (a) tek eksenli sıkışma (b) Birim (b) birim hacim ağırlık.....	50
Şekil 3.8. Çıkış kesimi süreksizlik özellikleri (a) süreksizlik tipleri (b) kontur diyagramı (c) gül diyagramı.....	54
Şekil 3.9. Deney sonuçlarının tünel kotuna göre değişimleri (a) tek eksenli sıkışma dayanımı (b) birim hacim ağırlık.....	55

FOTOĞRAFLAR DİZİNİ

Fotoğraf 2.1. Yükleme hızının ayarlanabildiği 150 kN yükleme kapasiteli hidrolik yükleme başlıkları.....	20
Fotoğraf 2.2. Hidrolik yükleme sistemi, yükleme hızı ayarlı yük göstergesi	21
Fotoğraf 3.1. Çepiç Tüneli giriş kesiminde yüzeyleyen birimlerin genel görünümü..	41
Fotoğraf 3.2. (a) Serbest blok oluşumunda etkili süreksizlik yüzeyleri (b) çakıl boyutunda parçalanmış bloklar	42
Fotoğraf 3.3. Çepiç Tüneli girişinin genel görünümü.....	43
Fotoğraf 3.4. Çepiç Tüneli çıkış kesiminde yüzeyleyen birimlerin genel görünümü	51
Fotoğraf 3.5. Çepiç Tüneli çıkış kesiminde yüzeyleyen birimlerin genel görünümü. .	52
Fotoğraf 3.6. Deneyde kullanılmak üzere sondajla alınan karot numuneler.....	58

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

Açıklama

P	Kırılma anındaki yük
τ	Kesme direnci
C	Kohezyon
σ	Normal gerilme
ϕ	İçsel sürtünme açısı
J_n	Eklem takım sayısı
J_r	Eklem pürüzlülük sayısı
J_a	Eklem alterasyon sayısı
J_w	Eklem suyu azaltma faktörü

Kısaltmalar

Açıklama

NATM	Yeni Avusturya Tünel Açma Metodu
RMR	Kaya Kütle Derecelendirme Sınıflaması
Q	Norveç Jeoteknik Enstitüsü Sınıflama Sistemi
RQD	Kaya Kalitesi Göstergesi
SRF	Gerilim Azaltma Faktörü
RMI	Kaya Dayanım İndeksi
GSI	Jeolojik Dayanım İndeksi
GSK	Sondaj Kuyusu

BÖLÜM I

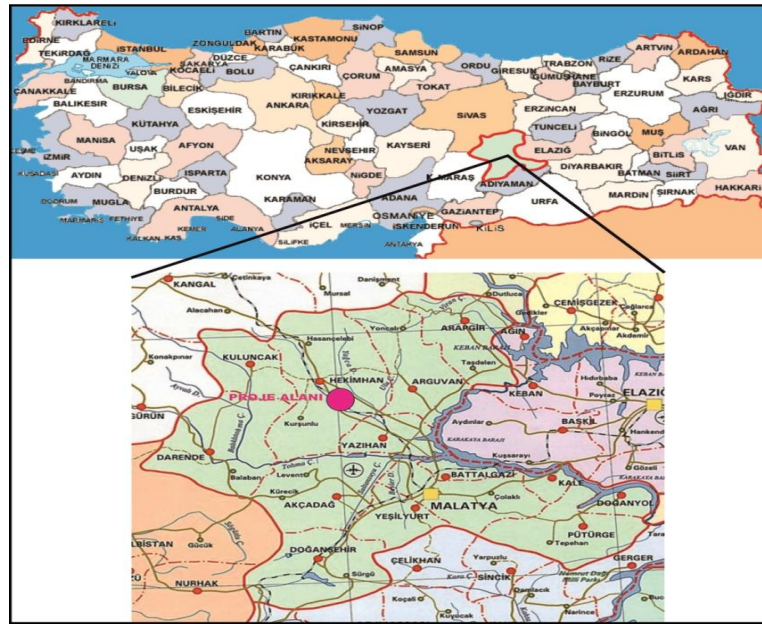
GİRİŞ

1.1 Çalışmanın Amacı

Bu çalışma Niğde Üniversitesi Fen Bilimleri enstitüsünde “Yüksek lisans tezi” olarak hazırlanmıştır. Çalışma konusunu Çepiç tünelinin jeolojik ve jeoteknik incelenmesi oluşturmuştur.

1.2 Çalışma Alanının Yeri Tünellerin Özellikleri

Çepiç Tünelinin üzerinde bulunduğu (Malatya – Gölbaşı) Ayr. – Hekimhan – 16. Bl. Hd. 2. Kısım Yolu zor topoğrafik ve iklimsel koşulların geçerli olduğu Orta Anadolu Doğu Anadolu (Malatya-Sivas) bağlantısını sağlaması plananan ana ulaşım arterinin bir parçası olup, bu ana arterin geometrik standartlarının yükseltilmesi amacıyla oluşturulan 4 adet tünelin ilkidir. Hekimhan-Sivas Devlet yolunun Çepiç mevkiinde, oldukça engebeli bir topografyaya sahip olan bölgenin devlet yolu ve ana ulaşım arteri standartlarında geçişini sağlamak amacıyla sol tüpü L=621.80 m ve sağ tüpü L=630.00 m boylarında ikişer şeritli çift tüplü tünel oluşturulması gerekli görülmüştür.

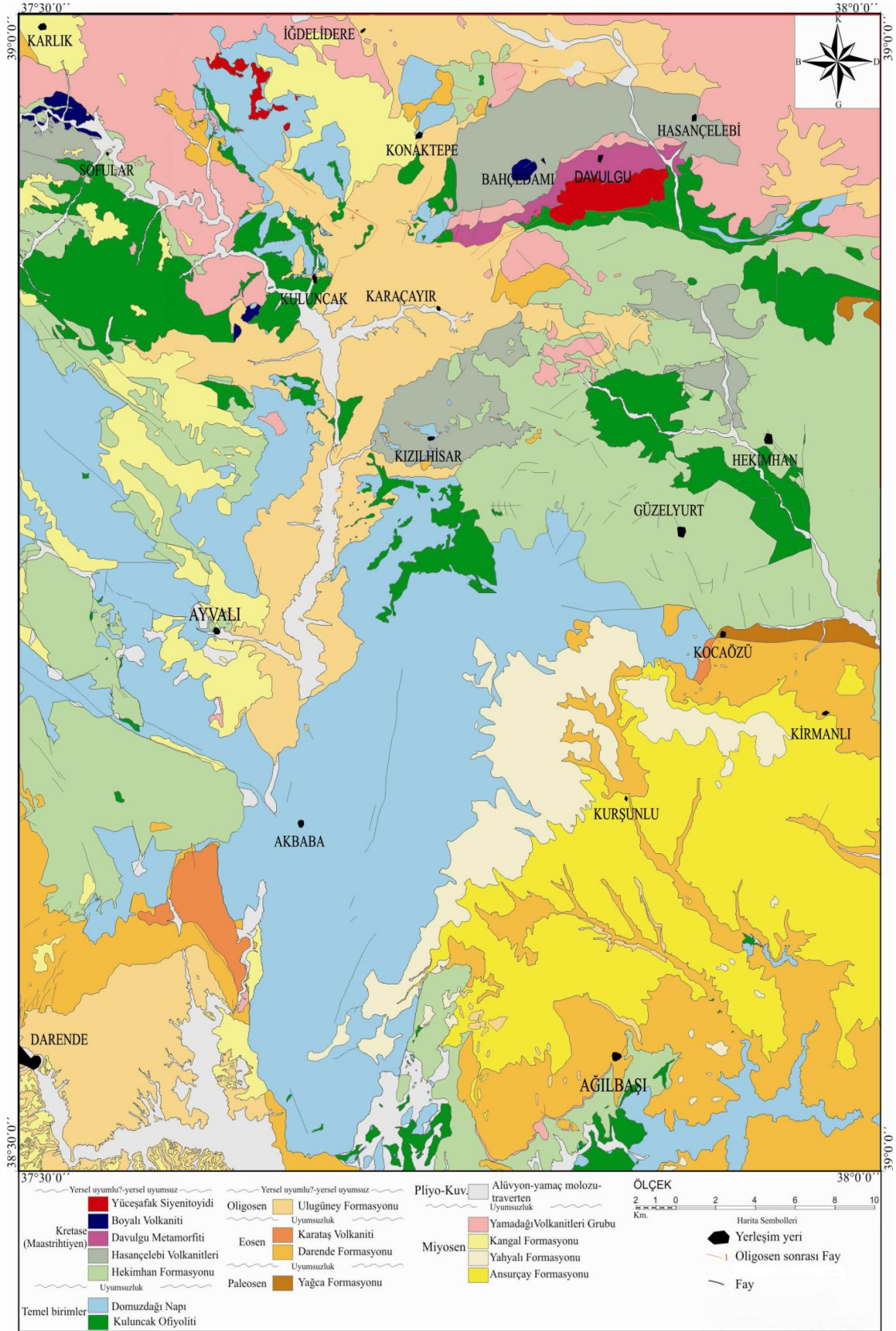


Şekil 1.1. Proje alanı yeri ve ulaşımı

1.3 Genel Jeoloji

İnceleme alanı ve çevresi, Ketin'in (1966) Anadolu'nun Tektonik Birlikleri sınıflamasına göre Toridler (Toroslar) tektonik birliği içinde bulunmaktadır. Akdeniz kıyısına paralel olarak uzanan Toros dağ şeridi sahilden itibaren KB, özellikle D-B istikametinde devam eder. İnceleme alanı da, Toroslar ünitesinin KB istikametinde yaptığı virgasyonun kuzey kenar bölgesi içinde yer alır.

Malatya ovası geniş bir depresyon olup, tabüler yapılı Plio – Kuvaterner çakıllarıyla doldurulmuştur. Güzergah boyunca gözlenen en yaşlı birim (Şekil 1.3) Hocalıkova ofiyoliti (Krüh) bunun üzerine uyumlu olarak yerleşen ve tümüyle ofiyolitik malzemedен oluşan Karadere formasyonu (Kka) çökelmiştir. Daha sonra çoğunlukla kumtaşı-marn-kireçtaşı ardalanmalı Hekimhan formasyonu (Krh) yerleşmiştir. Sonrasında genel durumu göz önüne alındığında trasgresif bir istif olan Tohma formasyonu (Tt) çökelmiştir. Bunun üzerine andezitik ve trakitik olarak tanımlanabilen volkanik ürünlerle temsil edilen Hasaңcelebi volkanitleri (Kha) yerleşmiştir. Daha sonrasında Geç Kretase döneminde tektonik olarak oldukça sakinleşen havzada çökelen kireçtaşı Hüyük kireçtaşı (Khü) olarak adlandırılmıştır. Başlıca dolomitli kireçtaşı, kalsitli dolomit içeren birim Zorbehan Dolomiti (Kz) olarak adlandırılmıştır. Leylek dağında bulunan bir bacadan çıkan volkanik malzemeyi oluşturan trakiandezit Üst kretase ve Eosen yaşlı birimleri örten Leylek volkanitleri (TI) bunun üzerine çökelen Üst Miyosen yaşlı Yamadağ volkanitleri (Tya) dir. İnceleme alanı jeoloji haritası şekil 1.2 'de ve genelleştirilmiş stratigrafik kesiti şekil 1.3 'te verilmiştir. Bu bölümde Hekimhan yöresinin jeolojisi hakkında bilgiler verilmiştir.



Şekil 1.2 Çalışma alanı ve civarı jeoloji haritası, Malatya-K39 paftası (MTA jeoloji haritalarından derlenmiştir.)

1.3.1 Hocalıkova ofiyoliti (Krüh)

Hekimhan - Hasançelebi (Malatya) bölgesinde oldukça geniş yüzlekleri bulunan ve başlıca harzburjit, dunit, piroksenit, serpantin, peridotit, gabro, spilitlerden oluşan birim ilk olarak Hocalıkova Ofiyoliti olarak isimlendirilmiştir. İnceleme alanında okyanusal kabuğa ait olan Hocalıkova Ofiyoliti (Krüh) ultramafik ve mafik kayaların büyük çoğunluğu serpantinleşmiş harzburjit, piroksenit, gabro, spilit ve pelajik çökellerden oluşan kaya topluluğundan oluşmaktadır. Hocalıkova Ofiyolitini oluşturan ultramafik kayalar genellikle yeşil renkte olup, genelde kümülatif kayalarla temsil edilmektedir. Hocalıkova Ofiyoliti (Krüh) çalışma alanında genelde yeşil ve yeşilin diğer tonlarında gözlenmektedir (Gürer, 1992). Birimin yaşı Turoniyendir (Üst Kretase). Ayrıca, bölgede Jura - Alt Kretase yaşlı kireçtaşlarının bu ofiyolitik seri tarafından kesildikleri ve Maastrichtiyen yaşlı çökellerin de ofiyolitik seri üzerinde transgresif olarak buldukları da belirtilmektedir.

1.3.2 Karadere formasyonu (Kka)

Hocalıkova Ofiyolitinin bölgeye yerleşmesini izleyen dönemde ofiyolitin üzerinde çökelmiş ve tümüyle ofiyolitik gereçten türemiş, karasal-sığ denizel, çakıltaşı-kumtaşı-çamurtaşı araldanmalı bir birimdir (Gürer, 1992). Formasyon tipik yüzeylemesini Hekimhan'ın 4 km batısındaki Karadere Köyü çevresinde verdiği için Karadere Formasyonu adıyla anılmıştır. Başlıca çakıltaşı-kumtaşı-çamurtaşı araldanmasından oluşan bu birimde tabanda çakıltaşı, tavana doğru ise kumtaşı egemendir. İstif tabanda çoğunlukla kırmızı ve kahverenginin egemen olduğu alacalı renkli çakıltaşı ile başlar. Başlıca gabro, piroksenit, spilit, kırmızı çört ve kireçtaşı bileşimli çakılların hemen tümü ofiyolitten türemiştir. Yuvarlaklık ve küresellik iyi gelişmiştir. Binik çakıllar yer yer gözlenir. Boylanma kötü-orta arasında değişir. Ufaktan çok iri çakıla dek her boyutta gerece rastlamak olasıdır. Matriks orta-iri taneli kum, bağlayıcı ise karbonatlı - demirli kildir. Çoğunlukla orta - çok kalın paralel, seyrek teknesi veya tablamsı çapraz katman örnekleri gelişmiştir. Kumtaşları, çakıltaşlarına oranla istifte daha az yaygındır. Toplam kalınlığın yaklaşık % 20'sini kaplar. Gereçler çakıltaşlarında olduğu gibi yine tabandaki ofiyolitten

türemiştir. Küresellik, yuvarlaklık ve boylanma iyidir. Matriks destekli taneler; kalsit, demir karbonat, demir oksit ve kil minerali içeren gözenek dolgusu tarafından çevrelemiştir ve istif içinde diğer litolojiler ile düzensiz ardalanırlar (Gürer, 1992).

1.3.3 Hekimhan formasyonu (Krh)

Formasyon, yanal ve düşey yönde düzenli bir istifleme gösterir. Tabanda konglomera ve kumtaşı ile başlayan birim üste doğru kumtaşı-marn-kireçtaşı ardalanmasına geçer. Altta genellikle merceksi kireçtaşı, üstte killi kireçtaşı yer alır (Gürer, 1992).

Kumtaşları çoğunlukla marn ve kireçtaşları ile ardalanmalıdır ve inceleme alanı çevresinde büyük bir alan kaplamaktadır. Kumtaşları ince kumdan çok iri kuma dek değişen boyutta sediman içerirler. Matriks silt ve kil boyu gereç, çimento ise karbonattan oluşmuştur. Hekimhan formasyonu Kampaniyen ve öncesi görülen sıkışmalı rejimde mevcut okyanusun yitimiyle Ofiyolit ve Domuzdağı naplarının bölgeye yerleşmesinden sonra Mestrihtiyen döneminde genişlemeli rejime dönen sistemde oluşmuş bir havzadepolanın trasgresif çökellerden meydana gelmekte dir (Gürer, 1992).

1.3.4 Tohma formasyonu (Tt)

Tohma Formasyonu olarak adlandırılan birim Zeynepoğlu Üyesi, Yoğunsakız Üyesi, Çorak Üyesi, Çivril Üyesi ve İriağaç Üyesi olmak üzere 5 üyeye ayrılmıştır (Gürer, 1992).

Birim tabandan tavana doğru; Zeynepoğlu Üyesi olarak tanımlanan çakıltaşı, kumtaşı-çamurtaşı ardalanması, Yoğunsakız Üyesi olarak tanımlanan taban konglomerası ile başlayan kumtaşı ile devam eden kireçtaşı - marn ardalanması, Çorak üyesi olarak tanımlanan çamurtaşı – kumtaşı-killi kireçtaşı ardalanması, Çivril üyesi olarak tanımlanan marn-kireçtaşı ardalanması ve İriağaç üyesi olarak tanımlanan tabanda marnlı seviyeler ile başlayan masif resifal karakterli kireçtaşı ile istif sunmaktadır. Yazihan platosunu güney ve kuzey bölüm olarak iki bölüm halinde incelendiğinde, temel farklılık olarak platonun güney bölümünde Tohma

Formasyonuna ait 5 üye gözlemlenirken, kuzey bölümünde ise Zeynepoğlu Üyesi mostra vermez iken Yoğunsakız Üyesi de Gövceler Mahallesi civarında merceklenmektedir. Platonun kuzey bölgesinin kuzey batısında da Yoğunsakız Üyesi mostra vermemektedir (Gürer, 1992).

1.3.5 Hasacelebi volkanitleri (Kha)

Hasacelebi Kasabası çevresinde geniş yüzeylemeler sunan volkanitler; sahada başlıca andezitik ve trakitik olarak tanımlanabilen volkanik ürünlerle temsil edilir. Farklı türdeki volkanitler içinde arazide diğerlerinden ayrılabilen trakit ve alkali trakit, Sivritepe trakit yesi adı altında tanıtılmıştır. Volkanitler açık yeşil/maviden ve kahverengiye değişen renkleri, porfirikten camsıya değişen dokuları ile oldukça farklılıklar sergiler. Volkanitlerin büyük çoğunluğunu trakiandezit bileşimli lav ve piroklastitler oluşturur. Belirsiz orta-kalın akma foliasyonları gelişmiştir. Piroklastitler aglomera, breş, lapilli, tf, tffit ile temsil edilir ve istif içinde hemen her düzeyde yer alırlar. Katmanlanma yer yer belirgin olup ince kalın arasında değişir. Dayk ve sillerin katılmalarıyla bu belirli ve düzenli katmanlanma sık sık bozulmaktadır. Volkanitleri ve bunlarla geçişli olan Hekimhan Formasyonunu birbirine paralel dayk sistemleri keser. Yaklaşık D-B doğrultulu daykların yanısıra yapıya az çok uyumlu siller de gözlenmiştir. Hekimhan formasyonu ile geçişli olması ve Akpınar formasyonu ile uyumsuz örtülmeleri nedeniyle havzanın yaşı Geç Kampaniyen –Mestrihtiyen aralığında olduğu düşünülmektedir (Gürer, 1992).

1.3.5.1 Sivritepe trakit yesi (Khas)

İnceleme alanının özellikle kuzeyinde sık yüzeylenen trakitik volkanitler tipik yüzeylenmesini Sivritepe'de verir. Trakitler genellikle D-B doğrultulu dar, uzunluğu birkaç yüz m olan dayklar, ender olarak yüzeysel lav ve tüfler şeklinde izlenirler. Morfolojide dayanımlı sivri tepeler oluştururlar. Taze yüzeyleri açık kahve-pembe, ayrışma yüzeyleri koyu kahverengidir. El örneklerinde irili ufaklı sanidin ve amfibol kristalleri ile opak mineraller gözle seçilebilir. Trakitlerin önemli ölçüde demir cevheri taşıdıkları ve bölgedeki demir yataklarının oluşmasına neden oldukları saptanmıştır (Gürer, 1992).

1.3.6 Yüceşafak siyenitoyidi (Ky)

Başlıca siyenit, kuvars siyenit, nefelin siyenit, siyenodiyorit, siyenit porfir, siyenit aplit türünde derinlik ve yan derinlik kayalar topluluğudur. Yüceşafak Tepe çevresinde tipik olarak yüzeylendiği için aynı adla anılmışlardır. Siyenitoyide ait kayalar arazide pembe-bej renkleri ile tipiktir. Masif plüton ve dayklarla temsil edilir, masif olan bölümlerde orta-iri, eş taneli ve holokristalen dokuludur. Dayklar şeklinde bölümlerde ise apiitikporfirik, daha çok siyenitoyidin kenar fasiyesleri şeklinde, plütonun çevre kaya ile kontaklarında veya geç mağmatik fazdaki damar dolguları şeklinde izlenirler. Siyenitoyid kütlesi içerisinde sık sık yamalar şeklinde 3-10 cm çaplı, başlıca amfibol-piroksen-biyotit-apatit minerallerinden oluşan, ince taneli ksenolitler gözlenir. Siyenitoyid, Hasançelebi Volkanitlerini intrüzif olarak keser (Gürer, 1992). Kuluncak civarında gözlenen siyenit numunesinden K- Ar yöntemiyle yapılan yaş tayini sonucu 65.12 (+1.6) My. yaş elde edilmiştir (Leo vd.1971).

1.3.7 Davutgu metamorfiti (Kd)

Hasançelebi Volkanitlerinin, Yüceşafak Siyenitoyidinin intrüzyonu ile kontakt metamorfizmaya ve metasomatizmaya uğraması sonucu gelişen bir birimdir. Davutgu Köyü çevresinde yaygınca yüzeylendiklerinden aynı adla anılmışlardır. Birimde gri, bej ve açık kahve renkler egemendir, sertlikleri azdır, metamorfizma öncesi birincil kaya özellikleri yer yer korunmuştur. Metamorfik zon içerisinde yaklaşık D-B gidişli, yapıya uyumsuz, düşeye yakın eğimli siyenit porfir, siyenit aplit ve lamporfirik dayklar yer alır. Daykların ve metasomatik etkilerin yoğunlaştıkları yerlerde birincil kaya özelliklerinin hemen tümüyle kaybolduğu ve yaygın alterasyonun geliştiği gözlenir. Dayklarda ve dayklara yakın bölümlerde disseminemanyetit-hematit mineralleri yaygınca bulunur. Metamorfitin ana minerali skapolittir (Gürer, 1992).

1.3.8 Hüyük kireçtaşı (Khü)

Geç Kretase döneminde tektonik olarak oldukça sakinleşen havzada çökelen kireçtaşı, tipik yüzeylenmesini Hüyük Tepe'de verdiği için Hüyük kireçtaşı adıyla anılmıştır. Kireçtaşı dayanımı ile topografyada sarp yükseltiler yapabildiği gibi, yer yer

tınaz tepeler ve tatlı engebeli sırtlar oluşturur. İstifin alt düzeyleri belirgin orta- kalın katmanlı, üst düzeyleri ise çok kalın katmanlı ya da masiftir. Kireçtaşı içinde birbirinden farklı fasiyesler izlenmiştir. İnceleme alanı kuzeyinde Zorbehan Dağı ve Kale tepe'de bol bentik makro ve mikro fosilli, yer yer kumlu sparitik, biyoklastik kireçtaşı fasiyesinde, güneyinde Alibaba, Mağarakaya ve Kuzkulağı Tepe çevresinde pelajik fosilli biyomikrit fasiyesinde gelişmiştir (Gürer, 1992).

1.3.9 Zorbehan dolomiti (Kz)

Başlıca dolomitli kireçtaşı, kalsitli dolomit taşı gibi kayaları içeren birim tipik yüzeylenmesini Zorbehan Dağı ve çevresinde verdiği için aynı adla anılmıştır. Birim açık gri-bej, alt düzeylerde orta-kalın, ortada masif, üstte ise orta-kalın katmanlıdır. Farklı düzeylerden derlenen örneklerin petrografik analizlerinde kayanın % 30-100 oranında ince-orta taneli dolomit kristalleri içerdiği saptanmıştır. Dolomit içerisinde % 10-60 arasında değişen oranlarda bulunan biyoklastların dolomitleşmeden kısmen korunduğu belirlenmiştir (Gürer, 1992).

1.3.10 Leylek volkanitleri (Tl)

Birim inceleme alanının kuzeydoğusunda bulunan Leylek dağında bulunan bir bacadan çıkan volkanik malzemeyi oluşturan trakiandezit, Üst Kretase ve Eosen yaşlı birimleri örtmüştür. Çok miktarda eklem düzlemi ve foliasyona rastlamak mümkündür. Yapılan petrografik incelemeler sonucu kısmen camsı materyalden oluşmuş ve kısmende kristalize olmuş camsı materyalden ibaret matriks içerisinde mikrofenero kristaller halinde albit-ortoklas, albit ve biotit içerdiği belirlenmiştir.

Doğuda Parçikan Formasyonu, güneyde Akyar Formasyonu, batıda Yeşilpınar Formasyonu ile inceleme alanının hemen dışında kalan kuzey kesiminde Burdigaliyen yaşlı Çavuş Formasyonu tarafından örtmeleri, ve inceleme alanı çevresinde Yeşilpınar Formasyonu içerisinde çakıllarının bulunuşu nedeniyle Orta Eosen'den daha genç, Oligosenden yaşlı, muhtemelen Üst Eosen yaşında çökemiş olduğu düşünülmektedir (Gürer, 1992).

1.3.11 Yamadağ volkanitleri (Tya)

Bu volkano-sedimanter kayaçlar Doğu Anadolu'da geniş bir yayılım sunan Miyosen volkanizmasının parçasını oluşturmaktadır. Yamadağ volkanitleri, inceleme alanı çevresinde Yağca vadisi boyunca Sarsa Tepe, Boztepe mahallesi, Kamer mahallesi ve Çiftlik mahalleri civarında yüzeylemekte olup arazide kolaylıkla ayırt edilebilmektedir. Koyu - mor - siyah renkli Yamadağ volkanitleri, açık renkli tüfitler üzerine gelen birim, tabanda bazaltik bileşimli lav akıntıları ile başlamakta olup üste doğru piroklastikler ve bazaltik ve andezitik lav akıntıları ile son bulmaktadır (Gürer, 1992).

1.3.12 Taraça (Qtr)

Kuvaterner yaşlı olan taraçalar, kendinden yaşlı birimlerin çakıllarını kapsamaktadır. Paleozoyik, Mesozoyik, Eosen ve Burdugaliyen kireçtaşı çakılları, bazalt, radiolarit ve ofiyolitik çakılları içerirler. Az pekişmiş olduğundan kolayca dağılırlar. Kalınlığı 5-20 m arasında değişmektedir.

1.4 Yapısal Jeoloji ve Tektonik

Çalışma alanı Doğu Toroslarda olup, Ketin (1959, 1966), Şengör ve Yılmaz (1981)' a göre Toridler, Özgül (1976), Perinçek ve Kozlu (1983)' e göre Bozkır Birliği üzerinde yer almaktadır. Çalışma alanını, batısında Darende fayı (Gürer, 1992) ve Elbistan fayı, doğuda Malatya fayı, güneyde Sürgü fayı, kuzeybatıda Yeniköy-Yazyurdu fay zonu ile sınırlanır. Oligosen sonrasında, çoğunlukla sol yönlü doğrultu atım bileşenli faylar arasında kalan bölgede saat yönünde bir rotasyon etkisi görülmektedir (Perinçek vd. 1987).

Çalışma alanında gözlenen faylardan önemli olanları ve Oligosen yaşlı birimleri etkileyenler açıklanmıştır. Oligosen yaşlı Ulugüney Formasyonunun çökeldiği havzayı sınırlayan bir fay veya fay sistemi gözlenmemektedir. Ayrıca Oligosen istiflerinin çökeldiği havzanın sınırları belirgin değildir. Olasılıkla Şekil 1.3'de gösterilen fay ve fay sistemleri Oligosen sonrasında havzayı etkilemiş ve bugünkü

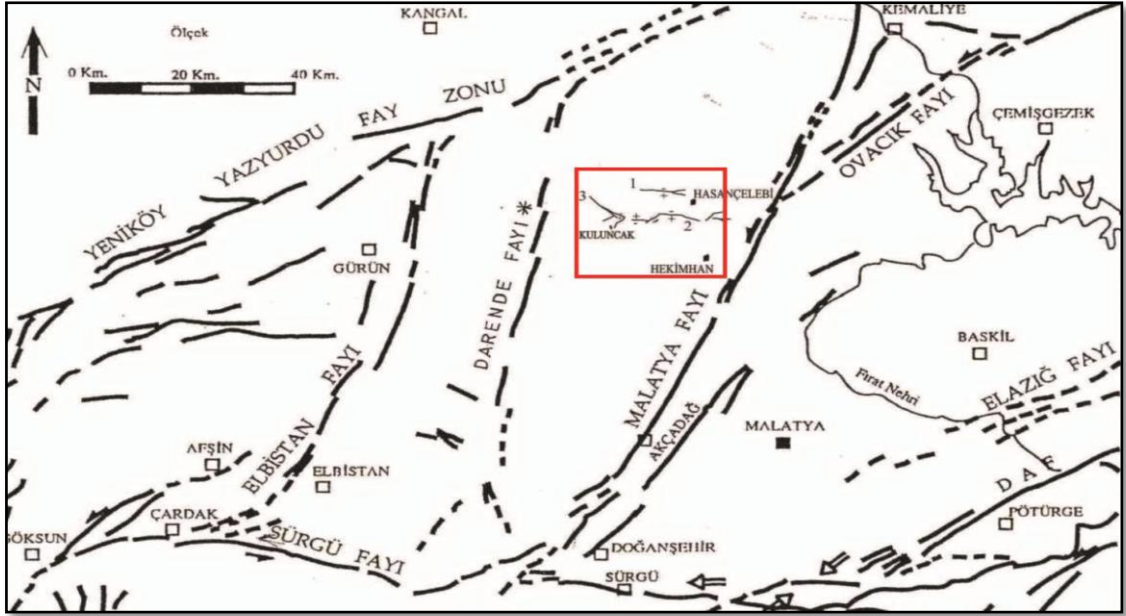
şeklini almasına sebep olmuştur. Bu sebeple Oligosen istiflerinin çökeldiği tektonik ortam hakkında yorumlar sadece istifin sedimantolojisi ile yapılabilmektedir. Bununla birlikte Oligosen yaşlı birimlerin genel tabaka doğrultusu D-B, bazen GD-KB, KD-GB ve eğim yönü kuzeydir. Ortalama eğim açısı 20°-35°, faylarla ilişkili olduğu alanlarda 60° 'ye kadar görülmektedir.

1.4.1 Fenkdüzü fayı

Şekil 1.3'te 1 no'lu fay olarak gösterilmiştir. Çalışma alanının kuzeyinde, doğuda Kurt Tepe ve Fenk Tepeden başlayıp batıda Ağcahüyük Tepe'ye kadar yaklaşık 10 km devam eder ve Pliyosen yaşlı birimler altında kaybolur. Oligosen yaşlı Ulugüney Formasyonunu kesen, doğu-batı doğrultulu kuzey bloğun düştüğü normal bir faydır. Fay hattı boyunca Hamamınsırtı ve Fenkdüzü civarında traverten oluşumları ve demir yatakları bulunmaktadır (Perinçek vd. 1987)

1.4.2 Karakuz fayı

Şekil 1.3'te 2 no'lu fay olarak gösterilmiştir. Karakuz Dağının güneyinde, Karıncalık-Ciritbelen Mah. arasında başlar ve doğuda çalışma alanında Eskikent Mah. doğusuna doğru uzanır ve çalışma alanı dışında Otmangölü köyüne kadar yaklaşık D-B doğrultulu 25 km'den fazla devam eder. Ters bileşenli doğrultu atımlı bir faydır. Kuluncak Ofiyoliti ve Davulgu Metamorfiti'ne ait birimler Oligosen sonrasında gelişen fay düzlemi boyunca Oligosen yaşlı Ulugüney Formasyonu üzerine itilmişlerdir. Daha sonra gelişen tektonik rejimler nedeniyle bindirme düzlemleri sol yönlü doğrultu atımlı fayların etkisiyle atılmışlardır. Ciritbelen ve Kamatlar civarında birim içerisinde buna bağlı kıvrım sistemleri ve senklinaller gelişmiştir fay hatı boyunca demir yatakları gözlenir (Gürer, 1992).



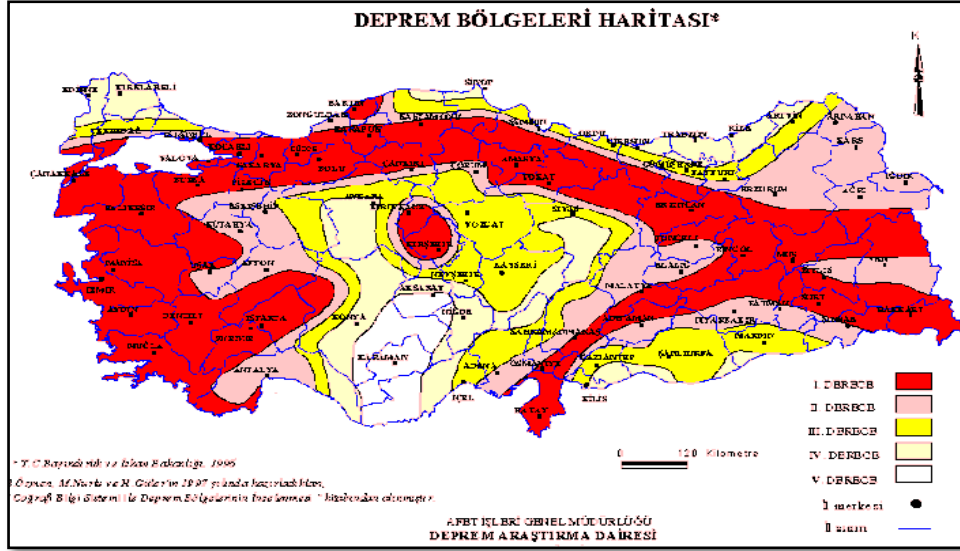
Şekil 1.4. Çalışma alanının yakın çevresindeki ana fay hatları ve çalışma alanında belirlenmiş Oligosen sonrası faylar (Perinçek vd. 1987 ve Gürer 1992)

1.4.3 Yunnuk fayı

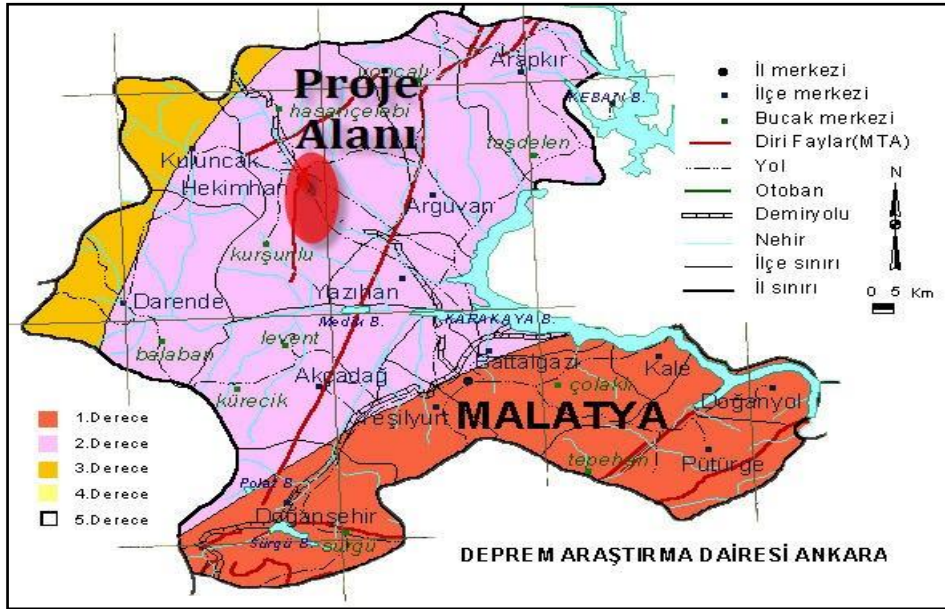
Şekil 1.3'te 3 no'lu fay olarak gösterilmiştir. Bu fay sistemi, Kuluncak kuzeyinde Yunnuk Köyü civarında gözlenen ve birbirini kesen faylardır. Esas fay düzlemi GD-KB gidişlidir. İnceciğin tepeden başlayan fay B-KB'ya doğru Köçek Tepe'ye kadar devam eder ve buradan KKB yönüne dönüşle Karaçalbaşı Tepe'ye kadar devam eder. Yaklaşık 12 km kadar gözlenir. İnceciğin Tepe'nin kuzeyinde, Oligosen yaşlı Akçal kireçtaşı Üyesi İğdelidere Üyesi üzerine itilir. Güney blok kuzey blok üzerine itilmiştir. Bununla birlikte bu fay sistemini kesen KD gidişli fay sistemleri mevcuttur (Perinçek vd. 1987).

1.4.4 Depremsellik

Malatya ili ve çevresi, T.C Bayındırlık ve İskân Bakanlığı Afet İşleri Genel Müdürlüğü Deprem Araştırma Dairesi'nin 1996 yılında hazırladığı "Türkiye Deprem Bölgeleri Haritası"na göre 1.,2. ve 3.Derece Deprem Bölgeleri içerisinde yer almaktadır.Çepiç Tüneli güzergahı 2. derece deprem bölgesi içerisinde değerlendirilmelidir (Şekil 1.5).



(a)



(b)

Şekil 1.5. Deprem bölgeleri haritası (a), Güzergahın depremselliği (b)

T.C Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Afet İşleri Genel Müdürlüğü'nün hazırladığı “Deprem Bölgeleri Haritası” ile “Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik” çerçevesinde 2. Derece deprem bölgesinde (Çizelge 1.1), Sanat yapılarında (köprü, tünel vb.) Etkin Yer İvmesi Katsayısı $A_0=0.30g$ olarak, yarma ve dolgu şev tasarımlarında ise $A_0=0.15g$ kabul edilmelidir (Şekil 1.6).

BÖLÜM II

MATERYAL METOD

2.1 Kaya Kütlesi Sınıflama Sistemleri

Kaya kütlesi sınıflama sistemleri, mühendislik tasarımının doğrudan yapılmasını sağlayacak bir araç olarak değerlendirilmemelidir. Bu sistemler, nihai tasarımın yapılabilmesi için tasarım hedefleri ve sahanın jeolojisi de dikkate alınarak, gözleme dayanan, analitik ve nümerik çözümlene teknikleriyle birlikte kullanılmalıdır. Bu sistemler doğru kullanıldıkları zaman, ön tasarımda yararlı birer araç olabilmektedirler.

Kaya kütlesi sınıflama sistemlerinin kullanılmasındaki başlıca amaçlar,

- a) Kaya kütlelerinin davranışını etkileyen başlıca özellikleri tayin etmek,
- b) Kaya kütlelerini kendi aralarında benzer özellikler gösteren bölgelere ayırarak değişik kaya kütlesi sınıflarını belirlemek,
- c) Her kaya kütlesi sınıfının karakteristiklerini anlamak amacıyla ölçütler oluşturmak,
- d) Bir sahada kaya kütlesi koşullarıyla ilgili kazanılan deneyimi diğer saha şartlarıyla karşılaştırıp ilişki kurmak
- e) Mühendislik tasarımı için sayısal veri ve bir kılavuz elde etmek,
- f) Mühendisler arasında ortak bir temele dayalı bilimsel ve teknik iletişimi sağlamak şeklinde sıralanabilir (Bieniewski, 1989).

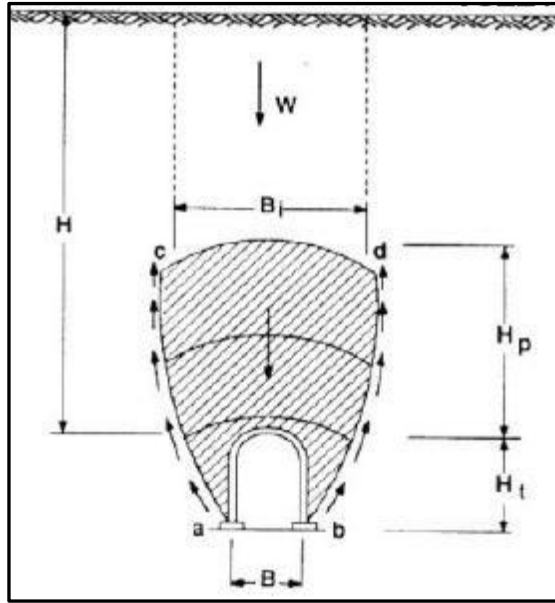
Aşağıda belirtilen üç husus, kaya kütlesi sınıflama sistemlerinden sağlanan kazanımları belirtmektedir.

- 1- Sınıflama parametreleri olarak en az sayıda veri sağlayarak saha çalışmalarının kalitesini yükseltmek

- 2- Tasarım amaçlarıyla sayısal verinin yanı sıra,
- 3- Daha sağlıklı bir mühendislik kararına varılmasını ve proje konusunda daha etkin bir iletişimi sağlamak.

2.2 Kaya Yüğü Sınıflama Sistemi (Terzaghi Sınıflaması)

Terzaghi (1946) tarafından önerilen bu sistem, tünellerde çelik destek tasarımı için kaya yüklerinin değerlendirilmesi amacıyla geliştirilmiş ilk gerçekçi kaya sınıflama sistemidir (Şekil 2.1). Bu sistem son 50 yıldır çelik desteklerin tünel kazılarında yaygın şekilde kullanılmış olması nedeniyle, önemli bir gelişme olarak kabul edilmiş ve uygulanmıştır. Bununla birlikte; püskürtme beton, kaya saptaması ve çelik hasır kullanımını beraberinde getiren çağdaş tünelticilik sistemleri için uygun bir yöntem değildir.



Şekil 2.1. Terzaghi Kaya Yüğü sınıflamasında kaya yüğü kavramı ve gevşeme zonu (Terzaghi,1946)

Terzaghi'nin önerdiği modele göre, tünel kazısı sırasında tünelin çevresinde ve üzerinde kaya kütlelerinin kenetlenmenin derecesi azalmaktadır. Buna göre Şekil 3.1'de 'abcd' ile gösterilen alanın içinde kalan gevşemiş kaya kütlesi tünele doğru hareket etmeye başlar. Bu hareket 'ac' ve 'bd' ile gösterilen yan sınırlar boyunca sürtünme kuvvetleri tarafından karşılanmaya çalışılacaktır. Dolayısıyla tünelin tavanı ile yan duvarların, H_p

yüksekliğine eşdeğer bir bölgenin dengelenmesi için desteklenmeyi gerekli kılar. Hareketlerin meydana geldiği kaya zonunun genişliği (B1), kaya kütlelerinin özelliklerine ve tünelin boyutlarına (H1 ve B) bağlıdır.

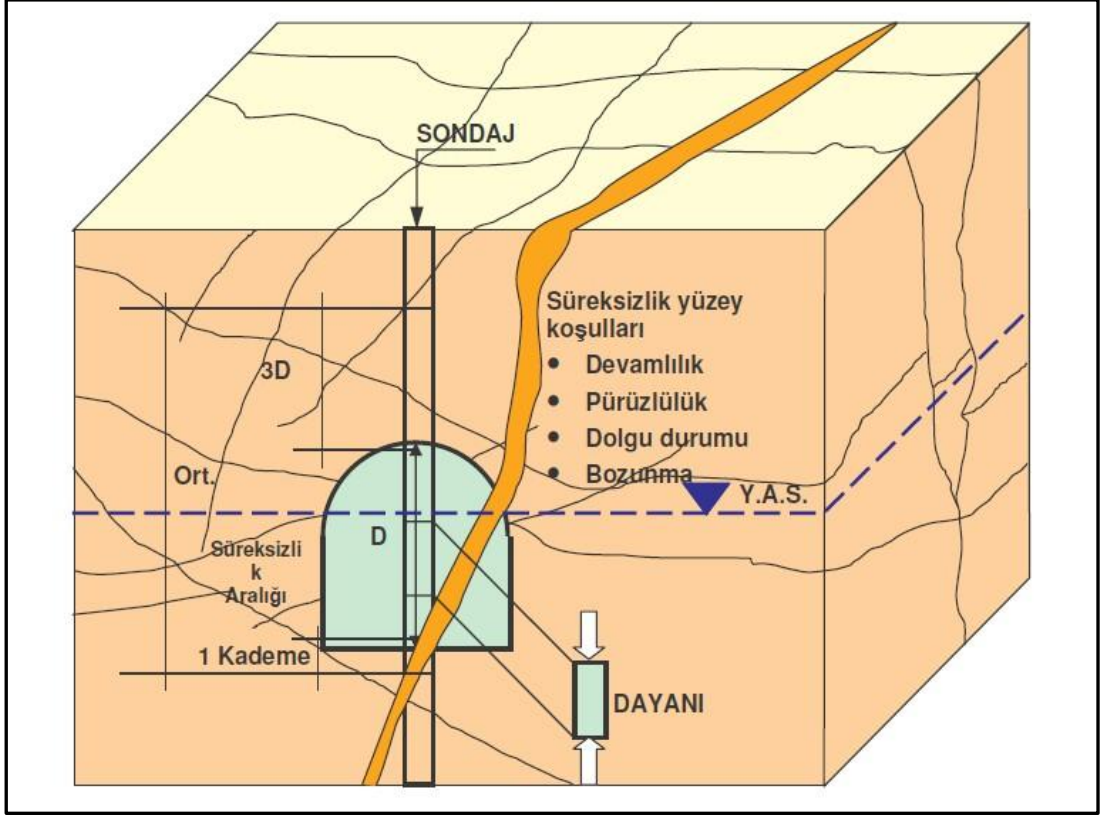
2.3 RMR (Rock Mass Rating) Kaya Kütleleri Sınıflama Sistemi

RMR sınıflama sistemi, Bieniawski tarafından 1972-1973 yılları arasında geliştirilmiştir (Bieniawski, 1973). Sistem 1973'den 1989'a kadar yeni verilerle desteklenerek bazı değişikliklere uğramış ve son şeklini 1989 yılında almıştır (Bieniawski, 1989). Yaygın olarak kullanılan RMR sınıflama sistemi de, önerildikleri tarihten sonra 1989 ve 1993 yılları arasında bazı değişikliklere uğrayarak günümüzdeki son şeklini almışlardır

Sistemin uygulanması için, kaya kütleleri belirli özellikleri açısından benzerlik taşıyan yapısal bölgelere ayrılır. Kaya türünün veya süreksizlikler arası mesafenin üniform olduğu yapısal bölgelerle yaygın olarak karşılaştırılabilir. Pek çok durumda yapısal bölgelerin sınırları; fay, dayk, makaslama zonu gibi ana süreksizliklerle çakışmaktadır. Yapısal bölgeler belirlendikten sonra, kazı aynaları boyunca veya sondajlı bir çalışma yapılıyorsa her ilerlemede sınıflamanın gerektirdiği parametreler belirlenir. RMR sistemine göre kaya kütlelerinin sınıflandırılmasında aşağıda belirtilen parametreler esas alınmaktadır (Şekil 2.2).

- 1- Kayaç malzemesinin dayanımı: Bu parametre, kaya kütlelerinin dayanımının en üst sınırının belirlenmesi açısından önemlidir. Ayrıca kaya mekaniğinde sıkıştırıcı gerilim alanlarının önemi dikkate alındığında, tek eksenli sıkışma dayanımının sınıflama açısından gerekli bir parametre olacağı bellidir.
- 2- RQD: Bu parametre, kayaç karotlarının kalitesinin bir göstergesi olmakla birlikte, süreksizlik yöneliminin etkisini yansıtmaz. Bununla birlikte, tünel projelerinde yaygın olarak kullanılan ve farklı tünel koşullarında kaya davranışının karşılaştırılmasına olanak sağlayan sayısal bir indeks olması açısından önemlidir.
- 3- Jeolojik parametreler: Süreksizliklerin aralığı, yönelimi ve yüzey koşulları

- 4- Yeraltısıuyu koşulları
- 5- Gerilim alanı
- 6- Başlıca faylar ve kıvrımlardır.



Şekil 2.2. RMR Kaya Kütle Sınıflandırma Sistemi girdi parametreleri

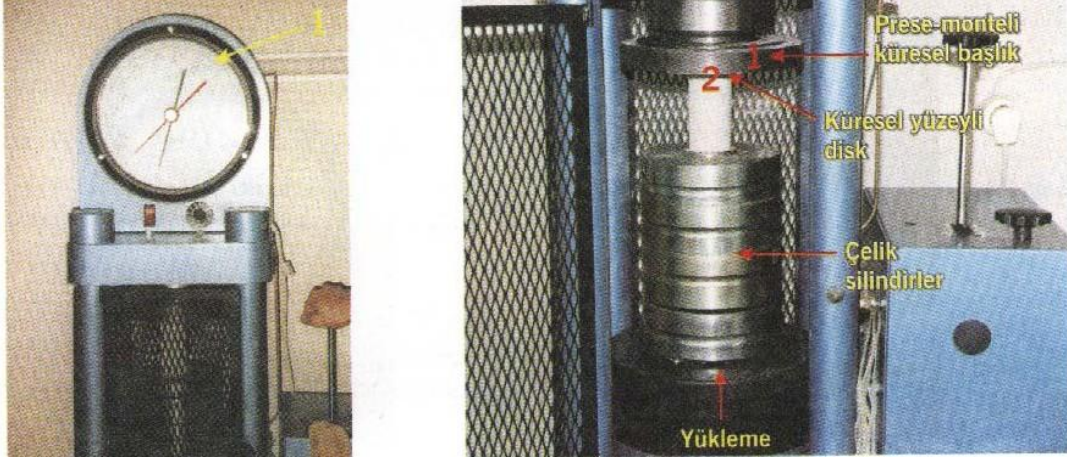
2.3.1 Tek eksenli sıkışma dayanımı deneyi

Bu deney, silindirik bir şekle sahip kayaç malzemesi örneklerinin dayanım ve kaya kütlesi sınıflamalarında, ayrıca tasarımda yaygın biçimde kullanılan tek eksenli sıkışma dayanımının tayini amacıyla yapılır. Deney sırasında eksenel deformasyon da ölçülerek, kayaç malzemesinin deformasyon ve yenilme karakteristikleri değerlendirilebilir. Ayrıntısı aşağıda verilen deney için ISRM (1981) tarafından önerilen yöntem ana hatlarıyla esas alınmıştır.

2.3.1.1 Deney için gerekli malzemeler

Deney için gerekli araç gereç aşağıdaki gibidir:

1. Deney sırasında örneğe sabit bir hızda ve sürekli olarak eksenel yükleme yapabilecek yeterli kapasitede hidrolik pres (Şekil.2.3) kullanılır. Yenilmenin 5 ile 10 dakika arasında gerçekleşebilmesi için yükleme presinin kapasitesinin kayacın dayanımına uygun olarak seçilmesi gerekir. Bu nedenle, dayanımı düşük olan zayıf kayaçlarda düşük yük aralıkları için bölümlendirilmemiş yük göstergelerine (Şekil 2.3, 1 no.lu parça) sahip yüksek kapasiteli preslerin yerine, tercihen daha küçük yükleme yapılmasına olanak sağlayan presler kullanılmalıdır.
2. Prese monteli küresel başlık (Şekil 2.3, 1 no.lu parça) veya karot çapına uygun küresel yüzeyli çelik diskler veya silindirler (Şekil 2.3, 2 no.lu parça) gerekli olup, bunların kalınlığı en az 15 mm, düzlükleri 0.005 mm duyarlılıkta ve sertlikleri en az C30 (Rockwell sertliği) olmalıdır. Üstteki silindir, sağlıklı bir eksenel yüklemenin yapılabilmesi için, küresel başlıkla örnek arasında yer almalı ve küresel başlığa temas etmelidir.
3. Kompas (0.1 mm duyarlılıkta)
4. Kronometre (gerektiğinde yükleme hızının denetimi için)



Fotoğraf 2.1. Yükleme hızının ayarlanabildiği 150 kN yükleme kapasiteli bir hidrolik pres ve yükleme başlıkları

2.3.1.2 Deneyin yapılışı

- 1 Deneyde boy / çap (L/D) oranı 2.-3.0 arasında olacak şekilde hazırlanmış, alt ve üst yüzeyleri birbirine paralel, yan yüzeyleri pürüzsüz-düz ve herhangi bir kırık ve çatlak içermeyen karot örnekleri kullanılır. Deney için kabul edilebilir örnek boyutları aşağıdaki çizelgede verilmiştir. Bununla birlikte, mümkünse, NX çaplı (≈ 54 mm) karotlar tercih edilmelidir.

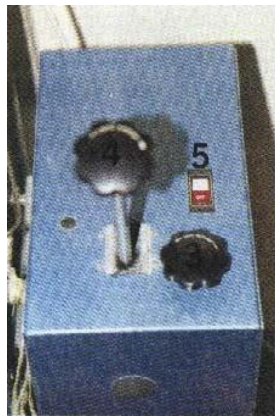
Çizelge 2.1. Deney için kabul edilebilir örnek boyutları

Karot tipi (çapı, mm)	En kısa boy (mm)	En uzun boy (mm)
AX (30.0)	75.0	90.0
BQ(36.5)	91.3	109.5
BX(42.0)	105.0	126.0
NQ(47.6)	119.0	142.8
NX(54.7)	136.8	164.1

- 2 Örneğin alt ve üst yüzeyleri, 0.02 mm duyarlılıkta düzeltilmiş ve birbirine paralel olmalıdır. Örnek eksenini, düşeyden en fazla 0.001 radyan (50 mm'de 0.05 mm) sapma göstermelidir.
- 3 Örnekler, alındıkları tarihten itibaren 30 günden daha fazla bekletilmemiş olmalıdır (ISRM, 1981). Aksi takdirde, örnekler doğal su içeriklerini

kaybederler. Bu açıdan, gerekiyorsa, örneklerin su içerikleri de deney öncesinde tayin edilmelidir.

- 4 Örneğin çapı ve boyu kompasla birbirine dik yönlerde bölüm 1’de belirtildiği şekilde ölçülerek bu değerlerin ortalaması alınır ve yüklemenin yapılacağı kesit alanı hesaplanır.
- 5 Örnek, presin ortasındaki yükseltme plakasının üzerine merkezlenerek yerleştirilir.
- 6 Eğer presin tavanına monte edilmiş büyük küresel bir başlık yoksa, küçük boyutlu ve küresel yüzeyli iki çelik silindir küresel yüzeyleri birbiriyle çakışacak şekilde örneğin üzerine konur.
- 7 Fotoğraf 2.1’ de gösterilen hidrolik sistemdeki hidrolik vanası (3 no.lu vana) kapalı konuma getirildikten sonra sistemi çalıştırma düğmesine (Fotoğraf 2.1, 5 no.lu düğme) basılır ve yükleme kontrol vanası kolu (4 numara ile gösterilen uzun kol) ileri itilerek örneğin üzerine konduğu alt tabla yükseltilmeye başlanır. Bu sırada ani yükleme yapılmamasına dikkat edilir. Alttaki blok, örneğin üzerindeki silindirler ile presin üst bloğu arasında boşluk kalmayana kadar yükseltilir. Örnekte boşluk kalmadığı elle de kontrol edilerek yükseltme işlemi tamamlanır. Yenilme sırasında kayaç parçalarının etrafa sıçrayarak tehlike yaratmasını önlemek amacıyla presin çevresindeki kafesin kapağı kapatılır.



Fotoğraf 2.2. Hidrolik yükleme sistemi.Yükleme hızı ayarlı yük göstergesi

8. Örnek 5 ile 10 dakika arasında yenilecek şekilde veya alternatif olarak saniyede 0.5-1 MPa’lık bir gerilim hızıyla presin “yükleme hızı grafiğinden” bir hız seçilir ve bu hız değeri, eğer kullanılan prese monteli ise, Fotoğraf 2.2’de gösterilen hız ayarlama

düğmesi (1 no.lu düğme) yardımıyla deney süresince sabit tutulmak üzere ayarlanır. Yük göstergesinin altındaki düğmeye (Fotoğraf 2.2, 2 no.lu düğme) basılarak gösterge üzerindeki renkli noktaların bulunduğu “yükleme hızı kontrol plakası”nın (Fotoğraf 2.2, 3 no.lu gösterge) dönmesi için devre açılır.

9. Yükleme kontrol vanası (Fotoğraf 2.2’deki kolun üzerinde bulunan 4 no.lu halka) yavaşça döndürülerek yükleme işlemine başlanır. Yük göstergesindeki ibrenin, seçilen hıza uygun şekilde dönen fiber yükleme kontrol plakası üzerindeki renkli noktalarla (Fotoğraf 2.2’deki 3 no.lu gösterge) birlikte hareket edip etmediği sürekli izlenir. Eğer dönme hızları arasında uyum yoksa, 4 no.lu kolun üzerindeki halka döndürülerek hız ayarlanır.
10. Örnek yenildiği anda yenilme yükü %1 duyarlılıkta göstergeden okunur ve hidrolik sistem durdurulur (Fotoğraf 2.2’deki 5 no.lu düğme). Fotoğraf 2.2’deki 4 no.lu hidrolik vanası açılarak yağ boşaltılır ve örneğin üzerine konduğu alt tabla alçaltılır, daha sonra örnek ve silindire prestan çıkarılır. Örneğin yenilme şekli de kaydedilir.
11. Deneyde kullanılacak örnek sayısı, pratik gereksinimlere bağlı olmakla birlikte, (ISRM,1981) tarafından her kayaç türünden en az 5 örneğin deneye tabi tutulması önerilmektedir.
12. Pratikte yaygın biçimde kullanılmamasına karşın, 50 mm’den farklı çapa sahip örneklerin, standart 50 mm çaptaki eşdeğer tek eksenli sıkışma dayanımı değerleri Hoek ve Brown (1980) tarafından önerilen aşağıdaki eşitlik hesaplanabilir.

$$\sigma_c = \frac{\sigma_{cd}}{(50/D)^{0.18}} \quad (2.1)$$

burada,

σ_c : 50 mm çapında bir karot için eşdeğer tek eksenli sıkışma dayanımı

σ_{cd} : D çapında bir örneğin tek eksenli sıkışma dayanımı

D: Örnek çapı

2.4 Norveç Jeoteknik Enstitüsü (NGI) Kaya Sınıflama Sistemi (Q)

Özellikle tünel destek tasarımları için kaya kütlelerinin mühendislik sınıflamalarında kullanılan bu sınıflama 1974 yılında Barton ve arkadaşları tarafından Norveç Jeoteknik Enstitüsü'nde geliştirilmiş bir sınıflamadır. Sistem birbirinden bağımsız altı adet parametreyi esas almakta olup, Q değeri aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$Q = \frac{RQD}{J_n} * \frac{J_r}{J_a} * \frac{J_w}{SRF} \quad (2.2)$$

Burada ;

- RQD : Kaya eklem göstergesi
- J_n : Eklem takım sayısı
- J_r : Eklem pürüzlülük sayısı
- J_a : Eklem alterasyon sayısı
- J_w : Eklem su azaltma faktörü
- SRF : Gerilme azaltma faktörü

Bu eşitlikte “RQD/J_n” kaya kütlelerinin yapısını ve blok boyutunu, “J_r/J_a” dolgulu veya dolgusuz süreksizlik yüzeylerinin pürüzlülük ve süreksizlik karakteristiklerini dolayısıyla makaslama dayanımını ve “J_w/SRF” etkin gerilme koşullarını temsil etmektedir. Bu sistem, mevcut tünellerden elde edilen 1000’den fazla olaya ait deneyimler esas alınarak geliştirilmiştir. Gerilme azaltma faktörü (SRF) ile ilgili olarak Grimstad ve Barton (1993) ve Barton ve Grimstad (1994) tarafından yapılan bir değişiklik dışında, Q sistemi önemli bir değişikliğe maruz kalmamıştır. SRF üzerinde yapılan değişikliği de içerecek şekilde, Q değerinin hesaplanması için kullanılan 6 parametrenin değişik koşullara göre alacağı değerler Çizelge 2.3’de verilmiştir.

Çizelge 2.2. Q Sisteminin girdi parametreleri ve değerleri (Barton vd., 1974 ve Barton, 2000'den düzenlenmiştir)

2.Eklem Takım Sayısı	J_n
A. Masif, eklem çok az veya hiç yok	0,5-1,0
B. Bir eklem takımı	2
C. Bir eklem takımı ve gelişigüzel eklemler	3
D. İki eklem takımı	4
E. İki eklem takımı ve gelişigüzel eklemler	6
F. Üç eklem takımı	9
G. Üç eklem takımı ve gelişigüzel eklemler	12
H. Dört veya daha fazla eklem takımı, gelişigüzel çok fazla sayıda, küp şeker görünümünde	15
İ. Parçalanmış kaya, toprak görünümünde	20
Not: (2) Arakesitler (kesişen tüneller) için (3,0 x J _n) kullanılır. (3) Tünel girişleri için (2,0 x J _n) kullanılır.	
3.Eklem Prüzlülük Sayısı	J_r
(a) Süreksizlik – kaya dokanağı ve (b) 10 cm'lik bir makaslamaadan önceki süreksizlik-kaya dokanağı	
A. Süreksiz eklemler	4
B. Pürüzlü ve düzensiz, dalgalı	3
C. Düz, dalgalı	2
D. Kaygan, dalgalı	1.5
E. Pürüzlü veya düzensiz, düzlemsel	1.5
F. Düz, düzlemsel	1.0
G. Kaygan, düzlemsel	0.5
Not: (4) Bu sıralamada tanımlamalar, küçük ve ara ölçekli özellikleri göstermektedir.	
H. Süreksizlik yüzeylerinin birbirine temasını önleyecek yeterli kalınlıkta kil minerali içeren zon	1.0
İ. Süreksizlik yüzeylerinin birbirine temasını önleyecek yeterli kalınlıktaki kumlu, çakıllı zon	1.0
Not: (5) İlgili eklem takımının ortalama aralığı 3 m'den büyükse J _r 'ye 1,0 eklenebilir.	

Çizelge 2.2. (Devamı)

4.Eklem Alterasyon Sayısı	Ja	Φ (yaklaşık)
(a) Kaya – süreksizlik dokanağı (mineral dolgusu yok, sadece yüzey kaplaması)		
A. Yüzeyler sıkı, sert, yumuşamayan geçirimsiz dolgu (örneğin kuvars ve epidot)	0,75	-
B. Eklem yüzeyinde değişim yok, sadece yüzey sıvaması var	1	25-30
C. Çok az değişime (bozunmaya) uğramış süreksizlik yüzeyleri. Yumuşamayan mineral kaplamaları, kum taneleri, kil içermeyen bozunmamış kaya vb.	2	20-25
D. Siltli veya kumlu kil kaplamaları, çok az ve yumuşamayan kil içeriği	3	20-25
E. Yumuşamayan veya düşük sürtünmeye sahip kil kaplama (örneğin kaolinit veya mika). Ayrıca klonit, talk, jips, grafit bd. İl az miktarda şişen killer	4	8-16
(b) 10 cm'lik makaslamadan önceki süreksizlik kaya dokanağı (ince mineral dolguları)		
F. Kum taneleri, kil içermeyen bozunmamış kaya vd.	4	25-30
G. Aşırı konsolide olmuş yumuşamayan kil minerali dolguları (sürekli, ancak kalınlığı <5 mm)	6	16-24
H. Orta ve düşük derecede aşırı konsolidasyona maruz kalmış, yumuşamayan kil mineral dolguları (sürekli ancak	8	12-16
İ. Şişen kil mineralleri – örneğin montmorillenit (sürekli ancak kalınlığı <5 mm) Ja'nın değeri şişen kil tane boyutundaki malzemenin	8-12	6-12
J, K, L. Bozunmuş veya parçalanmış kaya ve kil bantları ya da zonları (kil koşulunun tanımı için G, H ve İ'ye bakınız)	6-8 veya 8-12	6-24
M. Siltli veya kumlu kil bantları veya zonları, çok az kil (yumuşamayan)	10	6-24
N, O, P. Kalın ve sürekli kil bantları veya zonları (kil koşulunun tanımı için G, H ve İ'ye bakınız)	10-13 veya 13-20	6-24

Çizelge 2.2. (Devamı)

5.Eklem Suyu Azaltma faktörü	Yaklaşık su basıncı (kgf/cm ²)	Jw
A. Kısmi kazı ve düşük su geliri (örneğin genel olarak <5 lt/dk)	<1	1.00
B. Orta derecede su geliri veya basıncı, yer yer eklem dolgularının yıkanması	1-2.5	0,66
C. Dolgusuz eklemeler içeren sağlam kayada aşırı su geliri veya yüksek basınç	2.5-10	0.5
D. Aşırı su geliri veya yüksek basınç, eklem dolgularının ileri derecede yıkanması	2.5-10	0.33
E. Çok ileri derecede su geliri veya patlama sırasında zamanla azalan yüksek basıncı	>10	0.2-0.05
F. Zamanla azalmaksızın devam eden son derece fazla su geliri veya su basıncı	>10	0.1-0.05
Not: (8) C,D,E ve F'deki faktörler kaba tahminlerdir. Eğer drenaja yönelik önlemler alınırsa J _w artar. (9) Buz oluşumundan kaynaklanabilecek özel sorunlar dikkate alınmamıştır.		
6. Gerilme Azaltma Faktörü		SRF
(a) Tünel açılırken kaya kütlelerini gevşemesine nedenolabilecek kazıyı kesen zayıf zonlar		
A. Kil veya kimyasal olarak ayrılmış kaya içeren zayıflık zonları, çok gevşek		10
B. Kil veya kimyasal olarak ayrılmış kaya içeren tek bir zayıf zon (kazı derinliği)		5
C. Kil veya kimyasal olarak ayrılmış kaya içeren tek bir zayıf zon (kazı derinliği)		2.5
D. Kil içermeyen dayanıklı kayada birden fazla makaslama zonu, gevşek çevre		7.5
E. Kil içermeyen dayanıklı kayada tek bir makaslama zonu (kazı derinliği ≤ 50 m)		5.0
F. Kil içermeyen dayanıklı kayada tek bir makaslama zonu		2.5
G. Gevşek ve açık eklemeler, ileri derecede eklemli "küp şeker" Görünümlü (herhangi bir derinlikte)		5.0
H. Düşük gerilme, yüzeye yakın açık eklemeler		2.5
İ. Orta derecede gerilme, uygun gerilme koşulları		1

2.5 GSI (Geological Strenght Index) Sınıflaması

GSI Sınıflandırma Sistemi, RMR ve Q Kaya Sınıflandırma Sistemlerine göre daha görsel bir sistemdir. GSI için, özellikle blok büyüklüğü ve tabaka/eklem yoğunluk durumunun kaya kütlesi tanımlanmasına olan etkisi, RMR ve Q Sistemlerine göre çok daha fazladır. Bu özelliklerin sayısal olarak ortaya konması ise, özellikle kaya kütlesi ile görsel temas sağlanamadığı durumlarda, önemli yanılsamalar oluşturmaktadır. Sondaj yapılan kesimlerde, tabaka/eklem yoğunluğunun sayısal göstergesi kabul edilebilecek olan J_v (hacimsel eklem sayısı, eklem/ m^3) değeri, RQD değeri kullanılarak ampirik olarak belirlenebilmektedir. Kaya kütlesi ile görsel temasın olmadığı ve sondaj yapılamamış kesimlerde ise blok büyüklüğü ve tabaka/eklem yoğunluğunun ortaya konması tamamen tahmine dayanmakta olup, bu durumun önemli yaklaşım hatalarına yol açabileceği de açıktır. Bu çerçevede genel olarak kaya kütlesi ile göz temasının sağlanamadığı durumlarda GSI Sınıflama sisteminin direkt kullanılması uygun bulunmamaktadır. Ancak, yine de kıyaslama yapabilmek ve açıklanagelen bu durumu ortaya koyabilmek amacıyla özgün GSI sınıflaması da yapılmıştır. EK-A da (Sönmez ve Ulusay, 2002)

BÖLÜM III

ARAŞTIRMA VE BULGULAR

3.1 Çepiç Tüneli Mühendislik Özellikleri

Tünel güzergahı boyunca geçilecek olan jeolojik birimlerin, yapısal ve mühendislik özellikleriyle yeraltısuyu durumunu tespit etmek üzere 7 ayrı noktada toplam 438 metre sondaj yapılmıştır. Sondaj çalışmaları, rotary sondaj tekniği ile yapılmıştır. Yapılan sondajlara ait özet bilgiler aşağıdaki Çizelge 3.1 de verilmiştir. Sondajlardan elde edilen numunelerle yapılan deneylerin sonuçları Çizelge 3.2 de sunulmuştur.

Çizelge 3.1. Çepiç Tünel güzergahı boyunca yapılan sondaj listesi

KM Sağ Eksen	KM Sol Eksen	Sondaj No	Derinlik (m)	X (N)	Y (E)	Kot	Açıklama
0+754	58+558	GSK-1	56	414 497	4 289 461	1125,2	Giriş Kesimi
0+720	58+523	GSK-2	37	414 540	4 289 492	1106,1	Giriş Kesimi
0+882	58+684	GSK-3	80	414 382	4 289 515	1142,1	Orta Kesimi
1+047	58+850	GSK-4	112	414 236	4 289 592	1186,6	Orta Kesimi
1+196	59+000	GSK-5	31	414 081	4 289 621	1109,0	Çıkış Kesimi
1+254	59+016	GSK-6	61	414 049	4 289 682	1117,6	Çıkış Kesimi
1+213	59+056	GSK-7	61	414 127	4 289 740	1132,3	Çıkış Kesimi

Sondajlar bittikten sonra her kuyuda gerekli görülen seviyelerden numuneler alınmış ve kaya mekaniği deneylerinin yapılabilmesi adına laboratuvara nakledilmiştir.

3.2 Laboratuvar Sonuçları

Alınan karot numuneleri üzerinde elastisite modülü, tek eksenli sıkışma dayanımı, poisson oranı tayini ve birim hacim ağırlık deneyi yapılmış olup deney sonuçları aşağıda Çizelge 3.2’de sunulmuştur.

Çizelge 3.2. Çepiç Tünel güzergahı boyunca yapılan deney sonuçları

Numune No	Derinlik (m)	Birim Hacim Ağırlık (γ) (kN/m ³)	Serbest Basınç (UCS) (MPa)	Elastisite Modülü (Ei) (GPa)	Poisson Oranı (ν)	Nokta yük dayanımı
GSK-1						
CR-1	5,38-5,49	-	-	-	-	0,229
CR-2	6,86-7,00	-	-	-	-	0,297
CR-3	10,16-10,33	-	-	-	-	0,297
CR-4	12,73-12,97	-	-	-	-	0,297
CR-5	14,64-14,85	-	-	-	-	0,297
CR-6	16,24-16,37	-	-	-	-	0,297
CR-7	18,20-18,34	-	-	-	-	0,297
CR-10	23,85-24,00	22,52	8,01	-	-	-
CR-12	27,50-27,77	24,44	3,46	1	0,21	-
CR-15	30,16-30,39	-	-	-	-	0,297
CR-20	39,67-39,89	-	-	-	-	0,1
CR-23	44,30-44,50	23,21	5,01	-	-	-
CR-24	45,10-45,30	23,06	17,87	-	-	-
CR-25	46,15-46,35	24,34	60,23	-	-	-
CR-27	47,00-47,20	24,80	5,57	1,9	0,21	-
CR-28	47,70-47,90	23,67	28,76	-	-	-
CR-29	48,40-48,48	-	-	-	-	1,782
CR-30	49,35-49,50	-	-	-	-	0,297
CR-31	50,90-51,00	-	-	-	-	0,297
CR-35	52,45-52,63	55,85	15,04	-	-	-
CR-36	53,40-53,60	25,01	20,06	-	-	-
CR-37	53,87-54,00	23,10	31,82	-	-	-
CR-38	54,14-54,31	22,84	17,29	-	-	-
CR-39	55,62-55,78	24,72	32,68	-	-	-
GSK-2						
CR-2	10,28-10,51	22,82	13,2	-	-	-
CR-4	14,48-14,71	23,55	11,64	-	-	-
CR-5	16,54-16,66	-	-	-	-	0,594
CR-6	17,57-17,85	22,79	18,62	-	-	-
CR-7	18,70-18,92	24,20	18,56	-	-	-
CR-8	19,24-19,65	23,52	39,60	-	-	-

Çizelge 3.2. (Devamı)

Numune No	Derinlik (m)	Birim Hacim ağırlık (γ) (kN/m^3)	Serbest Basınç (UCS) (MPa)	Elastisite Modülü (E_i) (GPa)	Poisson Oranı (ν)	Nokta yük dayanımı
CR-10	22,60-22,87	23,10	17,70	-	-	-
CR-11	23,33-23,73	24,27	26,74	-	-	-
CR-12	24,59-24,81	23,19	15,74	-	-	-
CR-15	27,28-27,42	23,03	9,86	-	-	-
CR-16	28,40-28,50	-	-	-	-	0,297
CR-18	30,42-30,67	23,50	20,23	-	-	-
CR-19	31,31-32,00	23,78	10,72	-	-	-
CR-20	32,00-32,90	24,18	17,06	-	-	-
CR-21	33,24-33,49	24,09	23,69	-	-	-
CR-22	34,34-34,65	23,79	16,72	-	-	-
CR-23	35,17-35,61	24,06	15,39	-	-	-
CR-24	36,36-36,59	22,09	24,67	-	-	-
GSK-3						
CR-1	7,00-7,06	-	-	-	-	2,377
CR-2	8,50-8,55	-	-	-	-	0,594
CR-3	9,45-9,55	-	-	-	-	0,594
CR-4	9,60-9,71	25,10	43,11	-	-	-
CR-9	19,31-19,65	-	-	-	-	3,862
CR-10	21,37-21,51	24,58	29,45	-	-	-
CR-17	32,43-32,60	24,66	12,45	-	-	-
CR-18	33,35-33,50	-	-	-	-	0,297
CR-19	35,25-35,35	-	-	-	-	0,594
CR-21	39,70-39,90	25,38	44,67	-	-	-
CR-22	40,51-40,66	22,61	7,44	-	-	-
CR-23	43,30-43,50	26,40	25,04	6,6	0,26	-
CR-25	45,90-46,00	-	-	-	-	0,297
CR-27	47,40-47,55	-	-	-	-	0,594
CR-30	52,50-52,60	-	-	-	-	0,594
CR-32	56,80-57,05	24,10	3,81	0,	0,20	-
CR-37	62,70-62,95	24,80	7,71	2,	0,23	-
CR-45	76,10-76,15	-	-	-	-	0,297
CR-46	78,20-78,32	25,22	23,57	-	-	-

Çizelge 3.2. (Devamı)

Numune No	Derinlik (m)	Birim Hacim ağırlık (γ) (kN/m ³)	Serbest Basınc (UCS) (MPa)	Elastisite Modülü (Ei) (GPa)	Poisson Oranı (ν)	Is(50) (MPa)
<i>GSK-4</i>						
CR-1	4,45-4,50	-	-	-	-	2,674
CR-2	5,00-5,10	-	-	-	-	2,377
CR-3	6,80-6,97	24,99	54,81	-	-	-
CR-4	9,70-9,84	25,37	33,08	-	-	-
CR-5	11,15-11,22	-	-	-	-	2,080
CR-6	12,80-12,90	-	-	-	-	0,594
CR-7	16,00-16,17	25,17	34,99	-	-	-
CR-8	16,60-16,75	-	-	-	-	1,485
CR-9	19,20-19,34	25,85	21,73	-	-	-
CR-11	21,80-21,92	-	-	-	-	0,297
CR-12	23,94-24,00	24,76	40,23	-	-	-
CR-13	24,10-24,17	-	-	-	-	2,080
CR-14	26,80-26,90	-	-	-	-	1,188
CR-15	29,17-29,30	25,15	36,37	-	-	-
CR-16	30,80-30,91	-	-	-	-	1,782
CR-17	33,00-33,14	26,01	46,63	-	-	-
CR-18	33,60-33,75	-	-	-	-	0,297
CR-19	34,50-34,65	-	-	-	-	0,594
CR-20	35,50-36,65	27,02	60,52	-	-	-
CR-21	35,65-35,75	-	-	-	-	1,782
CR-22	38,65-38,76	-	-	-	-	1,188
CR-23	39,95-40,05	25,19	27,62	-	-	-
CR-24	42,50-42,63	24,99	18,27	-	-	-
CR-25	43,40-43,50	-	-	-	-	2,377
CR-26	44,70-44,88	25,29	40,46	-	-	-
CR-27	48,00-48,14	25,86	49,68	-	-	-
CR-28	49,30-49,42	-	-	-	-	1,485
CR-29	49,50-49,90	25,85	52,91	-	-	-
CR-30	50,40-50,60	25,82	35,79	-	-	-
CR-31	51,95-52,10	-	-	-	-	0,297
CR-32	54,10-54,20	-	-	-	-	0,297
CR-33	55,35-55,50	23,80	11,18	-	-	-

Çizelge 3.2. (Devamı)

Numune No	Derinlik (m)	Birim Hacim ağırlık (γ) (kN/m ³)	Serbest Basınç (UCS) (MPa)	Elastisite Modülü (Ei) (GPa)	Poisson Oranı (ν)	Nokta yük dayanımı
CR-35	57,25-57,32	-	-	-	-	1,782
CR-37	58,60-58,71	13,36	8,7	-	-	-
CR-39	61,22-61,46	-	-	-	-	2,377
CR-40	62,10-52,28	-	-	-	-	0,297
CR-41	64,30-65,56	-	-	-	-	0,297
CR-42	67,70-67,92	-	-	-	-	0,594
CR-43	69,80-70,05	-	-	-	-	2,674
CR-44	71,80-71,89	-	-	-	-	2,674
CR-45	72,80-72,91	24,41	37,0	-	-	-
CR-46	73,00-73,14	24,15	14,99	-	-	-
CR-50	79,70-79,80	-	-	-	-	2,674
CR-51	81,10-81,30	9,12	40,06	-	-	-
CR-52	81,80-82,00	25,68	69,17	-	-	-
CR-53	82,20-82,30	23,24	8,42	-	-	-
CR-55	83,25-83,55	-	-	-	-	0,594
CR-56	83,70-84,00	25,70	8,97	3,10	0,25	-
CR-57	84,20-84,45	-	-	-	-	2,080
CR-58	85,60-85,70	24,66	49,11	-	-	-
CR-59	86,75-86,95	25,34	28,30	-	-	-
CR-60	88,00-88,10	-	-	-	-	0,594
CR-61	88,85-88,95	-	-	-	-	2,674
CR-62	89,35-89,42	-	-	-	-	2,377
CR-63	89,70-89,90	23,88	42,36	-	-	-
CR-64	90,05-90,32	25,90	27,07	7,5	0,28	-
CR-65	91,60-91,72	-	-	-	-	1,782
CR-66	92,60-92,82	-	-	-	-	0,891
CR-67	94,65-94,82	25,42	34,01	-	-	-
CR-68	96,00-96,20	24,44	38,56	-	-	-
CR-69	97,05-97,15	-	-	-	-	0,891
CR-70	98,40-98,52	-	-	-	-	1,782
CR-71	98,80-99,00	-	-	-	-	0,297

Çizelge 3.2. (Devamı)

Numune No	Derinlik (m)	Birim Hacim ağırlık (γ) (kN/m ³)	Serbest Basınç (UCS) (MPa)	Elastisite Modülü (Ei) (GPa)	Poisson Oranı (ν)	Nokta yük dayanımı
CR-85	109,20-109,50	24,69	14,06	-	-	-
CR-86	110,60-110,80	24,23	42,25	-	-	-
CR-87	111,30-111,60	24,32	37,29	-	-	-
GSK-5						
CR-1	0,90-1,00	-	-	-	-	2,377
CR-3	3,60-3,85	22,65	37,98	-	-	-
CR-5	6,50-6,80	-	-	-	-	0,594
CR-6	7,55-7,70	-	-	-	-	0,297
CR-7	9,00-9,07	-	-	-	-	1,188
CR-8	10,40-10,51	-	-	-	-	2,377
CR-9	11,00-11,14	25,18	34,47	-	-	-
CR-10	13,05-13,20	-	-	-	-	0,297
CR-11	13,70-13,82	-	-	-	-	1,485
CR-12	14,55-14,70	25,27	56,6	-	-	-
CR-13	15,43-15,64	-	-	-	-	0,297
CR-14	16,35-16,51	26,01	32,91	-	-	-
CR-15	17,05-17,15	-	-	-	-	0,594
CR-16	18,30-18,39	-	-	-	-	0,297
CR-17	19,00-19,15	25,26	46,92	-	-	-
CR-18	19,60-19,72	-	-	-	-	2,09
CR-19	21,90-22,10	25,24	62,94	-	-	-
CR-20	22,15-22,33	24,43	35,68	-	-	-
CR-21	23,00-23,22	-	-	-	-	0,297
CR-22	23,70-23,76	-	-	-	-	2,080
CR-23	24,10-24,25	25,95	50,89	-	-	-
CR-24	24,90-25,00	-	-	-	-	-
CR-25	25,30-25,36	-	-	-	-	0,297
CR-26	25,80-25,95	24,00	30,15	-	-	-
CR-27	26,50-26,74	-	-	-	-	0,297
CR-28	28,60-28,71	-	-	-	-	2,377
CR-29	29,30-29,42	-	-	-	-	2,377

Çizelge 3.2. (Devamı)

Numune No	Derinlik (m)	Birim Hacim ağırlık (γ) (kN/m^3)	Serbest Basınç (UCS) (MPa)	Elastisite Modülü (Ei) (GPa)	Poisson Oranı (ν)	Nokta yük dayanımı
GSK-6						
CR-1	5,10-5,20	-	-	-	-	2,08
CR-2	6,86-6,90	-	-	-	-	0,891
CR-3	8,00-8,05	-	-	-	-	1,485
CR-4	9,00-9,05	-	-	-	-	0,297
CR-5	11,00-11,05	-	-	-	-	1,485
CR-6	13,00-13,13	23,42	43,17	-	-	-
CR-7	14,50-14,65	25,00	8,69	2,5	0,20	-
CR-8	15,17-15,37	24,78	25,36	-	-	-
CR-9	16,20-16,33	22,63	38,79	-	-	-
CR-10	17,70-17,85	24,18	30,66	-	-	-
CR-11	18,60-18,71	-	-	-	-	1,782
CR-12	19,45-19,56	24,24	36,37	-	-	-
CR-13	20,50-20,65	23,66	28,47	-	-	-
CR-14	21,00-21,35	24,13	19,54	-	-	-
CR-15	22,40-22,47	-	-	-	-	0,594
CR-16	23,00-23,20	23,80	3,8	1,	0,17	-
CR-17	24,38-24,60	-	-	-	-	0,594
CR-18	26,50-26,60	23,64	35,91	-	-	-
CR-19	26,60-26,70	-	-	-	-	2,08
CR-20	28,25-28,37	24,02	26,57	-	-	-
CR-21	29,13-29,25	22,91	40	-	-	-
CR-22	23,00-23,20	25,10	6,8	2,	0,21	-
CR-23	30,65-30,77	24,84	16,66	-	-	-
CR-24	31,45-31,55	-	-	-	-	1,485
CR-25	32,40-32,63	-	-	-	-	0,297
CR-26	33,30-33,40	-	-	-	-	0,891
CR-27	34,70-34,84	23,82	36,14	-	-	-
CR-28	36,50-36,65	-	-	-	-	0,891
CR-29	37,70-37,85	24,13	35,45	-	-	-
CR-30	38,50-38,64	-	-	-	-	0,891

Çizelge 3.2. (Devamı)

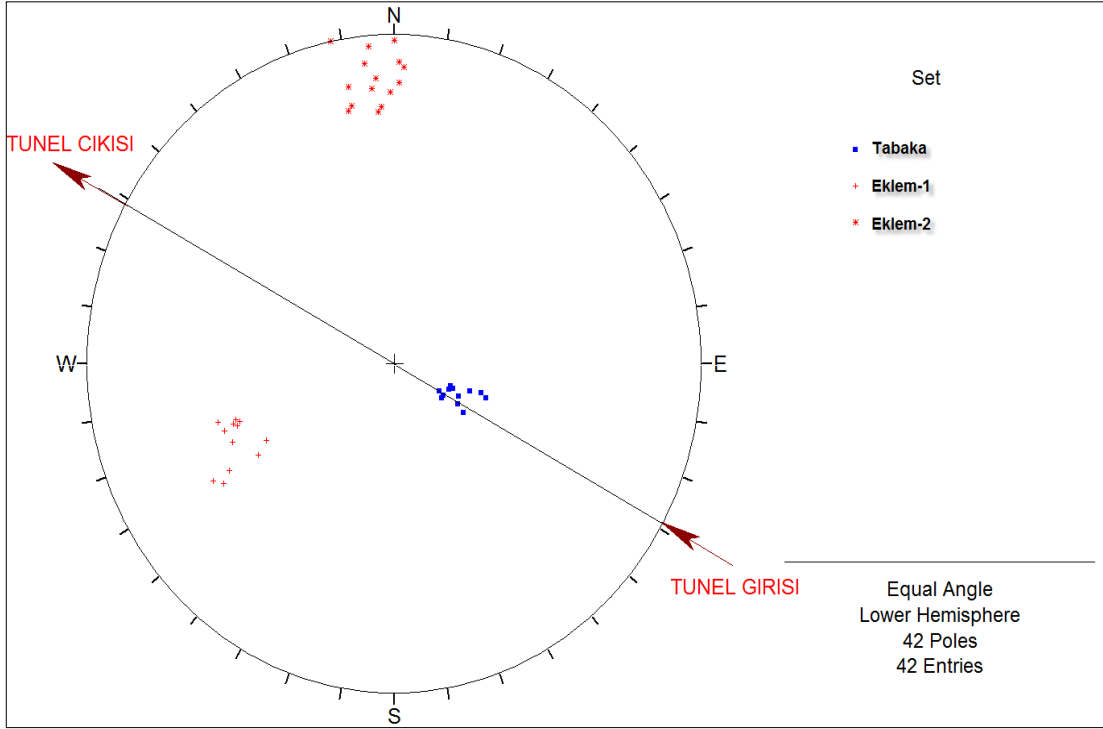
Numune No	Derinlik (m)	Birim Hacim ağırlık (γ) (kN/m^3)	Serbest Basınç (UCS) (MPa)	Elastisite Modülü (E_i) (GPa)	Poisson Oranı (ν)	Nokta yük dayanımı
CR-35	43,55-43,75	-	-	-	-	1,782
CR-36	44,15-44,40	22,76	18,62	-	-	-
CR-37	44,80-44,89	-	-	-	-	0,297
CR-38	47,00-47,50	25,04	21,85	-	-	-
CR-39	47,90-47,97	-	-	-	-	2,674
CR-40	51,15-51,20	-	-	-	-	1,188
CR-41	53,40-53,55	-	-	-	-	1,485
CR-42	55,15-55,25	-	-	-	-	2,080
CR-43	55,77-55,94	24,93	26,23	-	-	-
CR-45	57,45-57,60	24,39	25,42	-	-	-
CR-47	59,30-59,45	24,77	22,19	-	-	-
CR-48	60,80-60,94	24,46	37,58	-	-	-
GSK-7						
CR-1	1,70-1,85	-	-	-	-	0,297
CR-2	3,00-3,20	-	-	-	-	0,891
CR-3	5,00-5,30	22,23	28,70	-	-	-
CR-4	6,70-6,85	-	-	-	-	0,297
CR-5	7,15-7,55	22,88	27,21	-	-	-
CR-6	8,40-8,57	24,09	35,45	-	-	-
CR-7	9,45-9,56	-	-	-	-	0,297
CR-8	11,84-12,00	23,16	51,99	-	-	-
CR-9	12,55-12,65	-	-	-	-	3,268
CR-10	13,60-13,73	-	-	-	-	1,782
CR-11	14,40-14,57	24,60	31,64	-	-	-
CR-12	15,60-15,70	-	-	-	-	0,891
CR-13	16,20-16,43	23,19	26,69	-	-	-
CR-14	18,00-18,19	-	-	-	-	2,377
CR-15	19,10-19,22	-	-	-	-	0,891
CR-16	20,00-20,11	23,94	24,50	-	-	-
CR-17	21,10-21,23	23,36	24,96	-	-	-
CR-19	24,70-24,80	-	-	-	-	1,485

Çizelge 3.2. (Devamı)

Numune No	Derinlik (m)	Birim Hacim ağırlık (γ) (kN/m ³)	Serbest Basınç (UCS) (MPa)	Elastisite Modülü (Ei) (GPa)	Poisson Oranı (ν)	Nokta yük dayanımı
CR-23	28,50-28,87	23,96	53,66	-	-	-
CR-24	30,00-30,12	-	-	-	-	1,782
CR-25	31,40-31,51	-	-	-	-	1,782
CR-26	32,30-32,47	24,93	33,32	-	-	-
CR-27	33,15-33,35	23,95	47,61	-	-	-
CR-28	34,05-34,33	24,55	18,56	-	-	-
CR-29	35,50-36,64	-	-	-	-	2,377
CR-30	36,55-36,70	24,08	53,09	-	-	-
CR-31	37,40-37,55	-	-	-	-	2,377
CR-32	38,30-38,50	24,08	28,24	-	-	-
CR-33	39,25-39,75	24,67	79,20	-	-	-
CR-34	40,31-40,45	24,60	46,11	-	-	-
CR-35	41,15-41,30	24,74	21,67	-	-	-
CR-36	42,00-42,27	25,35	51,87	-	-	-
CR-37	43,00-43,20	23,51	69,40	-	-	-
CR-38	44,00-44,11	-	-	-	-	1,88
CR-39	45,13-45,28	-	28,76	-	-	-
CR-41	46,85-47,00	24,04	20,98	-	-	-
CR-42	47,00-47,15	24,59	38,45	-	-	-
CR-43	47,70-47,85	24,51	-	-	-	2,08
CR-44	48,70-48,80	-	-	-	-	0,891
CR-45	49,00-49,21	-	18,04	-	-	-
CR-46	49,70-49,90	22,87	-	-	-	1,485
CR-48	55,60-55,75	24,17	45,49	-	-	-
CR-49	56,40-56,80	25,29	32,45	-	-	-
CR-50	56,80-57,00	24,31	14,79	-	-	-
CR-51	58,35-58,50	-	-	-	-	1,485
CR-52	60,10-60,24	-	-	-	-	0,594
CR-53	61,15-61,32	24,43	35,22	-	-	-

3.3 Tünel İçi Hakim Eklem Takımlarının Duruşları

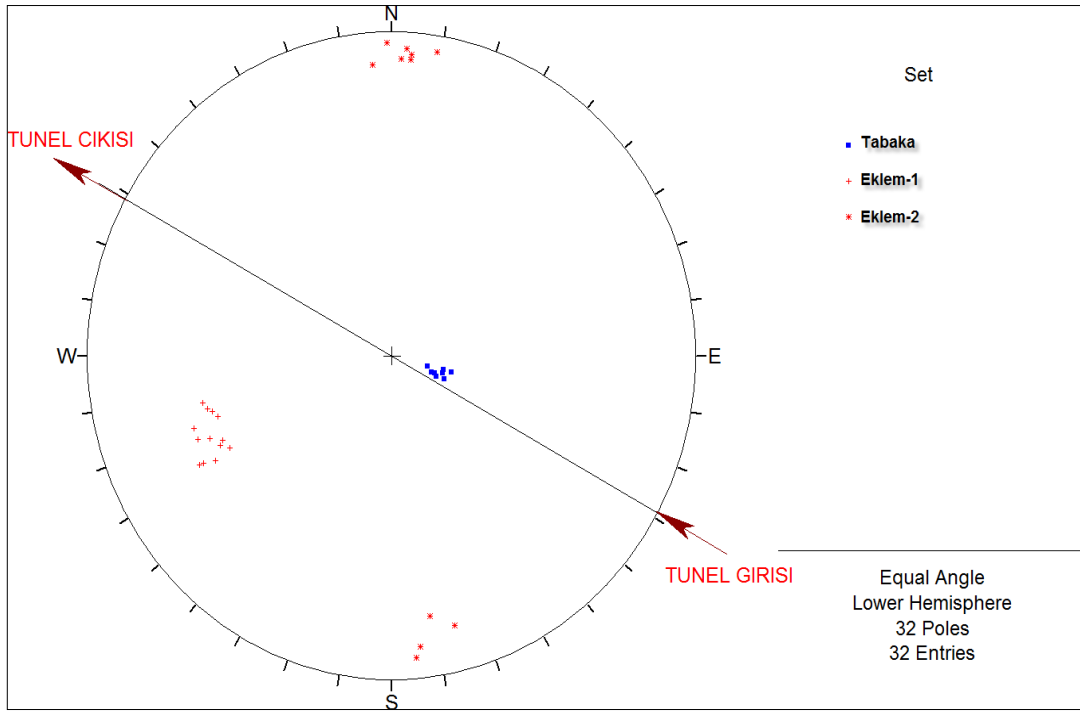
3.3.1 Giriş kesimi



Şekil 3.1. Giriş kesimi süreksizlik özellikleri

Tabakalanmanın genel yönelimi $24^{\circ}/292^{\circ}$ olup dar – yakın aralıklıdır. Tabakalanma dışında belirgin bir biçimde $81^{\circ}/175^{\circ}$ ve $59^{\circ}/067^{\circ}$ yönelimlerine sahip olan 2 adet eklem seti görülmüştür. Sondajlardan alınan numuneler üzerinde yapılan deney sonuçlarına göre birime ait tek eksenli sıkışma dayanımının 4-60 MPa, elastisite modülünün 1-2 GPa, poisson oranının 0,21, birim hacim ağırlığı ise $22-25 \text{ kN/m}^3$ arasında değişim gösterdiği gözlenmiştir.

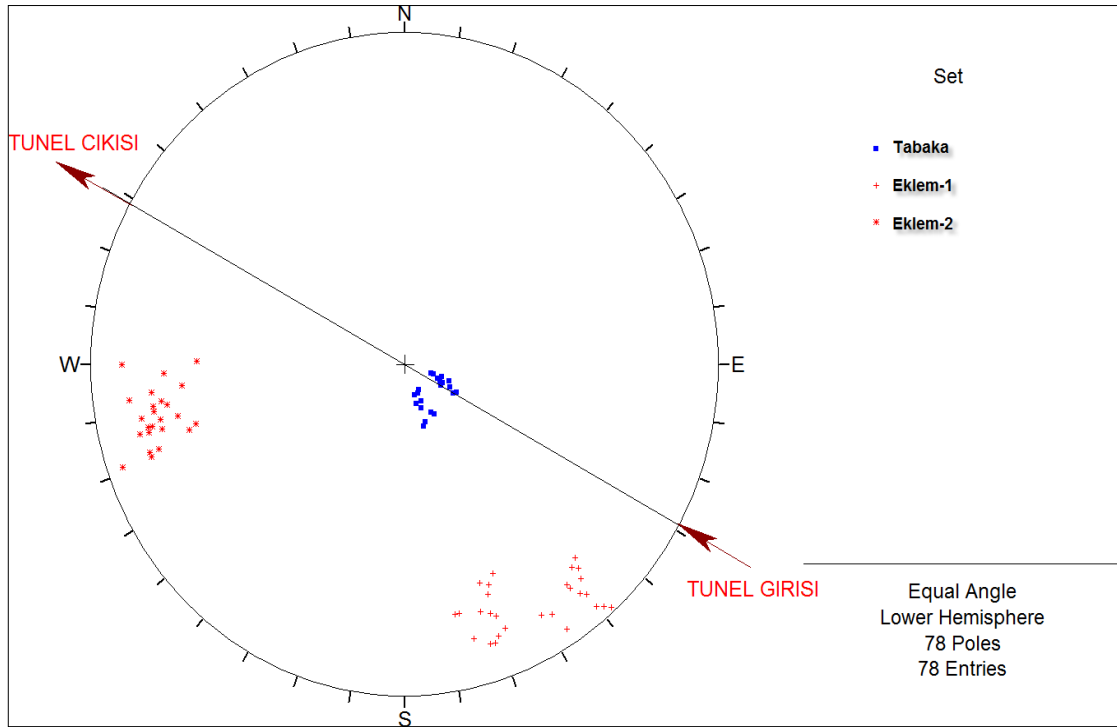
3.3.2 Orta kesim



Şekil 3.2. Orta kesim süreksizlik özellikleri

Tabakalanmanın genel yönelimi $18^{\circ}/291^{\circ}$ olup dar – yakın aralıklıdır. Tabakalanma dışında belirgin bir biçimde $64^{\circ}/067^{\circ}$ ve $85^{\circ}/181^{\circ}$ yönelimlerine sahip olan 2 adet eklem seti görülmüştür. Sondajlardan alınan numuneler üzerinde yapılan deney sonuçlarına göre birime ait tek eksenli sıkışma dayanımının 4-70 MPa, elastisite modülünün 0.8-7.5 GPa, poisson oranının 0,20-0.28, birim hacim ağırlığı ise 24-27 kN/m^3 arasında değişim gösterdiği gözlenmiştir.

3.3.3 Çıkış kesimi



Şekil 3.3. çıkış kesimi süreksizlik özellikleri

Tabakalanmanın genel yönelimi $13^{\circ}/307^{\circ}$ olup dar – yakın aralıklıdır. Tabakalanma dışında belirgin bir biçimde $77^{\circ}/077^{\circ}$ ve $81^{\circ}/330^{\circ}$ yönelimlerine sahip olan 2 adet eklem seti görülmüştür. Sondajlardan alınan numuneler üzerinde yapılan deney sonuçlarına göre birime ait tek eksenli sıkışma dayanımının 4-62 MPa, elastisite modülünün 1.3-2.5 GPa, poisson oranının 0.17-0.21, birim hacim ağırlığı ise 22-26 kN/m^3 arasında değişim gösterdiği gözlenmiştir.

3.4 Tünel İçi Süreksizlik Verileri

Yapılan arazi çalışmaları ve literatür araştırmaları sonucunda Çepiç Tüneli'nin tamamının Hekimhan Formasyonu içerisinde açılacağı görülmüştür. Formasyon, yanal ve düşey yönde düzenli bir istifleme gösterir. Tabanda konglomera ve kumtaşı ile başlayan birim üste doğru kumtaşı-marn-kireçtaşı ardalanmasına geçer. Altta

genellikle merceksi kireçtaşı, üstte killi kireçtaşı yer alır.

Kumtaşları çoğunlukla marn ve kireçtaşları ile ardalanmalıdır ve inceleme alanı çevresinde büyük bir alan kaplamaktadır. Kumtaşları ince kumdan çok iri kuma dek değişen boyutta sediman içerirler. Matriks silt ve kil boyu gereç, çimento ise karbonattan oluşmuştur. İstifin alt düzeylerinden alınan örneklerde kuvars oranı oldukça azdır. Hekimhan Formasyonunun büyük bir bölümünü kumtaşı-marn-kireçtaşı ardalanmasının oluşturduğu Karatepe Üyesi olarak ayırtılan istif oluşturmaktadır. İstifin tabanında kumtaşları, tavanında ise killi kireçtaşları bulunmaktadır.

Arazide birimler detaylı olarak incelenmiş olup yapılan incelemelerde tünel giriş kesiminin Hekimhan Formasyonu'nun kıltaşı - marn seviyelerinden, çıkış kesiminin ise kumtaşı - silttaşı yoğun seviyelerinden oluştuğu gözlenmiştir.

3.4.1 Giriş kesimi

Çepiç Tüneli giriş kesiminde yapılan arazi gözlemleri neticesinde bu kesimin Hekimhan Formasyonu'nun kıltaşı - marn yoğun seviyelerinden oluştuğu gözlenmiştir. Birim mostralarda her ne kadar kahverengi - kahvemsî yeşil bir renkte görünse de taze yüzeyleri genel olarak gri - koyu gri ve mavimsî gri renktedir (Fotoğraf 3.1). Kaya kütlesi genel olarak çok zayıf dayanımlı (R1), ileri derecede ayrılmış (W5) olup litolojisi gereği bazı özel koşullara sahiptir.

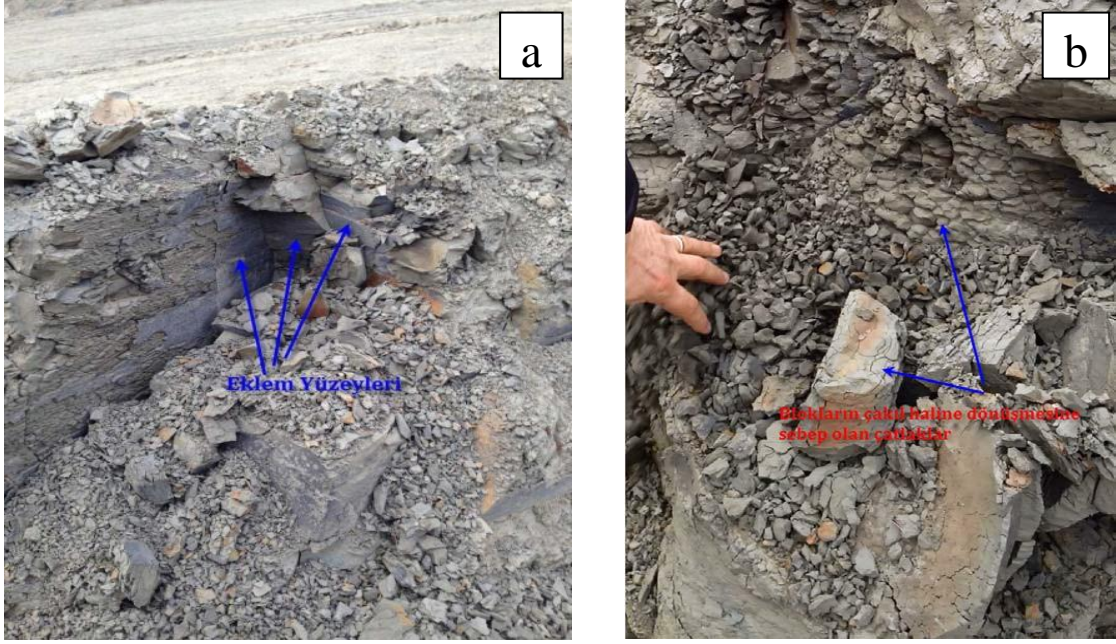
Birim taze yüzeylerinde jeolog çekicinin tek ve sert bir darbesiyle kırılabilirken mevcut kazılarda yapılan gözlemlerde atmosferle etkisi sonucunda oldukça farklı özellikler kazandığı görülmüştür.



Fotoğraf 3.1. Çepiç Tüneli giriş kesiminde yüzeylenen birimlerin genel görünümü

Birimin üzerindeki yükün kalkması, hava, su vb. ile teması neticesinde süreksizlik yüzeyleri boyunca bloklar halinde ayrılabilirdiği ve blokların serbest bloklar haline geldiği görülmektedir (Fotoğraf 3.2a). Ayrıca süreksizlik yüzeyleri boyunca oluşan serbest bloklar konkav şekilde parçalara ayrılarak adeta çakıl durumuna gelmektedir (Fotoğraf 3.2b).

Birim için çok önemli bir şekilde olumsuzluk oluşturabilecek bir durum ise su ile temasıdır. Birim su ile teması neticesinde çok kolay bir şekilde yüksek plastisiteli kile dönüşebilmekte olup nitekim mevcut eklem yüzeylerinde de bu kile rastlanmıştır. Gerek yüzey sularının gerekse yeraltı sularının süreksizlik yüzeyleri boyunca rahat iletilmesi neticesinde bu tür killer özellikle süreksizlik yüzeyleri boyunca oluşmakta ve ciddi stabilite problemleri yaratmaktadır.



Fotoğraf 3.2. (a) Serbest blok oluşumunda etkili süreksizlik yüzeyleri **(b)** Çakıl boyutunda parçalanmış blok

3.4.1.1 Tabakalanma

Çepiç Tüneli'nin giriş kesiminde yapılan süreksizlik ölçümleri neticesinde tabakalanmanın genel yöneliminin $24^{\circ}/292^{\circ}$ olup dar – yakın aralıklı, orta açıklıkta, yüksek devamlılıkta, düzlemsel düz, kil dolgulu, kuru ve ayrılmış özellikte olduğu görülmektedir.

3.4.1.2 Eklemler

Tabakalanma dışında belirgin bir biçimde $81^{\circ}/175^{\circ}$ ve $59^{\circ}/067^{\circ}$ yönelimlerine sahip olan 2 adet eklem seti görülmüştür. Eklemler genel olarak çok dar – dar, yakın aralıklı, orta – geniş açıklıkta, yüksek devamlılıkta, düzlemsel düz, kil dolgulu, kuru ve tamamen ayrılmış özellikte olduğu görülmektedir.

Alınan ölçülere ait ayrıntılı bilgiler Çizelge 3.3'de sunulmuştur.



Fotoğraf 3.3. Çepiç Tüneli girişinin genel görünümü

Çizelge 3.3. Çepiç Tünel'i giriş kesimi süreksizlik özellikleri (ISRM,2007)

Tür	Eğim	Eğim Yönü	Aralık	Açıklık	Devamlılık	Pürüzlülük	Dolgu Türü	Su Durumu	Ayrışma	Litoloji	
T	26	295	2-3	5	4	C	2	3	1	5	Kiltaşı – Marn
T	22	290	2-3	5	4	C	2	3	1	5	Kiltaşı – Marn
T	23	291	2-3	5	4	C	2	3	1	5	Kiltaşı – Marn
T	21	303	2-3	5	4	C	2	3	1	5	Kiltaşı – Marn
T	29	288	2-3	5	4	C	2	3	1	5	Kiltaşı – Marn
T	33	287	2-3	5	4	C	2	3	1	5	Kiltaşı – Marn
T	35	289	2-3	5	4	C	2	3	1	5	Kiltaşı – Marn
T	27	300	2-3	5	4	C	2	3	1	5	Kiltaşı – Marn
T	21	301	2-3	5	4	C	2	3	1	5	Kiltaşı – Marn
T	30	303	2-3	5	4	C	2	3	1	5	Kiltaşı – Marn
T	19	299	2-3	5	4	C	2	3	1	5	Kiltaşı – Marn
T	22	293	2-3	5	4	C	2	3	1	5	Kiltaşı – Marn
E	82	176	2-3	5-6	4	C	2	3	1	5	Kiltaşı – Marn
E	80	175	2-3	5-6	4	C	2	3	1	5	Kiltaşı – Marn
E	77	170	2-3	5-6	4	C	2	3	1	5	Kiltaşı – Marn
E	79	179	2-3	5-6	4	C	2	3	1	5	Kiltaşı – Marn
E	76	169	2-3	5-6	4	C	2	3	1	5	Kiltaşı – Marn
E	90	168	2-3	5-6	4	C	2	3	1	5	Kiltaşı – Marn
E	85	181	2-3	5-6	4	C	2	3	1	5	Kiltaşı – Marn
E	88	175	2-3	5-6	4	C	2	3	1	5	Kiltaşı – Marn
E	85	174	2-3	5-6	4	C	2	3	1	5	Kiltaşı – Marn

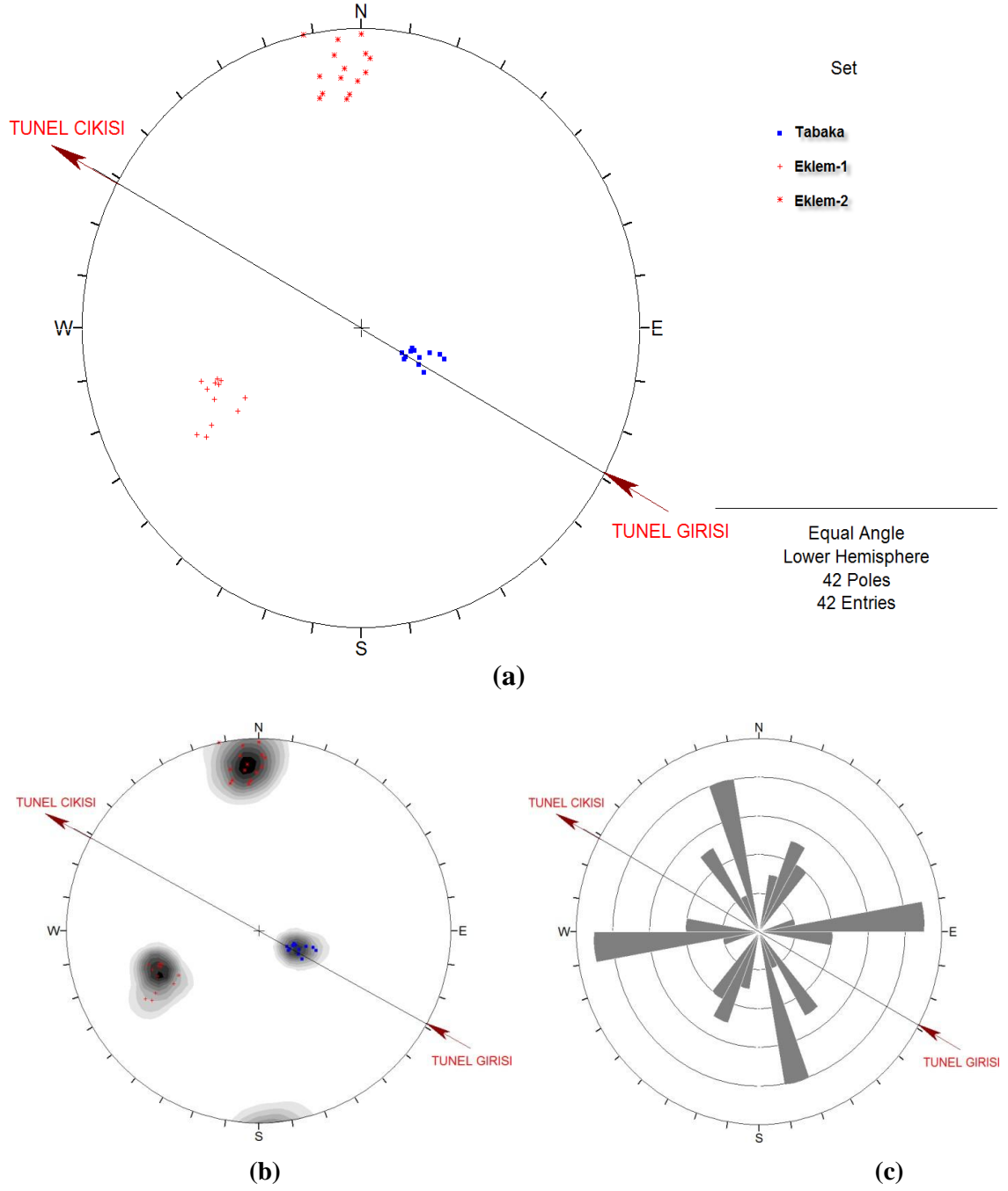
Çizelge 3.3. (Devamı)

E	81	170	2-3	5-6	4	C	2	3	1	5	Kiltaşı – Marn
E	81	181	2-3	5-6	4	C	2	3	1	5	Kiltaşı – Marn
E	84	182	2-3	5-6	4	C	2	3	1	5	Kiltaşı – Marn
E	89	180	2-3	5-6	4	C	2	3	1	5	Kiltaşı – Marn
E	76	177	2-3	5-6	4	C	2	3	1	5	Kiltaşı – Marn
E	75	176	2-3	5-6	4	C	2	3	1	5	Kiltaşı – Marn
E	60	66	1-2	5	4	C	2	3	1	5	Kiltaşı – Marn
E	61	70	1-2	5	4	C	2	3	1	5	Kiltaşı – Marn
E	69	59	1-2	5	4	C	2	3	1	5	Kiltaşı – Marn
E	55	58	1-2	5	4	C	2	3	1	5	Kiltaşı – Marn
E	51	61	1-2	5	4	C	2	3	1	5	Kiltaşı – Marn
E	56	71	1-2	5	4	C	2	3	1	5	Kiltaşı – Marn
E	57	72	1-2	5	4	C	2	3	1	5	Kiltaşı – Marn
E	61	70	1-2	5	4	C	2	3	1	5	Kiltaşı – Marn
E	64	59	1-2	5	4	C	2	3	1	5	Kiltaşı – Marn
E	67	57	1-2	5	4	C	2	3	1	5	Kiltaşı – Marn
E	62	73	2-3	5	4	C	2	3	1	5	Kiltaşı – Marn
E	57	72	2-3	5	4	C	2	3	1	5	Kiltaşı – Marn

<u>TÜR</u>	<u>PÜRÜZLÜLÜK</u>	<u>DOLGU TÜRÜ</u>	<u>ARALIK</u>	<u>MM</u>
1 FAY ZONU	A-BASAMAKLI	1 DOLGUSUZ	1 ÇOK DAR	< 20
2 FAY	B-DALGALI	2 YÜZEYSEL	2 DAR	20-60
3 EKLEM	C-DÜZLEMSEL	SIVAMA	3 YAKIN	60-200
4 KLİVAJ		3 KİL	4 ORTA	600-2000
5 ŞİSTOZİTE		4 BREŞ	5 GENİŞ	2000-6000
6 MAKASLAMA		5 MİNERAL	6 ÇOK GENİŞ	> 6000
7 ÇATLAK		6 ÇİMENTOLAŞMA	7 İLERİ DERECEDE	
8 TABAKA		7 KLORİT, TALK, JİPS	GENİŞ	

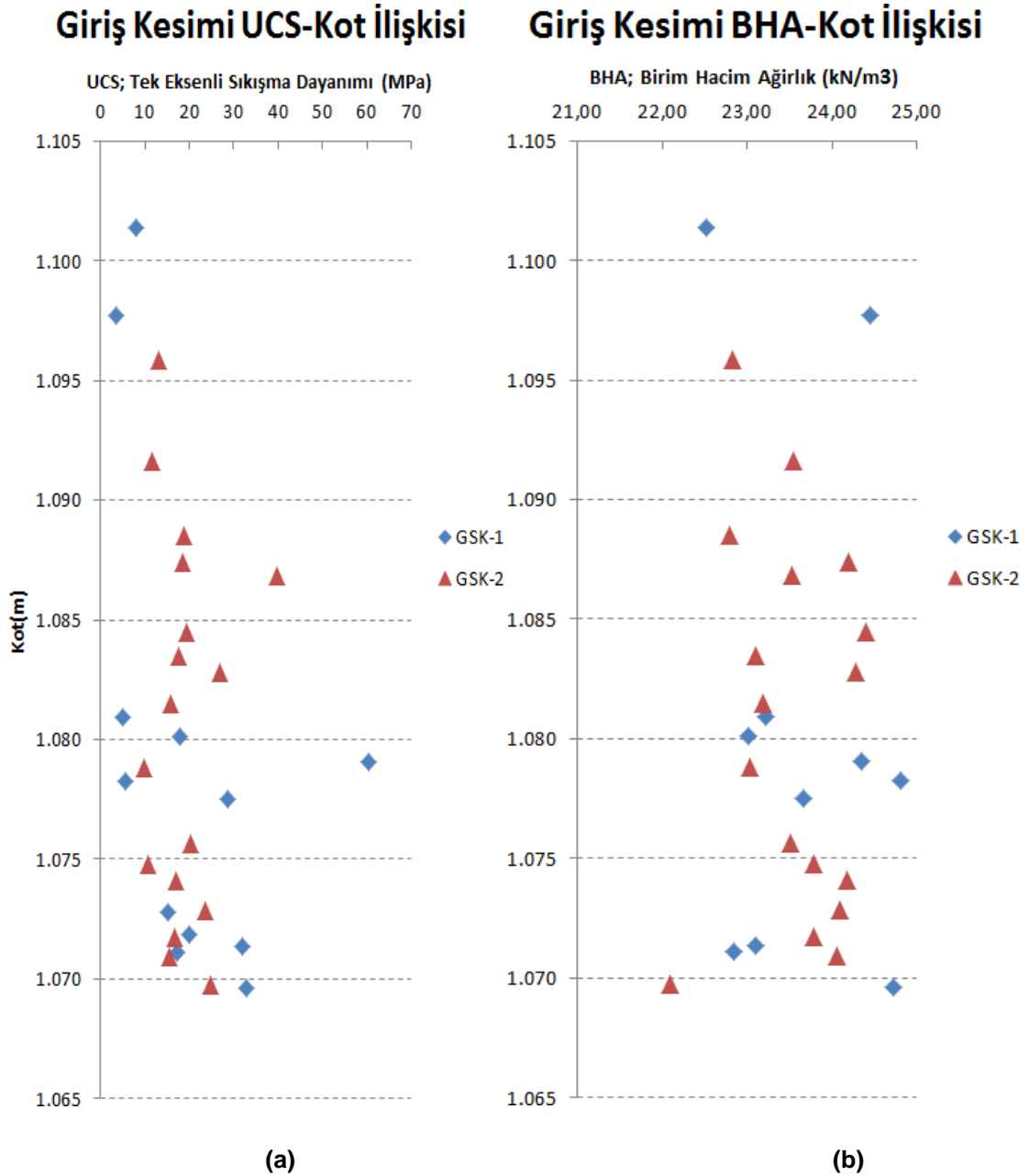
<u>DEVAMLILIK</u>	<u>M</u>	<u>SU DURUMU</u>	<u>AYRIŞMA</u>	<u>AÇIKLIK</u>	<u>MM</u>
1 ÇOK DÜŞÜK	< 1	1 KURU	1 TAZE	1 ÇOK SIKI	< 0.1
2 DÜŞÜK	1-3	2 NEMLİ	2 AZ AYRIŞMIŞ	2 SIKI	0.1 - 0.25
3 ORTA	3-10	3 ISLAK	3 ORTA	3 KISMEN AÇIK	0.25- 0.5
4 YÜKSEK	10-20	4 SIZINTI	DERECEDE	4 AÇIK	0.5- 2.5
5 ÇOK YÜKSEK	> 20	5 AKIŞ	AYRIŞMIŞ	5 ORTA GENİŞ	2.5- 10
			AYRIŞMIŞ	6 GENİŞ	> 10
			5 TAMAMEN	7 ÇOK GENİŞ	10-100
			AYRIŞMIŞ	8 AŞIRI GENİŞ	100-1000
			6 ARTIK ZEMİN	9 BOŞLUKLU	>1000

Yukarıda yapılan ölçümlere ait kontur ve gül diyagramları oluşturularak Şekil 3.4'de sunulmuştur.



Şekil 3.4. Giriş kesimi süreksizlik özellikleri (a) süreksizlik tipleri (b) kontur diyagramı (c) gül diyagramı

Yapılan sondajlardan GSK-1 ve GSK-2 sondajı Çepiç Tüneli'nin giriş kesimini temsil etmektedir. Bu sondajlardan alınan numuneler üzerinde pek çok deney yapılmış olup deney sonuçlarına göre birime ait *Tek Eksenli Sıkışma Dayanımının 4-60 MPa, Elastisite Modülünün 1-2 GPa, Poisson Oranının 0,21, Birim Hacim Ağırlığı ise 22-25 kN/m³* arasında değişim gösterdiği gözlenmiştir.



Şekil 3.5. Deney sonuçlarının tünel kotuna göre dağılımları (a) Tek Eksenli Sıkışma Dayanımı (b) Birim Hacim Ağırlık

Şekil 3.5’de görülen yoğunlaşmalar dikkate alındığında giriş kesiminde birimin Tek Eksenli Sıkışma Dayanımı **12,50 MPa**, Birim Hacim Ağırlığı ise **24 kN/m³** olarak kabul edilebilir.

3.4.2 Orta kesim

Tünelin orta kesiminde yapılan incelemeler, literatür bilgileri, sondaj çalışmaları göz önüne alındığında bu kesimin Hekimhan Formasyonu'ndan oluştuğu görülmektedir. Önceki bölümlerde bahsedildiği üzere tünelin giriş kesiminin kıltaşı - marn yoğun, çıkış kesiminin ise kumtaşı - silttaşı yoğun seviyelerden oluştuğu bilinmektedir.

Giriş ve çıkış portallarında tabaka eğim - eğim yönlerinin büyük farklılık göstermediği formasyonda tünelin orta kesiminde büyük ölçekte bir fay, kıvrımlanma vb. bir yapı beklenmemekle birlikte arazi çalışmalarında da böyle bir yapı ile karşılaşılmasıdır.

Tüm bunlar göz önüne alındığında giriş ve çıkış arasında tedrici bir geçiş olduğu düşünülmekte olup orta kesimlerde yer yer kumtaşı - silttaşı, yer yer kıltaşı - marn hakim seviyeler geçileceği öngörülmektedir.

Hekimhan Formasyonu'nun genel özellikleri dikkate alındığında orta kesimde de zayıf-dayanımlı (R2-R3-R4), az – orta – çok ayrıışmış (W2-W3-W4) bir kaya kütlesi ile karşılaşılacağı düşünülmektedir.

3.4.2.1 Tabakalanma

Çepiç Tüneli'nin orta kesiminde yapılan süreksizlik ölçümleri neticesinde tabakalanmanın genel yöneliminin $18^{\circ}/291^{\circ}$ olup, dar – yakın aralıklı, açık, yüksek devamlılıkta, düzlemsel düz, kil dolgulu, kuru ve tamamen ayrıışmış özelliktedir.

3.4.2.2 Eklemler

Tabakalanma dışında belirgin bir biçimde $64^{\circ}/067^{\circ}$ ve $85^{\circ}/181^{\circ}$ yönelimlerine sahip olan 2 adet eklem seti görülmüştür. Eklemler genel olarak çok dar – dar yer yer yakın– orta aralıklı, açık – orta – geniş açıklıkta, yüksek devamlılıkta düzlemsel düz, kil dolgulu, kuru ve tamamen ayrıışmış özelliktedir. Alınan ölçülere ait ayrıntılı bilgiler, Çizelge 3.4'de sunulmuştur

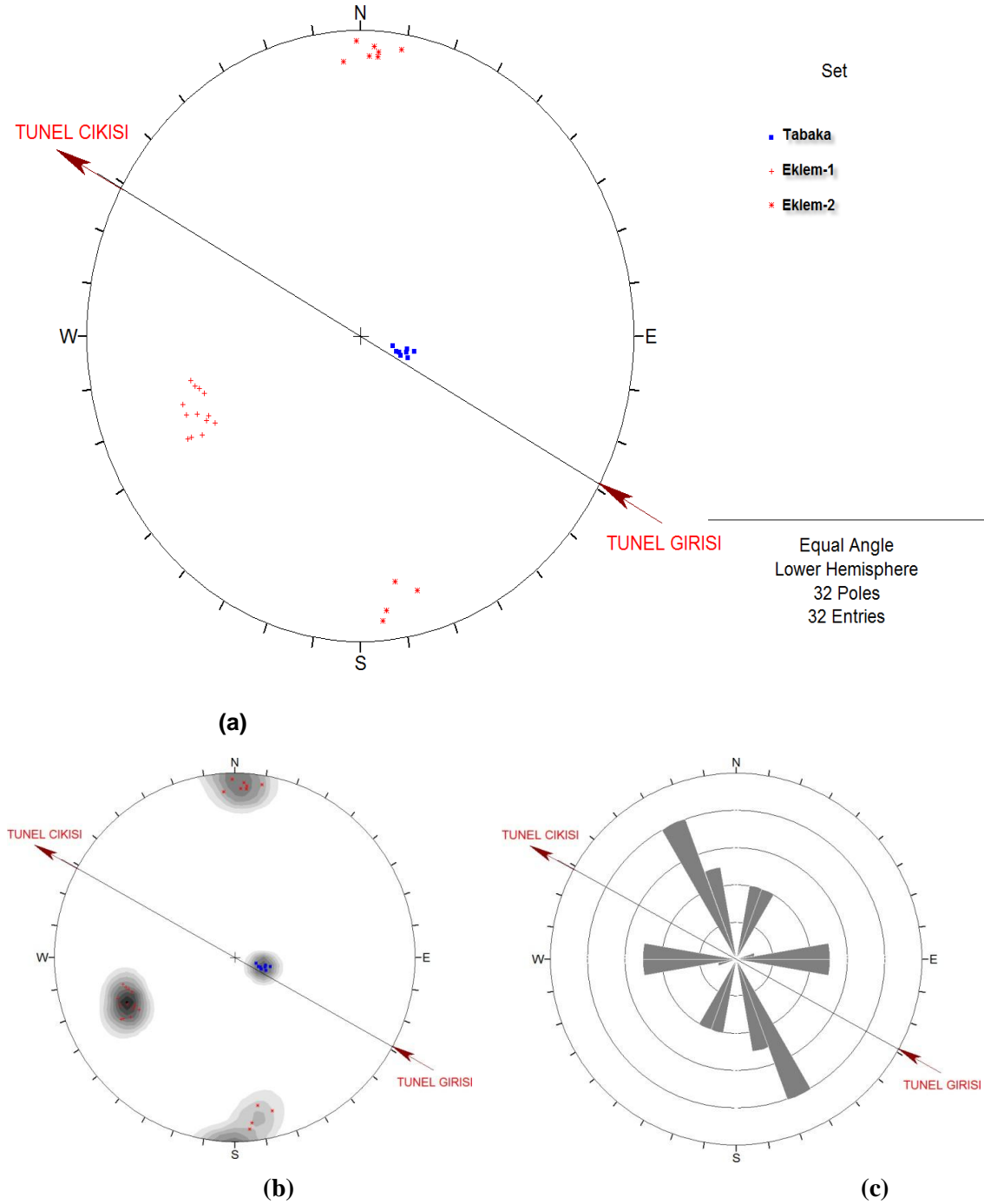
Çizelge 3.4. Çepiç Tüneli orta kesim süreksizlik özellikleri (ISRM,2007)

Tür	Eğim	Eğim Yönü	Aralık	Açıklık	Devamlılık	Pürüzlülük	Dolgu Türü	Su Durumu	Ayrışma	Litoloji	
T	20	284	2-3	4	4	C	2	3	1	5	Klt.-Slt.-Kmt.
T	21	292	2-3	4	4	C	2	3	1	5	Klt.-Slt.-Kmt.
T	14	285	2-3	4	4	C	2	3	1	5	Klt.-Slt.-Marn
T	18	293	2-3	4	4	C	2	3	1	5	Klt.-Slt.-Kmt.
T	23	284	2-3	4	4	C	2	3	1	5	Klt.-Slt.-Kmt.
T	17	290	2-3	4	4	C	2	3	1	5	Klt.-Slt.-Kmt.
T	20	287	2-3	4	4	C	2	3	1	5	Klt.-Slt.-Marn
T	16	291	2-3	4	4	C	2	3	1	5	Klt.-Slt.-Kmt.
E	87	183	1-2	4-5	4	C	2	3	1	5	Klt.-Slt.-Kmt.
E	84	354	1-2	4-5	4	C	2	3	1	5	Klt.-Slt.-Kmt.
E	86	355	1-2	4-5	4	C	2	3	1	5	Klt.-Slt.-Kmt.
E	81	346	1-2	4-5	4	C	2	3	1	5	Klt.-Slt.-Kmt.
E	78	351	1-2	4-5	4	C	2	3	1	5	Klt.-Slt.-Marn
E	88	179	1-2	4-5	4	C	2	3	1	5	Klt.-Slt.-Kmt.
E	84	176	1-2	4-5	4	C	2	3	1	5	Klt.-Slt.-Marn
E	86	184	1-2	4-5	4	C	2	3	1	5	Klt.-Slt.-Kmt.
E	85	182	1-2	4-5	4	C	2	3	1	5	Klt.-Slt.-Kmt.
E	87	189	1-2	4-5	4	C	2	3	1	5	Klt.-Slt.-Kmt.
E	85	184	3-4	4-5	4	C	2	3	1	5	Klt.-Slt.-Kmt.
E	63	74	3-4	4-5	4	C	2	3	1	5	Klt.-Slt.-Marn
E	69	68	3-4	4-5	4	C	2	3	1	5	Klt.-Slt.-Kmt.
E	67	61	3-4	4-5	4	C	2	3	1	5	Klt.-Slt.-Kmt.
E	65	77	3-4	4-5	4	C	2	3	1	5	Klt.-Slt.-Marn
E	71	62	3-4	4	4	C	2	3	1	5	Klt.-Slt.-Kmt.
E	64	64	3-4	4	4	C	2	3	1	5	Klt.-Slt.-Marn.

<u>TÜR</u>	<u>PÜRÜZLÜLÜK</u>	<u>DOLGU TÜRÜ</u>	<u>ARALIK</u>	<u>MM</u>
1 FAY ZONU	A-BASAMAKLI	1 DOLGUSUZ	1 ÇOK DAR	< 20
2 FAY	B-DALGALI	2 YÜZEYSEL	2 DAR	20-60
3 EKLEM	C-DÜZLEMSEL	SIVAMA	3 YAKIN	60-200
4 KLİVAJ		3 KİL	4 ORTA	600-2000
5 ŞİSTOZİTE		4 BREŞ	5 GENİŞ	2000-6000
6 MAKASLAMA		5 MİNERAL	6 ÇOK GENİŞ	> 6000
7 ÇATLAK		6 ÇİMENTOLAŞMA	7 İLERİ DERECEDE	
8 TABAKA		7 KLORİT, TALK, JİPS	GENİŞ	

<u>DEVAMLILIK</u>	<u>M</u>	<u>SU DURUMU</u>	<u>AYRIŞMA</u>	<u>AÇIKLIK</u>	<u>MM</u>
1 ÇOK DÜŞÜK	< 1	1 KURU	1 TAZE	1 ÇOK SIKI	< 0.1
2 DÜŞÜK	1-3	2 NEMLİ	2 AZ AYRIŞMIŞ	2 SIKI	0.1 - 0.25
3 ORTA	3-10	3 ISLAK	3 ORTA	3 KISMEN AÇIK	0.25 - 0.5
4 YÜKSEK	10-20	4 SIZINTI	DERECEDE		
5 ÇOK YÜKSEK	> 20	5 AKIŞ	AYRIŞMIŞ	4 AÇIK	0.5 - 2.5
			4 İLERİ DERECEDE	5 ORTA GENİŞ	2.5 - 10
			AYRIŞMIŞ	6 GENİŞ	> 10
			5 TAMAMEN		
			AYRIŞMIŞ	7 ÇOK GENİŞ	10-100
			6 ARTIK ZEMİN	8 AŞIRI GENİŞ	100-1000
				9 BOŞLUKLU	>1000

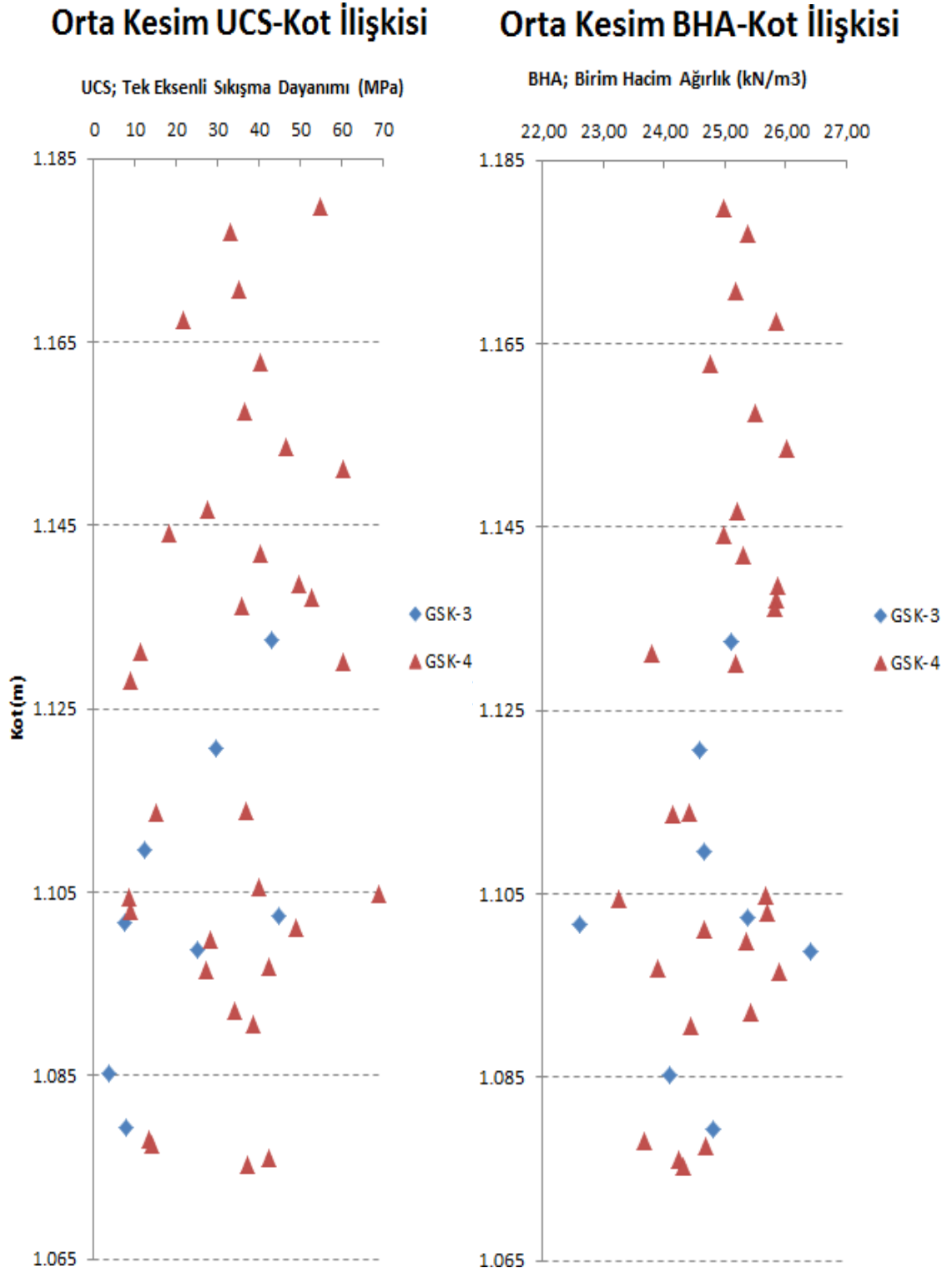
Yukarıda yapılan ölçümlere ait kontur ve gül diyagramları oluşturularak Şekil 3.6'da sunulmuştur.



Şekil 3.6. Orta kesim süreksizlik özellikleri (a) süreksizlik tipleri (b) kontur diyagramı (c) gül diyagramı

Yapılan sondajlardan GSK-3 ve GSK-4 sondajı Çepiç Tüneli'nin orta kesimini temsil etmektedir. Bu sondajlardan alınan numuneler üzerinde pek çok deney yapılmış olup deney sonuçlarına göre birime ait *Tek Eksenli Sıkışma Dayanımının 4-70 MPa*,

Elastisite Modülünün 0,8-7,5 GPa, Poisson Oranının 0,20-0,28, Birim Hacim Ağırlığın ise 24-27 kN/m³ arasında değişim gösterdiği gözlenmiştir.



Şekil 3.7. Deney sonuçlarının tünel kotuna göre dağılımları (a) Tek Eksenli Sıkışma Dayanımı (b) Birim Hacim Ağırlık

Yukarıdaki grafiklerde görülen yoğunlaşmalar dikkate alındığında orta kesim için birimin Tek Eksenli Sıkışma Dayanımı **24-47 MPa**, Birim Hacim Ağırlığı ise **25-26 kN/m³** olarak kabul edilebilir (Çepiç tüneli kesin proje raporu,2014).

3.4.3 Çıkış kesimi

Çepiç Tüneli çıkış kesimi, giriş kesimi ile benzer şekilde Hekimhan Formasyonu'ndan oluşmakta olup bu kesimde formasyonun kumtaşı - silttaşı yoğun seviyeleri mostra vermektedir (Fotoğraf 3.4). Kumtaşı - silttaşı açık kahverengi - kahverengi - sarımsı kahverengi olup zayıf dayanımlı (R2) ve çok ayrılmış (W4) özelliktedir.



Fotoğraf 3.4. Çepiç Tüneli çıkış kesiminde yüzeyleyen birimlerin genel görünümü

Giriş kesiminden farklı olarak bu kesimde birimler atmosferik etkilere daha dayanıklı olduğundan kazılar esnasında mevcut durumundan çok farklı bir yapı sergilemesi beklenmemektedir.

3.4.3.1 Tabakalanma

Çepiç Tüneli'nin çıkış kesiminde yapılan süreksizlik ölçümleri neticesinde tabakalanmanın genel yöneliminin $13^{\circ}/307^{\circ}$ olup dar – yakın aralıklı, kısmen açık, yüksek devamlılıkta, düzlemsel düz, kil dolgulu, kuru ve tamamen ayrılmış özellikte olduğu görülmektedir.

3.4.3.2 Eklemler

Tabakalanma dışında belirgin bir biçimde $77^{\circ}/077^{\circ}$ ve $81^{\circ}/330^{\circ}$ yönelimlerine sahip olan 2 adet eklem seti görülmüştür. Eklemler genel olarak dar – yakın – orta aralıklı, sıkı – kısmen açık, yüksek devamlılıkta, düzlemsel, kil – breş dolgulu, kuru ve tamamen ayrıışmış özelliindedir.



Fotoğraf 3.5. Çepiç Tüneli çıkış kesiminde yüzeyleyen birimlerin genel görünümü

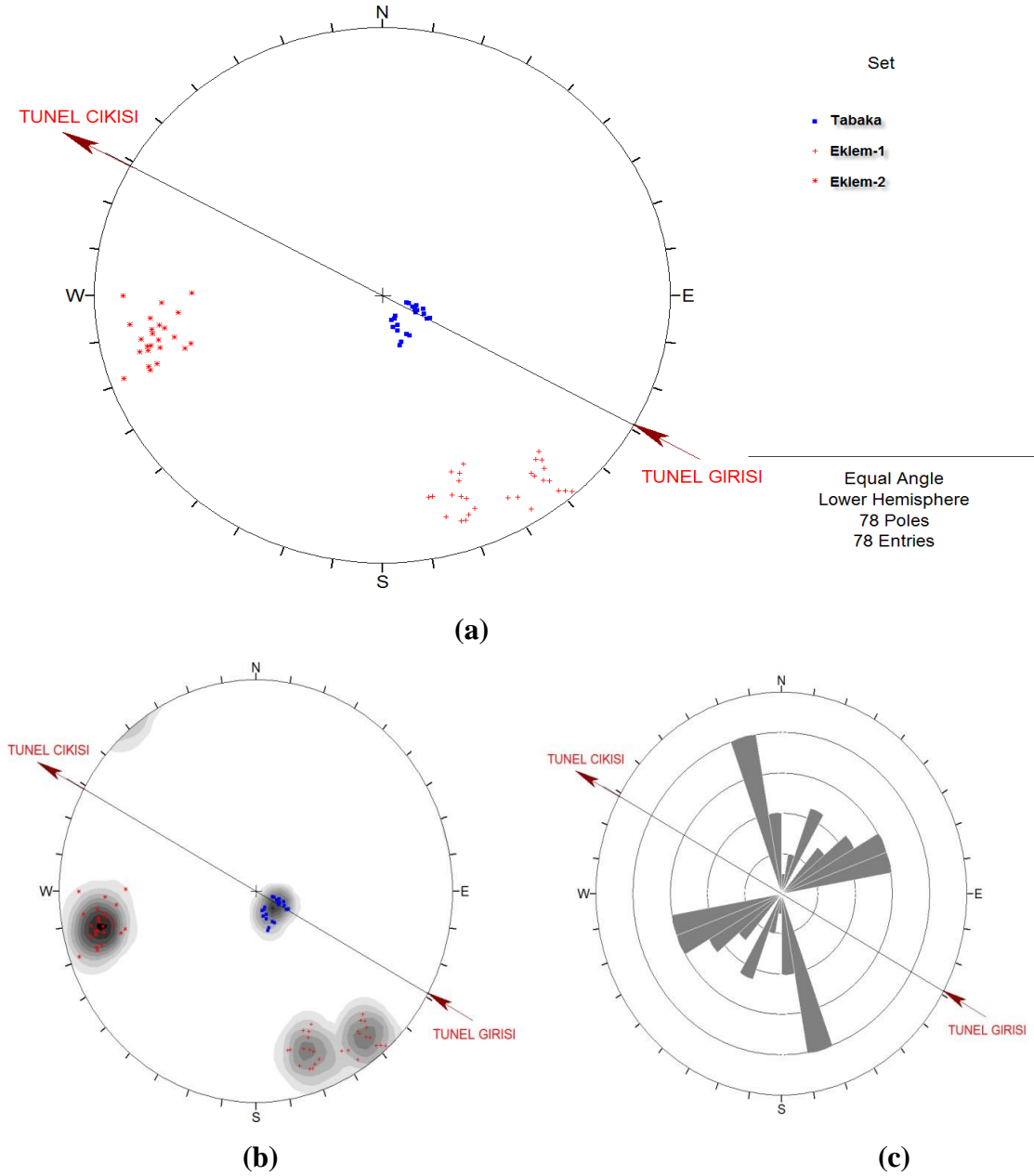
Alınan ölçümlere ait ayrıntılı bilgiler Çizelge 3.5'te sunulmuştur.

Çizelge 3.5. Çepiç Tüneli Çıkış kesimi süreksizlik özellikleri (ISRM,2007)

Tür	Eğim	Eğim Yönü	Aralık	Açıklık	Devamlılık	Pürüzlülük	Dolgu Türü	Su Durumu	Ayrışma	Litoloji	
E	89	318	3-4	2-3	4	C	2	3	1	5	Kmt.-Slt.
E	78	319	3-4	2-3	4	C	2	3	1	5	Kmt.-Slt.
E	82	076	3-4	2-3	4	C	2	3	1	5	Kmt.-Slt.
E	80	077	3-4	2-3	4	C	2	3	1	5	Kmt.-Slt.
E	81	071	3-4	2-3	4	C	2	3	1	5	Kmt.-Slt.
E	77	078	3-4	2-3	4	C	2	3	1	5	Kmt.-Slt.
E	78	081	3-4	2-3	4	C	2	3	1	5	Kmt.-Slt.
E	78	084	3-4	2-3	4	C	2	3	1	5	Kmt.-Slt.
E	87	071	3-4	2-3	4	C	2	3	1	5	Kmt.-Slt.
E	81	072	3-4	2-3	4	C	2	3	1	5	Kmt.-Slt.
E	79	072	3-4	2-3	4	C	2	3	1	5	Kmt.-Slt.
E	80	077	3-4	2-3	4	C	2	3	1	5	Kmt.-Slt.
E	77	076	3-4	2-3	4	C	2	3	1	5	Kmt.-Slt.
E	78	080	3-4	2-3	4	C	2	3	1	5	Kmt.-Slt.
E	83	083	3-4	2-3	4	C	2	3	1	5	Kmt.-Slt.
E	76	342	3-4	2-3	4	C	2	3	1	5	Kmt.-Slt.
E	77	340	3-4	2-3	4	C	2	3	1	5	Kmt.-Slt.
E	71	338	3-4	2-3	4	C	2	3	1	5	Kmt.-Slt.
E	78	339	3-4	2-3	4	C	2	3	1	5	Kmt.-Slt.
E	81	345	3-4	2-3	4	C	2	3	1	5	Kmt.-Slt.
E	83	342	3-4	2-3	4	C	2	3	1	5	Kmt.-Slt.
E	75	348	3-4	2-3	4	C	2	3	1	5	Kmt.-Slt.
E	75	347	2-3	2-3	4	C	2	3	1	5	Kmt.-Slt.

<u>TÜR</u>		<u>PÜRÜZLÜLÜK</u>	<u>DOLGU TÜRÜ</u>	<u>ARALIK</u>	<u>MM</u>
1 FAY ZONU		A-BASAMAKLI	1 DOLGUSUZ	1 ÇOK DAR	< 20
2 FAY		B-DALGALI	2 YÜZEYSEL	2 DAR	20-60
3 EKLEM		C-DÜZLEMSEL	SIVAMA	3 YAKIN	60-200
4 KLİVAJ			3 KİL	4 ORTA	600-2000
5 ŞİSTOZİTE			4 BREŞ	5 GENİŞ	2000-6000
6 MAKASLAMA			5 MİNERAL	6 ÇOK GENİŞ	> 6000
7 ÇATLAK			6 ÇİMENTOLAŞMA	7 İLERİ DERECEDE	
8 TABAKA			7 KLORİT, TALK, JİPS	GENİŞ	
<u>DEVAMLILIK</u>	<u>M</u>	<u>SU DURUMU</u>	<u>AYRIŞMA</u>	<u>AÇIKLIK</u>	<u>MM</u>
1 ÇOK DÜŞÜK	< 1	1 KURU	1 TAZE	1 ÇOK SIKI	< 0.1
2 DÜŞÜK	1-3	2 NEMLİ	2 AZ AYRIŞMIŞ	2 SIKI	0.1 - 0.25
3 ORTA	3-10	3 ISLAK	3 ORTA	3 KISMEN AÇIK	0.25 - 0.5
4 YÜKSEK	10-20	4 SIZINTI	DERECEDE		
5 ÇOK YÜKSEK	> 20	5 AKIŞ	AYRIŞMIŞ	4 AÇIK	0.5 - 2.5
			4 İLERİ DERECEDE	5 ORTA GENİŞ	2.5 - 10
			AYRIŞMIŞ	6 GENİŞ	> 10
			5 TAMAMEN		
			AYRIŞMIŞ	7 ÇOK GENİŞ	10-100
			6 ARTIK ZEMİN	8 AŞIRI GENİŞ	100-1000
				9 BOŞLUKLU	> 1000

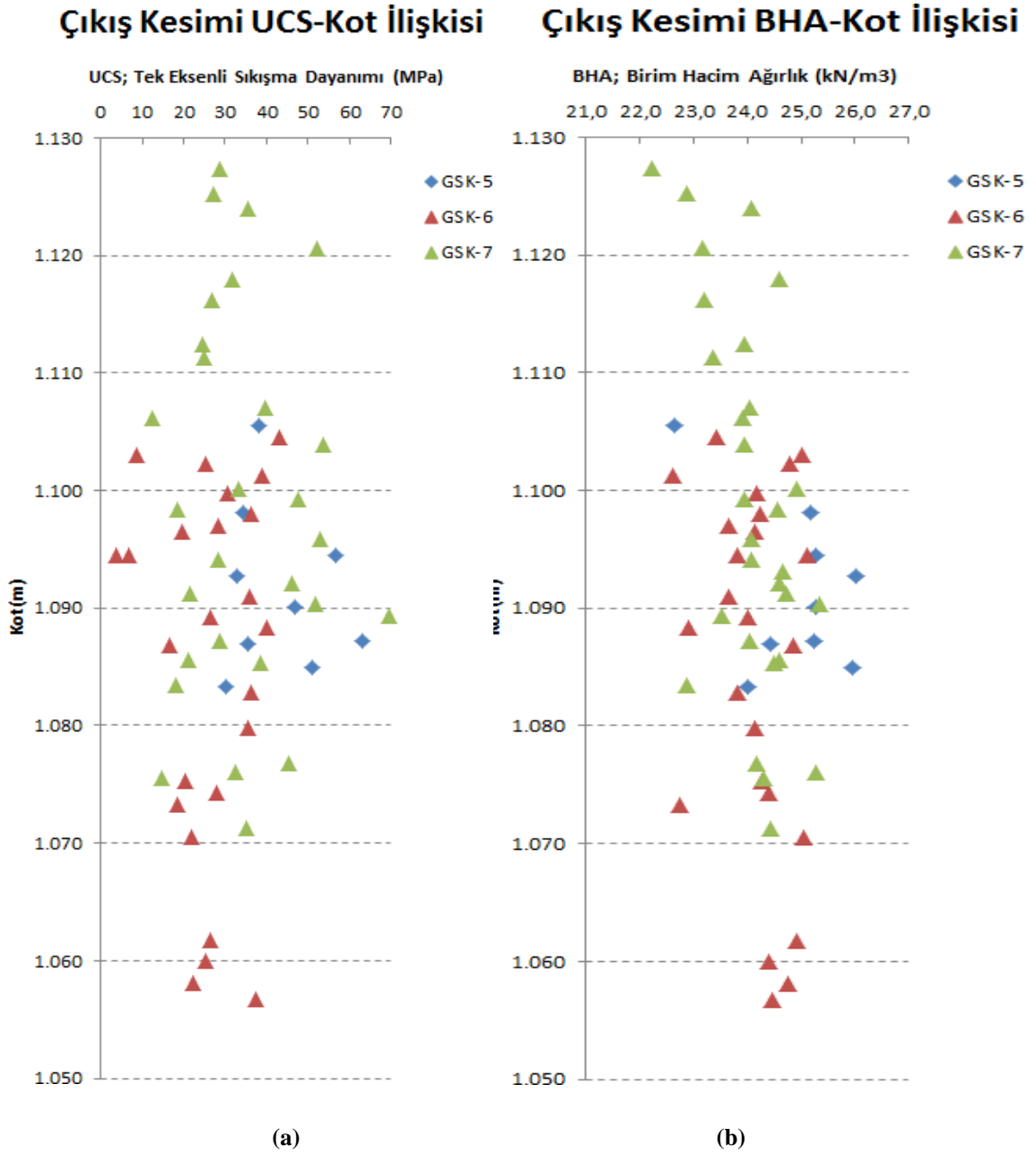
Yukarıda yapılan ölçümlere ait kontur ve gül diyagramları oluşturularak Şekil 3.8'de sunulmuştur.



Şekil 3.8. Çıkış kesimi süreksizlik özellikleri (a) süreksizlik tipleri (b) kontur diyagramı (c) gül diyagramı

Yapılan sondajlardan GSK-5, GSK-6 ve GSK-7 sondajları Çepiç Tüneli'nin çıkış kesimini temsil etmektedir. Bu sondajlardan alınan numuneler üzerinde pek çok deney yapılmış olup deney sonuçlarına göre birime ait *Tek Eksenli Sıkışma Dayanımının 4-62 MPa, Elastisite Modülünün 1,3-2,5 GPa, Poisson Oranının*

0,17-0,21, Birim Hacim Ağırlığın ise 22-26 kN/m^3 arasında değişim gösterdiği gözlenmiştir.



Şekil 3.9. Deney sonuçlarının tünel kotuna göre değişimleri (a) Tek Eksenli Sıkışma Dayanımı (b) Birim Hacim Ağırlık

Şekil 3.9’da görülen yoğunlaşmalar dikkate alındığında çıkış kesimi için birimin Tek Eksenli Sıkışma Dayanımı **23 MPa**, Birim Hacim Ağırlığı ise **25 kN/m^3** olarak kabul edilebilir.

3.5 Kaya Sınıflamaları

Şimdiye kadar Çepiç tüneli güzergâhını oluşturan hâkim jeolojik formasyonlar ve bunların jeoteknik özellikleri açıklanmıştır. Bu bilgiler ve değerlendirmeler ışığında tünel güzergâhı boyunca kesilen ve ortak özellik gösteren jeolojik formasyonlar belirlenerek, yapılan arazi çalışmaları, yüzey jeolojisi ölçüm ve verileri ile laboratuvar analizlerine göre, giriş, orta ve çıkış kesimlerinde karşılaşılabilecek muhtemel birim sınıflamaları (yaygın olarak kullanılmakta olan RMR, Q, GSI ve NATM' ye göre) yapılmıştır.

Yapılan arazi çalışmaları, yüzey jeolojisi ölçüm ve verileri ile laboratuvar analizleri, giriş, orta ve çıkış kesiminde yapılan sondajlar ile birlikte değerlendirildiğinde, tünel güzergâhının tamamının Hekimhan formasyonundan oluştuğu anlaşılmaktadır. Formasyon giriş kesiminde kıltaşı-marn, çıkış kesiminde de kumtaşı-silttaşı yoğun seviyelerden oluşmaktadır. Orta kesimler ise giriş tarafında marn-kıltaşı-silttaşı yoğun seviyelerdedir. Bu çerçevede tünel girişindeki kıltaşı-marn yoğun seviyeler çok zayıf kaya sınıfında olduğu için portal C2 ve C2 kazı ve destek sistemi ile geçilmesi gerekli olacaktır. Tünel çıkışındaki kumtaşı-silttaşı yoğun seviyeler ise zayıf kaya sınıfında olduğundan portal B3 ve B3 kazı ve destek sistemi ile geçilmesi uygun olacaktır.

Tünel orta kesimlerinde ise, girişe yakın zayıf kaya sınıfındaki kıltaşı-marn-silttaşı yoğun seviyelerinde B3 kazı ve destek sisteminin kullanılması, orta-iyi ve zayıf-orta kaya klasındaki kumtaşı-silttaşı yoğun diğer kesimlerde ise B1 ve B2 kazı ve destek sisteminin uygulanması uygun ve gerekli olacaktır (EK-B)

C2 kazı ve destek sisteminin kullanılacağı çok zayıf kaya sınıfındaki giriş kesiminin devamında uygulanacak B3 kazı ve destek sisteminde dairesel kesitin kapanması önem arzedecek olup, bu lokasyonlarda taban kemeri uygulanması uygun olacaktır. Yukarıda verilen esaslar ve değerlendirmeler ışığında, Çepiç tünelinin giriş, orta ve çıkış kesimlerinde karşılaşılabilecek muhtemel birim sınıflamaları ve bu sınıflamalara göre tünel destek sistemleri önerilebilir. Kaya sınıflama parametrelerin belirlenmesine yönelik olarak, yapılan sondajlar, detaylı yüzey jeolojisi ölçüm ve verileri ve laboratuvar deney sonuçlarına göre Çepiç tüneline karşılaşılabilecek

öngörülen kaya klasları için RMR, Q ve GSI kaya sınıflamaları yapılmış ve bu değerlerden NATM sınıflamasına geçilmiştir.(Çepiç tüneli jeolojik jeoteknik kesin proje raporu, 2014)

3.5.1 Giriş kesimi (kıltaşı-marn)

(Sol Tüp Girişi (Km:58+467.20)-Km:58+600 arası)

(Sağ Tüp Girişi (Km:0+664)-Km:0+800 arası)

3.5.1.1 RMR sınıflaması

		Puan
RQD	: ≤ 20	5
Serbest Basınç		2
Dayanımı	: $\sigma_c = 12.50$ MP	
Süreksizlik Aralığı	: 0,01-0,2m	6
Süreksizlik Durumu	:	
Süreksizlik Uzanımı	: 10-20m	1
Süreksizlik Açıklığı	: > 5 mm	0
Pürüzlülük	: Düz	1
Dolgu Durumu	: Yumuşak Dolgulu > 5 mm	0
Ayrışma Durumu	: Ayrışmış	1
Yeraltı Suyu	: Kuru	15
	TEMEL RMR PUANI (RMR0)	31
Süreksizlik Yönü	: Orta	-5
	(Tünel Eksenine paralel ve dike yakın doğrultu ve eğim > 45)	
	RMR PUANI	26

(Zayıf Kaya)



Fotoğraf 3.6. Deneyde kullanılmak üzere sondajla alınan karot numuneleri

GSK-1 Sondajından alınan numunelerin (Fotoğraf 3.6) ortalama RQD değeri 44 ve GSK-2 sondajının ortalama RQD değeri de 67'dir. Ancak birimin taze yüzeyleri ancak jeolog çekicinin tek ve sert bir darbesiyle kırılabilirken mevcut kazılarda yapılan gözlemlerde birimin üzerindeki yükün kalkması ve hava, su vb. ile teması neticesinde süreksizlik yüzeyleri boyunca bloklar halinde ayrılabilirdiği ve blokların serbest bloklar haline geldiği görülmektedir (Fotoğraf 3.2 a). Ayrıca süreksizlik yüzeyleri boyunca oluşan serbest bloklar konkav şekilde parçalara ayrılarak adeta çakıl durumuna gelmektedir (Fotoğraf 3.2 b). Bu çerçevede birimin taze durumunda oluşan bu RQD değerlerinin birimin mühendislik özelliklerini yansıtmadığı açık olup, marnların domine ettiği bu kesimde RQD değerinin en fazla 20 olacağı kuvvetle tahmin edilmektedir.

GSK-1 sondajından toplam 24 ve GSK-2 sondajından da toplam 19 numune alınmıştır GSK-1 sondajından 12 ve GSK-2 sondajından 17 adet tek eksenli deney yapılabilmiş olup, kalan numunelerden nokta yükleme yapılmıştır. Nokta yükleme deney sonuçlarının tek eksenli dayanıma dönüştürülmesi yanlış sonuçlar doğurabilecek şekilde oldukça yüksek sapma ile sağlanabildiği ve yeteri kadar da tek eksenli deney yapıldığı için, nokta yükleme deney sonuçları ihmal edilmiştir. Portal Kesimi olmasından dolayı GSK-1 sondajından yapılan 12 adet tek eksenli basınç deneyinin en düşük 7 tanesinin ve GSK-2 sondajından yapılan 17 adet tek eksenli basınç deneyinin en düşük 9 tanesinin ortalaması alınarak Çepiç Tüneli Giriş Kesiminde Serbest Basınç Dayanımı $\sigma_c = 12.50$ MPa olarak belirlenmiştir.

3.5.1.2 Q Sınıflaması

		Puan
RQD	: ≤ 20	20
Eklem Sayısı (Jn)	:3Set(9*2=18)	18
Eklem Pürüzlülüğü (Jr)	:DüzlemselEklemler	1
Eklem Ayırışması (Ja)	:Ayrışmış yumuşak dolgulu	8
Su Durumu (Jw)	:Kuru	1

SRF (Stres Azaltma Faktörü) : (Portal Kesimi) 2, 5

$$Q = (RQD/Jn) * (Jr/Ja) * (Jw/SRF) = (20/18) * (1/8) * (1/2,5) \quad \mathbf{0,056}$$

(Çok Zayıf Kaya)

3.5.1.3 RMR-Q Korelasyonu

$$RMR = 9 \ln Q + 44$$

$Q=0.056 \Rightarrow RMR \sim 18$ olup bu değer hesapla bulunan $RMR=26$ değerinden bir miktar farklıdır. Bu durumun en büyük nedeni Q sınıflandırma sistemini direkt etkileyen eklem takım sayısı puanının Portal Kesiminde iki katı olarak dahil edilmesidir. Ancak RMR sınıflandırma sisteminin bu kesimdeki kaya kütle özelliklerini çok daha iyi temsil ettiği öngörülmektedir.

3.5.1.4 NATM Sınıflaması

Çepiç Tüneli bu kesimde iki kısım halinde değerlendirilmiştir. Örtü kalınlığının iyice azaldığı Sol Tüp Girişi (Km:58+467.20)-Km:58+510 arası ve Sağ Tüp Girişi (Km:0+664)-Km:0+690 arası ile Sol Tüp Km:58+510-58+600 arası ve Sağ Tüp Km: 0+690-0+800 arası Tünel Kesimi. Hekimhan Formasyonun marn-kiltaşı yoğun seviyelerinden oluşan bu kesimde yeraltısuyu bulunmamaktadır. Çok

zayıf bir kaya ortamı mevcut olup, süreksizlikler çok yoğun ve uzanımlı, aralıkları dar ve açıklıklar 5 mm'den büyüktür. Tavanda ve yan duvarlarda sistematik destekleme gerekmektedir. Kazının yumuşak patlatma ve/veya mekanik kazı ile yapılması mümkün olup, ilerlemeler 1 m'yi geçmemelidir. Tünel kazıları etrafında kinematik problem öngörülmemekle birlikte, dökülmelerin ve ani deformasyonların engellenmesi amacıyla kazıyı müteakip hemen sistematik destekleme yapılmalı ve en az I180 çelik iksa uygulanmalıdır. Dairesel kesitin kapanması amacıyla taban kemeri kazısı ve tabanda püskürtme betonu yapılmalıdır. Ayna stabilizasyonun sağlanması ve aşırı sökümlerin engellenmesi için enjeksiyonlu süren gerekecektir. Bu bağlamda ve RMR=26 (Zayıf Kaya) ve Q=0.055 (Çok Zayıf Kaya) değerlerine göre Çepiç Tüneli Sol Tüp Km:58+510-58+600 arası ve Sağ Tüp KM:0+690- 0+800 arası kesiminin C2 Kazı ve Destek Sistemi ile ve Sol Tüp Girişi- Km:58+510 ile Sağ Tüp Girişi-Km:0+690 arası kesimlerinin de Portal C2 Kazı ve Destek Sistemi ile geçilmesi uygun ve gerekli olacaktır.

3.5.1.5 GSI (Geological Strenght Index) Sınıflaması

$$SCR = R_r + R_w + R_f = 2$$

$$R_r = 1 \text{ (Düz)}$$

$$R_w = 1 \text{ (İleri derecede bozunmuş)}$$

$$R_f = 0 \text{ (Yumuşak Dolgulu > 5 mm)}$$

$$SR = -17.5 \ln(J_v) + 79.8$$

$$J_v = (115 - RQD) / 3.3 \text{ (Palmstorm, 1982)}$$

$$RQD = 20 \Rightarrow J_v \approx 29 \Rightarrow SR \approx 21$$

$$GSI \text{ Abağından } GSI \approx 17$$

GSI Değerinin RMR'dan (RMR > 23 için) Bulunması

$$GSI = RMR_o - 5 \text{ (RMR89)} \Rightarrow GSI = 31 - 5 = 26$$

Görüldüğü üzere GSI değerinin direkt abaktan elde edilmesi ile RMR değerinden elde edilmesi arasında önemli farklılıklar oluşmaktadır. Yukarıda açıklandığı üzere, bu durumun en büyük nedeni, RQD değerinin, σ_c değerinin ve su durumunun GSI

Sınıflamasında hesaba katılmamış olması, buna karşın özellikle eklem sayısının (Jv) GSI Sınıflamasını ağırlıklı olarak ve doğrudan etkiliyor olmasıdır. Bu durumda ve ayrıca yapılan tüm jeolojik-jeoteknik çalışmalar ve arazi gözlemlerine göre Tünel Giriş kesimindeki kaya kütlesi için GSI değerinin RMR'dan elde edilmesinin çok daha uygun ve gerekli olacağı açıktır.

3.5.2 Orta kesim-1 (kıltaşı-marn-silttaşı)

(Sol Tüp Km:58+600-Km:58+750 arası)

(Sağ Tüp Km:0+800-Km:0+950 arası)

3.5.2.1 RMR Sınıflaması

		Puan
RQD	: 35	8
Serbest basınç dayanımı	: $\sigma_c=24$ MPa	3
Süreksizlik Aralığı	: 0,01-0,6m	8
Süreksizlik Durumu	:	
Süreksizlik Uzanımı	: 10-20m	1
Süreksizlik Açıklığı	: 1-5mm	1
Pürüzlülük	: Düz	1
Dolgu Durumu	: Yumuşak Dolgulu<5mm	2
Ayrışma Durumu	: Ayrışmış	1
Yeraltı Suyu	: Kuru	15
TEMEL RMR PUANI (RMR0)		40
Süreksizlik Yönü	: Orta	-5
RMR PUANI		35
		(Zayıf Kaya)

RQD değeri, GSK-3 sondajında, tabandan itibaren kırmızı kotun üç tünel yüksekliği üstüne kadar olan kesiminin (H = 35-80 m arası) ortalama değeridir.

GSK-3 sondajından toplam 20 numune alınmıştır . Bunlardan 10 adet tek eksenli deney yapılabilmiş olup bu deneylerin ortalama sonucu $\sigma_c = 24$ MPa'dır. Kalan numunelerden nokta yükleme yapılmıştır. Nokta yükleme deney sonuçlarının tek eksenli dayanıma dönüştürülmesi yanlış sonuçlar doğurabilecek şekilde oldukça yüksek sapma ile sağlanabildiği ve yeteri kadar da tek eksenli deney yapıldığı için, nokta yükleme deney sonuçları ihmal edilmiştir.

3.5.2.2 Q Sınıflaması

		Puan
RQD	: 35	35
Eklem Sayısı (Jn)	:3Set	9
Eklem Pürüzlülüğü (Jr)	:Düzlemsel Düz Eklemler	1
Eklem Ayrışması (Ja)	: Ayrışmış YumuşakDolgulu Eklemler	6
Su Durumu (Jw)	:Kuru	1
SRF (Stres Azaltma Faktörü)	:	1
$Q = (RQD/Jn) * (Jr/Ja) * (Jw/SRF) = (35/9) * (1/6) * (1/1)$		0,648
		(Çok Zayıf Kaya)

3.5.2.3 RMR-Q Korelasyonu

$$RMR = 9 \ln Q + 44$$

$Q = 0.648 \Rightarrow RMR \sim 40$ olup bu değer hesapla bulunan $RMR = 35$ değerine yakındır.

3.5.2.4 NATM Sınıflaması

Çepiç Tünelinin bu kesimlerinde birim Hekimhan Formasyonunun kıltaşı-silttaşı-marn yoğun seviyelerinden oluşmakta ve su bulunmamaktadır. Bunun dışında süreksizlikler yoğun ve orta uzanımlı olup aralıkları da 0.01-0.6 m arasında değişmektedir. Açıklıklar genellikle düzlemsel düz, yumuşak dolgulu ve ayrılmış olup 5 mm'den azdır. Kazının yumuşak patlatma veya mekanik kazı ile yapılması uygun olacaktır. Tünel kazıları etrafında kinematik problem öngörülmemekle birlikte, dökülmelerin ve ani deformasyonların engellenmesi amacıyla kazıyı müteakip hemen sistematik destekleme yapılmalı ve en az I160 çelik iksa uygulanmalıdır. Ayna stabilizasyonun sağlanması ve aşırı sökülmelerin engellenmesi için süren gerekecektir. Özellikle marnların nispeten yoğunlaştığı kesimlerde dairesel kesitin kapanması gerekecek olup, bu zonlarda taban kemeri kazısı ve tabanda püskürtme betonu yapılmalıdır. Bu çerçevede ve RMR=35 (Zayıf Kaya) ve Q=0.648 (Çok Zayıf Kaya) değerlerine göre Çepiç Tünelinin bu kesimlerinin B3 Kazı ve Destek Sistemi ile geçilmesi uygun ve gerekli olacaktır.

3.5.2.5 GSI (Geological Strenght Index) Sınıflaması

$$SCR=R_r+R_w+R_f=4$$

$$R_r=1 \text{ (Düz)}$$

$$R_w=1 \text{ (İleri derecede bozunmuş)}$$

$$R_f=2 \text{ (Yumuşak Dolgulu < 5 mm)}$$

$$SR= -17.5 \ln(J_v) + 79.8$$

$$J_v=(115-RQD)/3.3 \text{ (Palmstorm, 1982)}$$

$$RQD=35 \Rightarrow J_v \approx 24 \Rightarrow SR \approx 24$$

$$GSI \text{ Abağından } GSI \approx 22$$

$$GSI \text{ Değerinin RMR'dan (RMR > 23 için) Bulunması}$$

$$GSI = RMR_o - 5 \text{ (RMR89)} \Rightarrow GSI = 40 - 5 = 35$$

3.5.3 Orta kesim-2 (kıltaşı-Silttaşı)

(Sol Tüp Km:58+750-Km:58+825 ve Km:58+875-Km:58+925 arası)

(Sağ Tüp Km:0+950-Km:1+025 ve Km:1+075-Km:1+125 arası)

3.5.3.1 RMR Sınıflaması

		Puan
RQD	: 40	8
Serbest Basınç dayanımı	: $\sigma_c=30$ MPa	4
Süreksizlik Aralığı	: 0,02-1,0m	10
Süreksizlik Durumu	:	
Süreksizlik Uzanımı	: 3-10m	2
Süreksizlik Açıklığı	: <1mm	4
Pürüzlülük	: Düz-Dalgalı (Az Pürüzlü)	3
Dolgu Durumu	: Sert Dolgulu	4
Ayrışma Durumu	: Orta Ayrışmış	3
Yeraltı Suyu	: Kuru	15
	TEMEL RMR PUANI (RMR0)	53
Süreksizlik Yönü	: Orta	-5
	(Tünel Eksenine paralel ve dike yakın doğrultu ve eğim>45)	
	RMR PUANI	48
		(Orta Kaya)

RQD değeri, GSK-3 sondajında ve GSK-4 sondajında, tabandan itibaren kırmızı kotun üç tünel yüksekliği üstüne kadar olan kesiminin (GSK-3 için H=35-80 m arası ve GSK-4 için H=75-112 m arası) ortalama değeridir. GSK-4 sondajından toplam 70 ve GSK-3 Sondajından toplam 20 numune alınmıştır. GSK-4 sondajından 33 adet ve GSK-3 sondajından da 10 adet tek eksenli deney yapılabilmüş olup tüm bu deneylerin ortalama sonucu $\sigma_c = 30$ MPa'dır.

Nokta yükleme deney sonuçlarının tek eksenli dayanıma dönüştürülmesi yanlış sonuçlar doğurabilecek şekilde oldukça yüksek sapma ile sağlanabildiği ve yeteri kadar da tek eksenli deney yapıldığı için, nokta yükleme deney sonuçları ihmal edilmiştir.

3.5.3.2 Q Sınıflaması

		Puan
RQD	:40	40
Eklem Sayısı (Jn)	:3Set	9
Eklem Pürüzlülüğü (Jr)	:Düz Dalgalı Eklemler	2
Eklem Ayırışması (Ja)	: Orta Ayırışmış Eklemler	3
Su Durumu (Jw)	:Kuru	1
SRF (Stres Azaltma Faktörü)	:	1
$Q = (RQD/Jn) * (Jr/Ja) * (Jw/SRF) = (40/9) * (2/3) * (1/1)$		2,96
		(Zayıf Kaya)

3.5.3.3 RMR-Q Korelasyonu

$$RMR = 9 \ln Q + 44$$

$Q=2,96 \Rightarrow RMR \sim 53$ olup bu değer hesapla bulunan $RMR=48$ değerine yakındır.

3.5.3.4 NATM Sınıflaması

Çepiç Tünelinin bu kesimlerinde birim Hekimhan Formasyonunun kumtaşı- silttaşı yoğun seviyelerinden oluşmakta ve su bulunmamaktadır. Bunun dışında, süreksizlikler orta yoğunlukta ve orta uzanımlı olup, aralıkları 0.02-1.0 m arasında değişmektedir. Açıklıklar genellikle düz dalgalı ve az pürüzlü, sert dolgulu ve orta ayırışmış olup 1 mm'den azdır. Kazının yumuşak patlatma ile yapılması uygun olacaktır. Tünel kazıları etrafında, kapalı kazı - süreksizlik sistemleri geometrisinden kaynaklı yapısal bir instabilite potansiyeli öngörülmektedir. Bu çerçevede ve $RMR=48$ (Orta Kaya) ve $Q=2.96$ (Zayıf Kaya) değerlerine göre Çepiç Tünelinin bu

kesimlerinin B2 Kazı ve Destek Sistemi ile geçilmesi uygun ve gerekli olacaktır.

3.5.3.5 GSI (Geological Strenght Index) Sınıflaması

$$SCR= R_r+R_w+R_f=10$$

$$R_r= 3 \text{ (Az Pürüzlü)}$$

$$R_w= 3 \text{ (Ortabozunmuş)}$$

$$R_f= 4 \text{ (Sert Dolgulu < 5 mm)}$$

$$SR= -17.5 \ln(J_v) + 79.8$$

$$J_v=(115-RQD)/3.3 \text{ (Palmstorm, 1982)}$$

$$RQD=40 \Rightarrow J_v \approx 23 \Rightarrow SR \approx 25$$

$$GSI \text{ Abağından } GSI \approx 38$$

GSI Değerinin RMR'dan (RMR>23 için) Bulunması

$$GSI = RMR_o-5 \text{ (RMR89)} \Rightarrow GSI=53-5=48$$

Görüldüğü üzere GSI değerinin direkt abaktan elde edilmesi ile RMR değerinden elde edilmesi arasında önemli farklılıklar oluşmaktadır. Yukarıda açıklandığı üzere, bu durumun en büyük nedeni, RQD değerinin, σ_c değerinin ve su durumunun GSI Sınıflamasında hesaba katılmamış olması, buna mukabil özellikle eklem sayısının (J_v) GSI Sınıflamasını ağırlıklı olarak ve doğrudan etkiliyor olmasıdır. Bu durumda ve ayrıca yapılan tüm jeolojik-jeoteknik çalışmalar ve arazi gözlemlerine göre Tünelin bu kesimindeki kaya kütlesi için GSI değerinin RMR'dan elde edilmesinin çok daha uygun ve gerekli olacağı açıktır.

3.5.4 Orta kesim-3 (kumtaşı-silttaşı)

(Sol Tüp Km: 58+825-Km:58+875)

(Sağ Tüp Km: 1+025-Km:1+075 arası)

3.5.4.1 RMR Sınıflaması

		Puan
RQD	: 45	9
Serbest Basınç dayanımı	: $\sigma_c=47$ MPa	6
Süreksizlik Aralığı	: 0,05-1,5m	12
Süreksizlik Durumu	:	
Süreksizlik Uzanımı	: 1-3m	4
Pürüzlülük	: Pürüzlü	5
Dolgu Durumu	: Sert Dolgulu	4
Ayrışma Durumu	: Az Ayrışmış	5
Yeraltı Suyu	: Kuru	15
	TEMEL RMR PUANI (RMR0)	64
Süreksizlik Yönü	: Orta	-5

(Tünel Eksenine paralel ve dike yakın doğrultu ve eğim > 45)

RMR PUANI

59

(Orta-İyi Kaya)

RQD değeri, GSK-4 sondajında, tabandan itibaren kırmızı kotun üç tünel yüksekliği üstüne kadar olan kesiminin (H=75-112 m arası) ortalama değeridir. GSK-4 sondajından toplam 70 numune alınmıştır. Bunlardan 33 adet tek eksenli deney yapılabilmektedir. Hekimhan Formasyonun orta-iyi kaya kesimlerini temsil eden bu zonun serbest basınç dayanımı için deney sonuçlarının en yüksek 17 tanesinin ortalaması olan $\sigma_c = 47$ MPa alınmıştır.

3.5.4.2 Q Sınıflaması

		Puan
RQD	:45	45
Eklem Sayısı (Jn)	:3Set	9
Eklem Pürüzlülüğü (Jr)	:Pürüzlü	3
Eklem Ayrışması (Ja)	: Az Ayrışmış Sert Dolgulu Eklemler	2
Su Durumu (Jw)	:Kuru	1
SRF (Stres Azaltma Faktörü)	:	1
$Q = (RQD/Jn) * (Jr/Ja) * (Jw/SRF) = (45/9) * (3/2) * (1/1)$		7,5

(Orta Kaya)

3.5.4.3 RMR-Q Korelasyonu

$$RMR = 9 \ln Q + 44$$

$Q=7,50 \Rightarrow RMR \sim 62$ olup bu değer hesapla bulunan $RMR=59$ değerine yakındır.

3.5.4.4 NATM Sınıflaması

Çepiç Tünelinin bu kesimlerinde birim Hekimhan Formasyonunun kumtaşı- silttaşı yoğun seviyelerinden oluşmakta ve su bulunmamaktadır. Bunun dışında, süreksizlikler orta yoğunlukta ve orta uzanımlı olup, aralıkları 0.05-1.5 m arasında değişmektedir. Açıklıklar genellikle pürüzlü, sert dolgulu ve az ayrıışmış olup 1 mm'den azdır. Özellikle tavanda sistematik destekleme yapılmalıdır. Kazının yumuşak patlatma ile yapılması uygun olacaktır. Tünel kazıları etrafında, kapalı kazı - süreksizlik sistemleri geometrisinden kaynaklı yapısal bir instabilite potansiyeli öngörülmemektedir. Bu çerçevede ve $RMR=59$ (Orta-İyi Kaya) ve $Q=7.50$ (Orta Kaya) değerlerine göre Çepiç Tünelinin bu kesimlerinin B1 Kazı ve Destek Sistemi ile geçilmesi uygun ve gerekli olacaktır.

3.5.4.5 GSI (Geological Strenght Index) Sınıflaması

$$SCR=R_r+R_w+R_f=14$$

$$R_r= 5 \text{ (Pürüzlü)}$$

$$R_w= 5 \text{ (Az Bozunmuş)}$$

$$R_f= 4 \text{ (Sert Dolgulu<5 mm)}$$

$$SR= -17.5\ln(J_v) +79.8$$

$$J_v=(115-RQD)/3.3 \text{ (Palmstorm,1982)}$$

$$RQD=45 \Rightarrow J_v \approx 21 \Rightarrow SR \approx 27$$

$$\text{GSI Abağından } GSI \approx 48$$

GSI Değerinin RMR'dan (RMR>23 için) Bulunması

$$GSI = RMR_o-5 \text{ (RMR89)} \Rightarrow GSI= 64-5= 59$$

Görüldüğü üzere GSI değerinin direkt abaktan elde edilmesi ile RMR değerinden elde edilmesi arasında önemli farklılıklar oluşmaktadır. Yukarıda açıklandığı üzere, bu durumun en büyük nedeni, RQD değerinin, σ_c değerinin ve su durumunun GSI Sınıflamasında hesaba katılmamış olması, buna mukabil özellikle eklem sayısının (J_v) GSI Sınıflamasını ağırlıklı olarak ve doğrudan etkiliyor olmasıdır. Bu durumda ve ayrıca yapılan tüm jeolojik-jeoteknik çalışmalar ve arazi gözlemlerine göre Tünelin bu kesimindeki kaya kütlesi için GSI değerinin RMR'dan elde edilmesinin çok daha uygun ve gerekli olacağı açıktır.

3.5.5 Çıkış kesimi (Kumtaşı-Silttaşı)

(Km:58+925-Sol Tüp Çıkışı (Km:59+089.00))

(Km:1+125-Sağ Tüp Çıkışı (Km:1+924.00))

3.5.5.1 RMR Sınıflaması

		Puan
RQD	: 45	9
Serbest Basınç dayanımı	: $\sigma_c=23$ MPa	3
Süreksizlik Aralığı	: 0,02-0,8m	9
Süreksizlik Durumu	:	
Süreksizlik Uzanımı	: 10-20m	1
Süreksizlik Açıklığı	: 1-5mm	1
Pürüzlülük	: Düz	1
Dolgu Durumu	: Yumuşak Dolgulu<5mm	2
Ayrışma Durumu	: Ayrışmış	1
Yeraltı Suyu	: Kuru	15
	TEMEL RMR PUANI (RMR0)	42
Süreksizlik Yönü	: Orta	-5
	(Tünel Eksenine paralel ve dike yakın doğrultu ve eğim>45)	
	RMR PUANI	37

(Zayıf Kaya)

RQD değeri, GSK-5, GSK-6 ve GSK-7 sondajlarının tamamının ortalama değeridir. GSK-5 sondajından toplam 29, GSK-6 sondajından toplam 45 ve GSK-7 sondajından da toplam 51 numune alınmıştır. GSK-5 sondajından 9, GSK-6 sondajından 24 ve GSK-7 sondajından 29 adet tek eksenli deney yapılabilmüş olup, kalan numunelerden nokta yükleme yapılmıştır. Nokta yükleme deney sonuçlarının tek eksenli dayanıma dönüştürülmesi yanlış sonuçlar doğurabilecek şekilde oldukça

yüksek sapma ile sağlanabildiği ve yeteri kadar da tek eksenli deney yapıldığı için, nokta yükleme deney sonuçları ihmal edilmiştir. Portal Kesimi olmasından dolayı GSK-5 sondajından yapılan 9 adet tek eksenli basınç deneyinin en düşük 5 tanesinin, GSK-6 sondajından yapılan 24 adet tek eksenli basınç deneyinin en düşük 13 tanesinin ve GSK-7 sondajından yapılan 29 adet tek eksenli basınç deneyinin en düşük 15 tanesinin ortalaması alınarak Çepiç Tüneli Çıkış Kesiminde Serbest Basınç Dayanımı $\sigma_c = 23$ MPa olarak belirlenmiştir.

3.5.5.2 Q Sınıflaması

		Puan
RQD	: 45	45
Eklem Sayısı (Jn)	: 3 Set (2x9)	18
Eklem Pürüzlülüğü (Jr)	: Düzlemsel Düz Eklemler	1
Eklem Ayrışması (Ja)	: Az Ayrışmış Sert Dolgulu Eklemler	6
Su Durumu (Jw)	: Kuru	1
SRF (Stres Azaltma Faktörü)	:	2,5
$Q = (RQD/Jn) * (Jr/Ja) * (Jw/SRF) = (45/18) * (1/6) * (1/2,5)$		0,166
		(Çok Zayıf Kaya)

3.5.5.3 RMR-Q Korelasyonu

$$RMR = 9 \ln Q + 44$$

$Q = 0.166 \Rightarrow RMR \sim 28$ olup bu değer hesapla bulunan $RMR = 37$ değerinden farklıdır. Bu durumun en büyük nedeni Q sınıflandırma sistemini direkt etkileyen eklem takım sayısı puanının Portal Kesiminde iki katı olarak dahil edilmesidir. Ancak RMR sınıflandırma sisteminin bu kesimdeki kaya kütle özelliklerini çok daha iyi temsil ettiği öngörülmektedir.

3.5.5.4 NATM Sınıflaması

Çepiç Tüneli bu kesimde iki kısım halinde değerlendirilmiştir. Sol Tüp Km:59+060- Sol Tüp Çıkışı (Km:59+089.00) arası ve Sağ Tüp Km: 1+260-Sağ Tüp Çıkışı (Km:1+294) arası ile örtü kalınlığının iyice azaldığı Çıkış Portalı Kesimi ve Sol Tüp Km:58+925- 59+060 arası ve Sağ Tüp Km: 1+125-1+260 arası Tünel Kesimi. Hekimhan Formasyonun kumtaşı-silttaşı yoğun seviyelerinden oluşan bu kesimde su bulunmamaktadır. Bunun dışında süreksizlikler yoğun ve orta uzanımlı olup, aralıkları 0.02-0.8 m arasında değişmektedir. Açıklıklar genellikle düzlemsel düz, yumuşak dolgulu ve ayrışmış olup 5 mm'den azdır. Kazının yumuşak patlatma veya mekanik kazı ile yapılması uygun olacaktır. Bu çerçevede ve RMR=37 (Zayıf Kaya) ve Q=0.166 (Çok Zayıf Kaya) değerlerine göre Çepiç Tüneli Sol Tüp Km:58+900- 59+060 arası ve Sağ Tüp KM:1+100-1+260 arası kesiminin B3 Kazı ve Destek Sistemi ile ve Sol Tüp Km:59+060- Sol Tüp Çıkışı ile Sağ Tüp Km:1+260-Sağ Tüp Çıkışı arası kesimlerinin de Portal B3 Kazı ve Destek Sistemi ile geçilmesi uygun ve gerekli olacaktır.

3.5.5.5 GSI (Geological strength Index) Sınıflaması

$$SCR=R_r+R_w+R_f=4$$

$$R_r= 1(\text{Düz})$$

$$R_w= 1(\text{İleri Derecede Bozunmuş})$$

$$R_f= 2(\text{Yumuşak Dolgulu}<5 \text{ mm})$$

$$SR= 17.5\ln(J_v)+79.8$$

$$J_v= (115-RQD)/3.3 \text{ (Palmstrom,1982)}$$

$$RQD= 45 \Rightarrow J_v \approx 21 \Rightarrow SR \approx 27$$

$$GSI \text{ Abağından } GSI \approx 24$$

GSI Değerinin RMR'dan (RMR>23 için) Bulunması

$$GSI = RMR_o-5 \text{ (RMR}_{89}) \Rightarrow GSI= 42-5= 37$$

Görüldüğü üzere GSI değerinin direkt abaktan elde edilmesi ile RMR değerinden elde edilmesi arasında önemli farklılıklar oluşmaktadır. Yukarıda açıklandığı üzere, bu durumun en büyük nedeni, RQD değerinin, σ_c değerinin ve su durumunun GSI Sınıflamasında hesaba katılmamış olması, buna mukabil özellikle eklem sayısının (J_v) GSI Sınıflamasını ağırlıklı olarak ve doğrudan etkiliyor olmasıdır. Bu durumda ve ayrıca yapılan tüm jeolojik-jeoteknik çalışmalar ve arazi gözlemlerine göre Tünelin bu kesimindeki kaya kütlesi için GSI değerinin RMR'dan elde edilmesinin çok daha uygun ve gerekli olacağı açıktır.

BÖLÜM IV

SONUÇLAR

Çepiç Tüneli Projesi kapsamında yapılan NATM tünellere ait jeolojik – jeoteknik incelemelere ait sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

- Çepiç Tüneli güzergahı boyunca Üst Kampaniyen - Maastrichtiyen yaşlı Hekimhan Formasyonu yüzeylenmekte olup tünel boyunca sedimenter birimlerden oluşan formasyonun farklı seviyeleri yüzeylenmektedir.
- Yapılan arazi gözlemlerinde Çepiç Tüneli'nin giriş ve çıkış portallarında problem yaratabilecek yamaç molozu vb. bir birimin bulunmadığı anlaşılmış olup kaya kütlesi oldukça homojen bir yapı sergilemektedir.
- Tünelin yakın çevresinde etkili olabilecek bir su kaynağı bulunmamakla birlikte herhangi bir su çıkışına da rastlanılmamıştır.
- Proje alanı ve yakın çevresi 2. derece deprem bölgesi içerisinde kalmakta olup, sanat yapıları (köprü, tünel vb.) projelendirilirken etkin yer ivme katsayısı $A_0=0,30$ g, yarma ve dolgu şev tasarımlarında ise $A_0= 0,15$ g olarak alınmalıdır.
- Tünel için RMR, Q, GSI ve NATM kaya sınıflandırılmaları yapılarak B1, B2, B3, C2, Giriş Portalı C2 ve Çıkış Portalı B3 Kazı ve Destek tipleri önerilmiştir.
- Tünel giriş kesimi çok zayıf kaya klasında (GSI = 26) olduğundan giriş kesimi sağ ve sol temel kiriş betonlarının altında ortalama 3 m genişliğinde ve 1 m deriliğinde taban betonu oluşturulması, ana yükü taşıyan bu kesimler için gerekli görülmüştür. Bu kesimde C2 klasında kazı destek sistemi ve taban kemerli olarak tünel kapalı kazısı oluşturulması öngörülmüştür.
- Tünel orta kesiminde çok gevrek kaya ortamında (GSI = 48) olduğundan B2 klasında kazı destek sistemi ve taban kemersiz olarak tünel kapalı kazısı oluşturulması öngörülmüştür.
- Tünel çıkış kesiminde zayıf kaya ortamında (GSI = 37) olduğundan B3 klasında kazı destek sistemi ve taban kemersiz olarak tünel kapalı kazısı oluşturulması öngörülmüştür.
- Kaya sınıfları ve ilgili destek tipleri için gösterilmiş olan lokasyonlar

yaklaşık olarak verilmiştir. İnşaat aşamasındaki kazılar, jeolojik gözlem ve haritalama çalışmalarına göre rastlanabilecek kaya sınıfına uygun destek sistemi kullanılmıştır.

- Çepiç Tüneli yatay ve düşey geometrisi, mevcut topoğrafik kısıtlamalara rağmen, bir ana ulaşım yolu için gerekli görülen standartların dahilinde belirlenebilmiş olup, Yatay Geometri aliymanda ve Düşey Geometri ise %3.00 boyuna eğim ile oluşturulmuştur.
- Yapılan sondajlardan GSK-1 ve GSK-2 sondajı Çepiç Tüneli'nin giriş kesimini temsil etmektedir. Bu sondajlardan alınan numuneler üzerinde pek çok deney yapılmış olup deney sonuçlarına göre birime ait ***Tek Eksenli Sıkışma Dayanımının 4-60 MPa, Elastisite Modülünün 1-2 GPa, Poisson Oranının 0,21, Birim Hacim Ağırlığın ise 22-25 kN/m³*** arasında değişim gösterdiği gözlenmiştir.
- Yapılan sondajlardan GSK-3 ve GSK-4 sondajı Çepiç Tüneli'nin orta kesimini temsil etmektedir. Bu sondajlardan alınan numuneler üzerinde pek çok deney yapılmış olup deney sonuçlarına göre birime ait ***Tek Eksenli Sıkışma Dayanımının 4-70 MPa, Elastisite Modülünün 0,8-7,5 GPa, Poisson Oranının 0,20-0,28, Birim Hacim Ağırlığın ise 24-27 kN/m³*** arasında değişim gösterdiği gözlenmiştir.
- Yapılan sondajlardan GSK-5, GSK-6 ve GSK-7 sondajları Çepiç Tüneli'nin çıkış kesimini temsil etmektedir. Bu sondajlardan alınan numuneler üzerinde pek çok deney yapılmış olup deney sonuçlarına göre birime ait ***Tek Eksenli Sıkışma Dayanımının 4-62 MPa, Elastisite Modülünün 1,3-2,5 GPa, Poisson Oranının 0,17-0,21, Birim Hacim Ağırlığın ise 22-26 kN/m³*** arasında değişim gösterdiği gözlenmiştir.

KAYNAKLAR

- Barton, N., Lien, R. ve Lunde, J., 1974, "Engineering classification of rock masses for design of tunnel support", *Rock Mechanics*, V.6, 189-236.
- Barton, N. and Bieniawski, Z.T., 2008, "RMR and Q – Setting records straight". *Tunnels& Tunnelling*, pp. 26 – 29.
- Bieniawski, Z.T., 1973, "Engineering classification of jointed rock masses". *Trans. S. African Instn. Civ. Engrs.*, Vol 15, No 12, pp. 335 - 344.
- Bieniawski, Z. T., 1989, "Engineering rock mass classifications". John Wiley & Sons, New York, 251 p.
- Çepiç Tüneli Jeolojik – Jeoteknik kesin proje raporu (58+647.20 – 59+089.00) *Kartun Mühendislik Müşavirlik* San. Ltd.Şti. Ankara, s,29-67 ,Haziran ,2014
- Çepiç Tüneli kesin proje raporu (58+647.20 – 59+089.00) *Kartun Mühendislik Müşavirlik* San. Ltd.Şti. Ankara, s,1-2 Haziran, 2014
- Çobankaya. M. "Hekimhan Malatya yöresi oligosen istifinin sedimentolojisi", Yüksek Lisans Tezi, *Ankara Üniversitesi Fenbilimleri Enstitüsü*, Mart 2011, s, 7
- Erguvanlı, K., 1982," Mühendislik Jeolojisi", *Seç Kitapevi*, İstanbul, 575s
- Erguvanlı, K., 1995, *Mühendislik Jeolojisi Kitabı*, İstanbul, s,14-72.
- Geological Society Of America, *Rock Colour Chart*. "Geological Society of America". 1963
- Gürer .Ö.F "Hekimhan Hasançelebi (Malatya) Dolayının Jeoloji incelemesi", Doktora Tezi, *İstanbul Üniversitesi Fenbilimleri Enstitüsü*, Mayıs 1992, s, 11-250
- Hoek, E. and Brown, E. T., 1980 a, "Underground excavations in rock", *Institution of Mining and Metallurgy*, London 1980, 527 p.
- İzdar, K.K. ve Ünlü, T., 1985 "Hekimhan- Hasan Çelebi- Kuluncak bölgesinin jeolojisi." Prireis İnternational Contribution Series Publication No:2. *Sixth Colloguium Geologi Of The Aegean Region*, İzmir, 303-329

- Jacobson, S.H., 1969, "Hasançelebi – Hekimhan demir sahasının jeolojisi ve maden yatakları". *MTA Raporu*. No: 1042., Ankara
- Karayolları Genel Mdrlg, "Natm Uygulamalı Yer Altı Tünel İşleri", *Teknik şartname*,s. 312 - 317., 2008.
- Ketin, İ., "Anadolu'nun Tektonik Birlikleri", 20-34, 1966.
- Lambe, T.W. and R.V. Whitman, *Soil Mechanics*, John Wiley, New York, 1969.
- Leo, .G.W. "Kuluncak sofular sahasındaki (Malatya K39a1 ve K39a2 paftaları) Mineral Kaynakları ve jeoloji", *MTA raporu*, No:4907. Ankara, 1971
- Nicholson, G. and Bieniawski Z. T., "AA non- linear deformation modulus based on rock mass classification." *Int J. Mining & Geol. Eng.*, vol. 8, 181-202, 1990.
- Özdemir, S.ve Tunç, M., 1993, "Hekimhan (Malatya) Yöresindeki Üst Kretase Yaşlı Birimlerin Paleontolojik Ve Stratiğrafik Özellikleri", *Türkiye Jeoloji Bülteni* C:36, 131-144
- Özer Ö., Karadoğın A., Kahrıman A., Erol A.K. ve Yurttaş M., 2007, "Bir Karayolu Tüneli İnşaatında Patlatma Kaynaklı Titreşimlerin Ölçümü ve Analizi", *2. Ulaşımda Yer altı Kazıları Sempozyumu*, İTÜ, İstanbul, 15 – 17 Kasım, s. 499 – 507.
- Pakes, G., 1991," Selection of Methods", *World Tunnelling*, 4 no: 9, November.
- Palmstrom, A., 1995, "RMi - a rock mass characterization system for rock engineering purposes Ph.D. thesis" *Univ. of Oslo*, 400 p.
- Palmstrom, A., 1996, "Characterization of rock masses by the RMİ for use in practical rock engineering", *Tunnelling and Underground Space Technology*, Vol. 11, No. 2, pp. 175 - 186 (part 1), Vol. 11, No 3, pp. 287 - 303 (part 2).
- Palmstrom, A., 2000, "Block Size and Block Size Distribution", Proc. Workshop on "Reliability of Classification Systems" in connection with the *GeoEng 2000 Conference*, Melbourne, 12s.
- Rabcewicz, L., 1964, " The New Austrian Tunneling Method". *Water Power*, s. 453- 457.

Sönmez, H. ve Ulusay, R., 2002, "Kaya Kütlelerinin Mühendislik Özellikleri", *Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları*, No :60, ss: 243, Ankara.

Schubert, W. and Steindorfer, A., 1996 b., Advance Monitoring Data Evaluation in Poor Rock. In G. Barla (ed.) Proc. *ISRM International Symposium EUROCK 96*: "Prediction and Performance in Rock Mechanics and Rock Engineering", s. 1041 - 1045., Torino, Italy, 1996.

Tarhan, F., "Mühendislik Jeolojisi Prensipleri", *Karadeniz Teknik Üniversitesi Basımevi*, Trabzon, 1966.

Terzaghi, K., 1946, "Rock defects and loads on tunnel supports. Introduction to tunnel geology. In Rock tunneling with steel supports, (eds R. V. Proctor and T. L. White) 1, 17-99. Youngstown", *OH: Commercial Shearing and Stamping Company*, pp. 5 - 153.

Ulusay, R., 1994, "Uygulamalı Jeoteknik Bilgiler", *JMO Yayını*, Ankara, No: 38.1-13, 65-75.

Ulusay, R. ve Sönmez, H., 2007, "Kaya Kütlelerinin Mühendislik Özellikleri", *JMO Yayını*, Ankara, No: 60. 2-46, 163-225.

Wahlstrom, E. E., *Tunneling in Rock Elsevier Scientific Publishing Company*. Amsterdam, 1973.

ÖZ GEÇMİŞ

Mehmet Levent 30.11.1990 tarihinde Malatya’da doğdu. İlk orta ve lise öğrenimini Malatya’da tamamladı. 2009 yılında girdiği Niğde Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümünden Haziran 2013’te mezun oldu. Eylül 2013’te Niğde Üniversitesi Fenbilimleri Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Anabilimdalı’nda Yüksek Lisans eğitime başladı. Bilim dalındaki ilgi alanı Kaya mekaniği ve Zemin mekaniğidir.

EKLER

EK-A

<p>JEOLOJİK DAYANIM İNDEKSİ Kaya kütlesinin yapısı ve yüzey koşulları belirlenerek uygun kutu seçilir, ortalama Jeolojik Dayanım İndeksi (GSI)'nin değeri grafikteki doğrusal eğrilerden elde edilir.</p>		Süreksizlik yüzey koşulu	
		ÇOK pürüzlü, Taze ayrışmamış	İYİ Düz, çok az ayrılmış, demir oksit sıvamalı
YAPI		AZALAN YÜZEY KALİTESİ →	
	Sağlam veya Masif-Kayaç malzemesi veya geniş aralıklı birkaç süreksizlik içeren masif kaya kütlesi	90	UYGULANMAZ
	Bloklu-Üç kesişen ortogonal süreksizlik setinin oluşturduğu kübik bloklu, birbirleriyle çok iyi bağlanmış, örselenmiş kaya kütlesi	80	
	Çok Bloklu- Dört veya daha fazla Süreksizlik setinin kesişmesinden oluşan köşeli bloklar içeren, kısmen örselenmiş kaya kütlesi	70	
	Bloklu/Örselenmiş- Birbirini Kesen Çok Sayıda Süreksizlik Setinin Oluşturduğu Köşeli Bloklar İçeren, Kıvrımlanmış ve/veya faylanmış kaya kütlesi	60	
	Parçalanmış- Köşeli ve yuvarlak kaya parçalarının bir araya gelmesinden oluşan, birbirlerine bağlanma dereceleri zayıf, aşırı derecede kırıklı kaya kütlesi	50	
	Foliasyonlu/Laminasyonu/Ma kaslanmış-Ince lamine veya foliasyonlu, Zayıf kayalar. Diğer süreksizlik setlerine oranla daha egemen olan sık aralıklı şistozite yüzeyleri kayalarda bloklanmanın gelişmesini önlemiştir.	40	
		30	
		20	
		10	
		0	
		UYGULANMAZ	

EK-B

TÜNEL TİP ENKESİTİ

